

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola de Engenharia de Lorena – EEL



Fundamentos da Poluição Atmosférica e Aerossóis

Profa. Débora Alvim

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS BÁSICAS E AMBIENTAIS

Fundamentos da Poluição Atmosférica e Aerossóis



Introdução

A Terra tem aproximadamente 4,5 bilhões de anos e ao longo desse período a atmosfera sofreu modificações que permitiram o surgimento e manutenção da vida

Dados da provável composição (%) da atmosfera terrestre antes e após o aparecimento de vida

Gás	Vênus	Marte	Terra **	Terra
CO ₂	96,5	95	98	0,035-0,041
N ₂	3,5	2,7	1,9	79
O ₂	Traços	0,13	Traços	21
Argônio	Traços	1,6	0,1	1,0

***Composição provável antes do aparecimento da vida no planeta*

Introdução

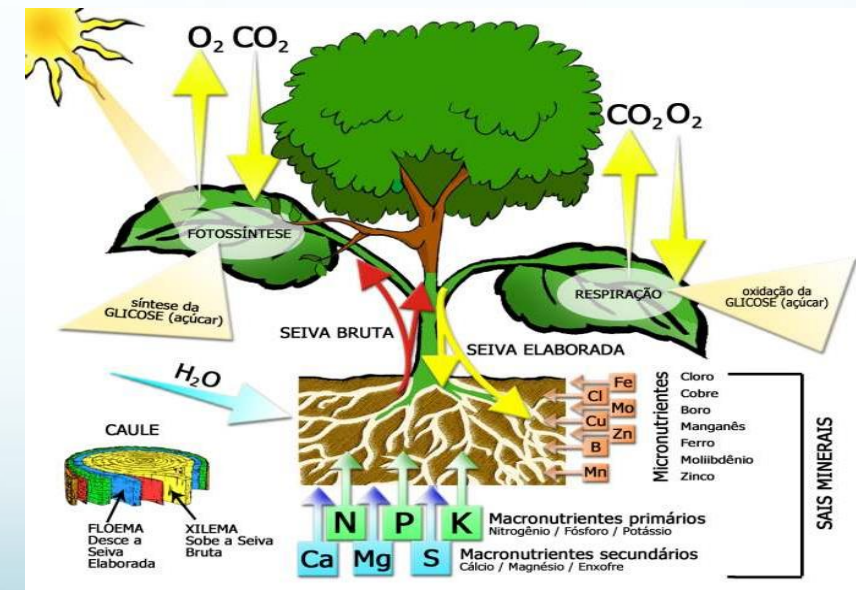
Característica da atmosfera que favorecem a vida: caráter oxidante

21 % de oxigênio coexiste com espécies reduzidas como metano, amônia, monóxido de carbono e óxido nitroso

A composição geral é resultado da “vida” que vem se desenvolvendo

teor de oxigênio é quase todo produto da fotossíntese

Outras fontes contribuem com menos de um bilionésimo do estoque de CO_2 que respiramos

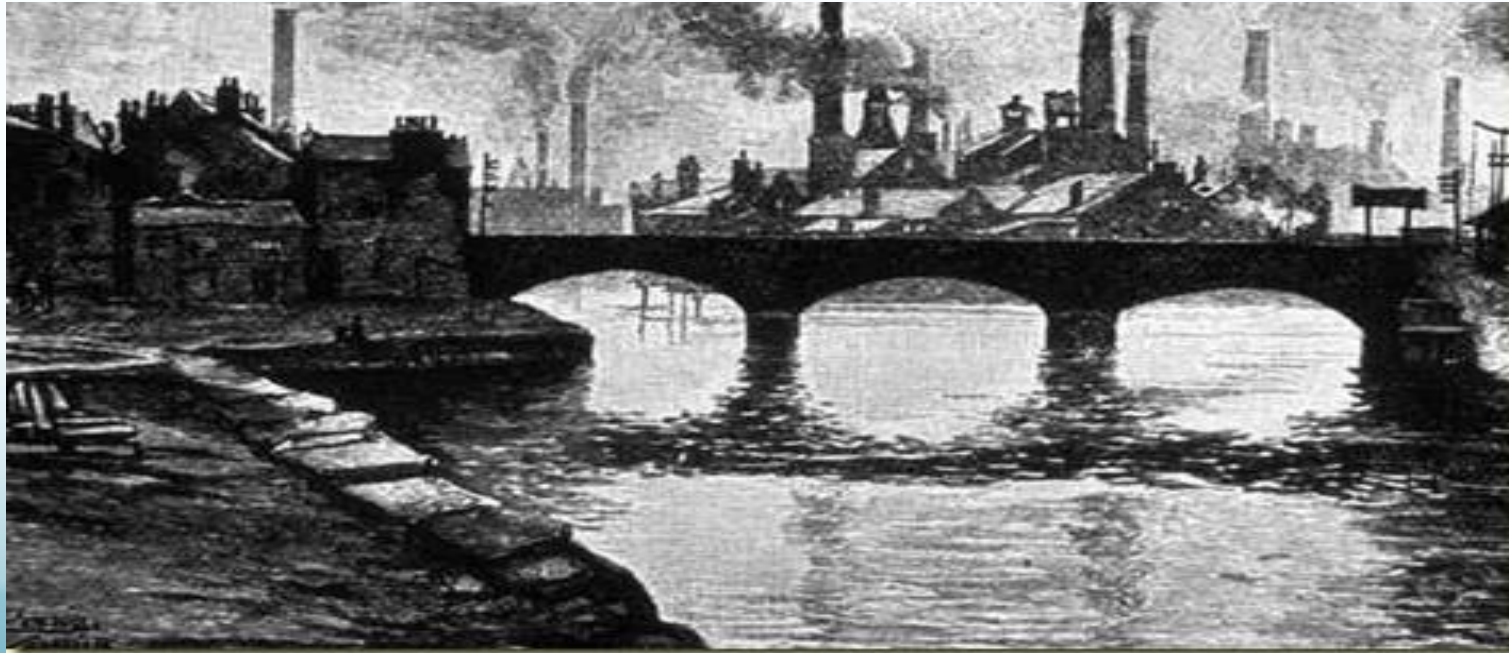


Introdução

**Ação humana ⇒ Modificações significativas a partir da Revolução industrial –
Sec XVIII - 1760-1850**

Poluição:

**Gases poluentes, partículas,
chuva ácida, efeito estufa e
depleção da camada de ozônio**



Introdução

Exemplos de FATOS HISTÓRICOS relacionados à POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA:

- **Dez. 1930** " Vale de Meuse, Bélgica: grossa camada de poluição por 5 dias (63 mortos e doenças em cerca de 6000 pessoas)
- **Out. 1948** " o mesmo em Donova (Pensilvânia, EUA): 20 mortos e quase metade da população ficou “doente”
- **Dez. 1952** " Londres: durante 5 dias ocorreram 4000 mortes (outros episódios na cidade em 1953 e 1962)
- **1953, 1963, 1966** " episódios de forte poluição em Nova York

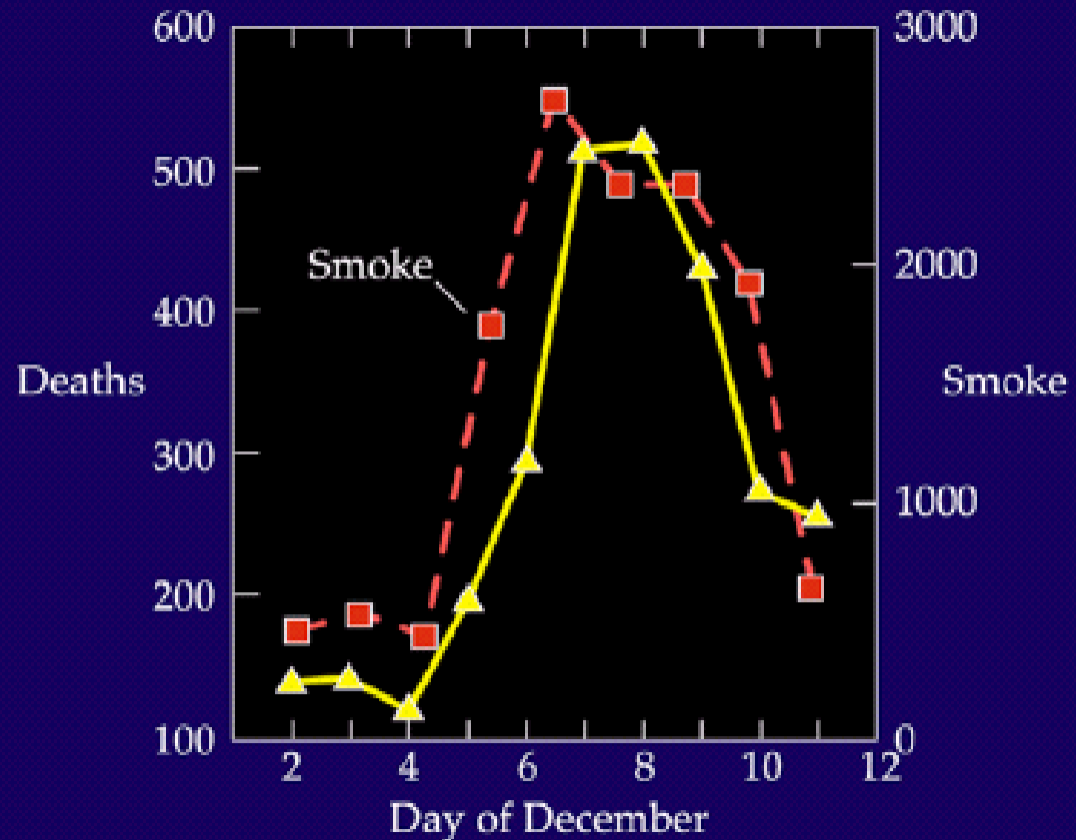
A partir desses episódios alguns países passaram a legislar, **regulamentar** e implementar tecnologias para **redução da poluição**



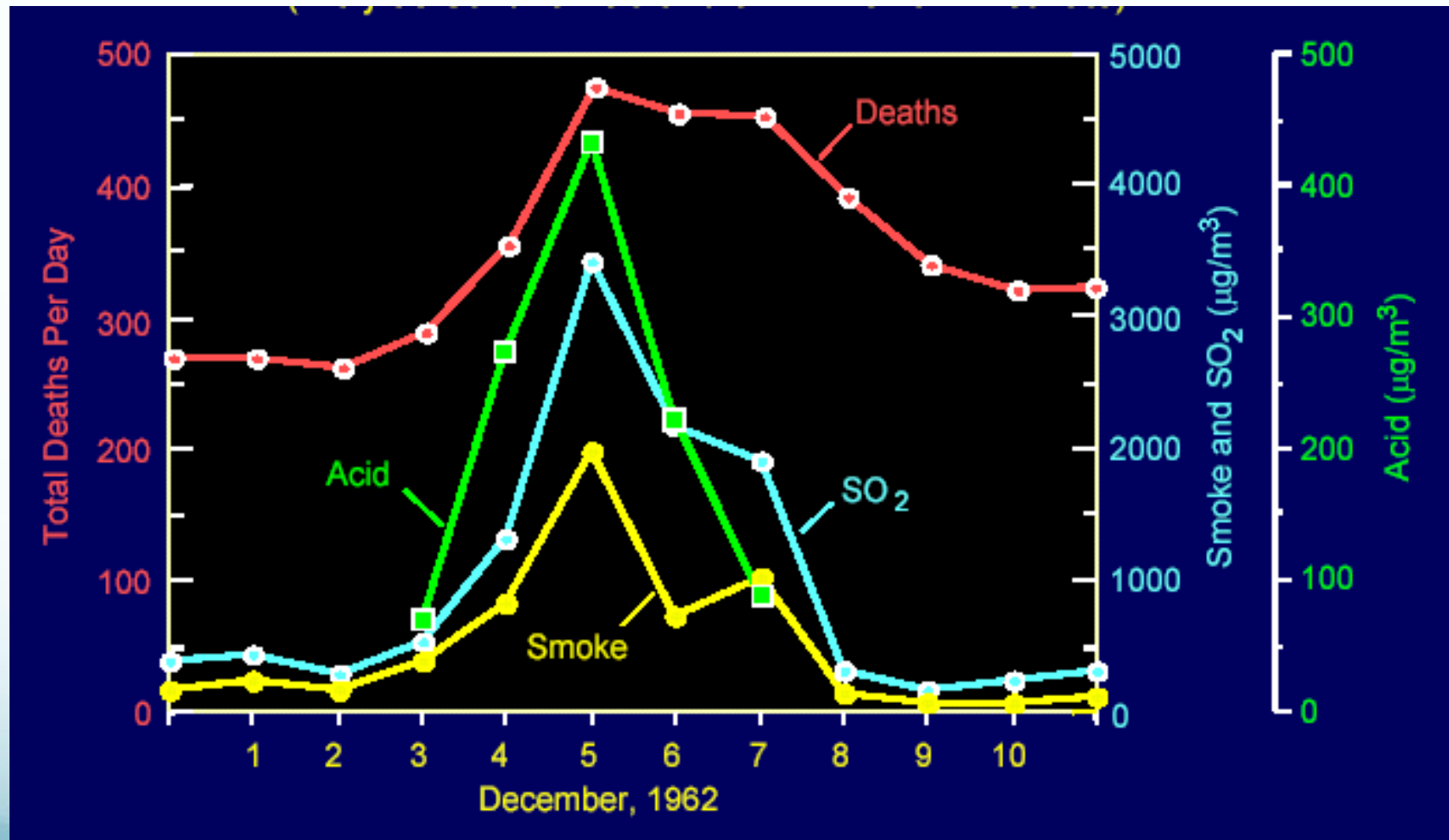
No Brasil graves problemas ocorreram na cidade de **Cubatão**

Smog sulfuroso

O episódio de poluição atmosférica em Londres,
1952: relação entre concentração de fumaça e
óbitos – 4 mil mortes



Episódio de poluição atmosférica em Londres, 1962: confirmado a presença de aerossóis contendo sais de sulfato e ácido sulfúrico



Atmosfera

A atmosfera terrestre é uma fina camada gasosa que envolve a Terra, sendo formada por diferentes gases que se distribuem em “camadas”

Formação da atmosfera:

No início da formação do planeta Terra: atmosfera composta metano, amônia, nitrito, vapor de água e gás carbônico - resultantes das constantes erupções vulcânicas e de colisões de meteoros na superfície

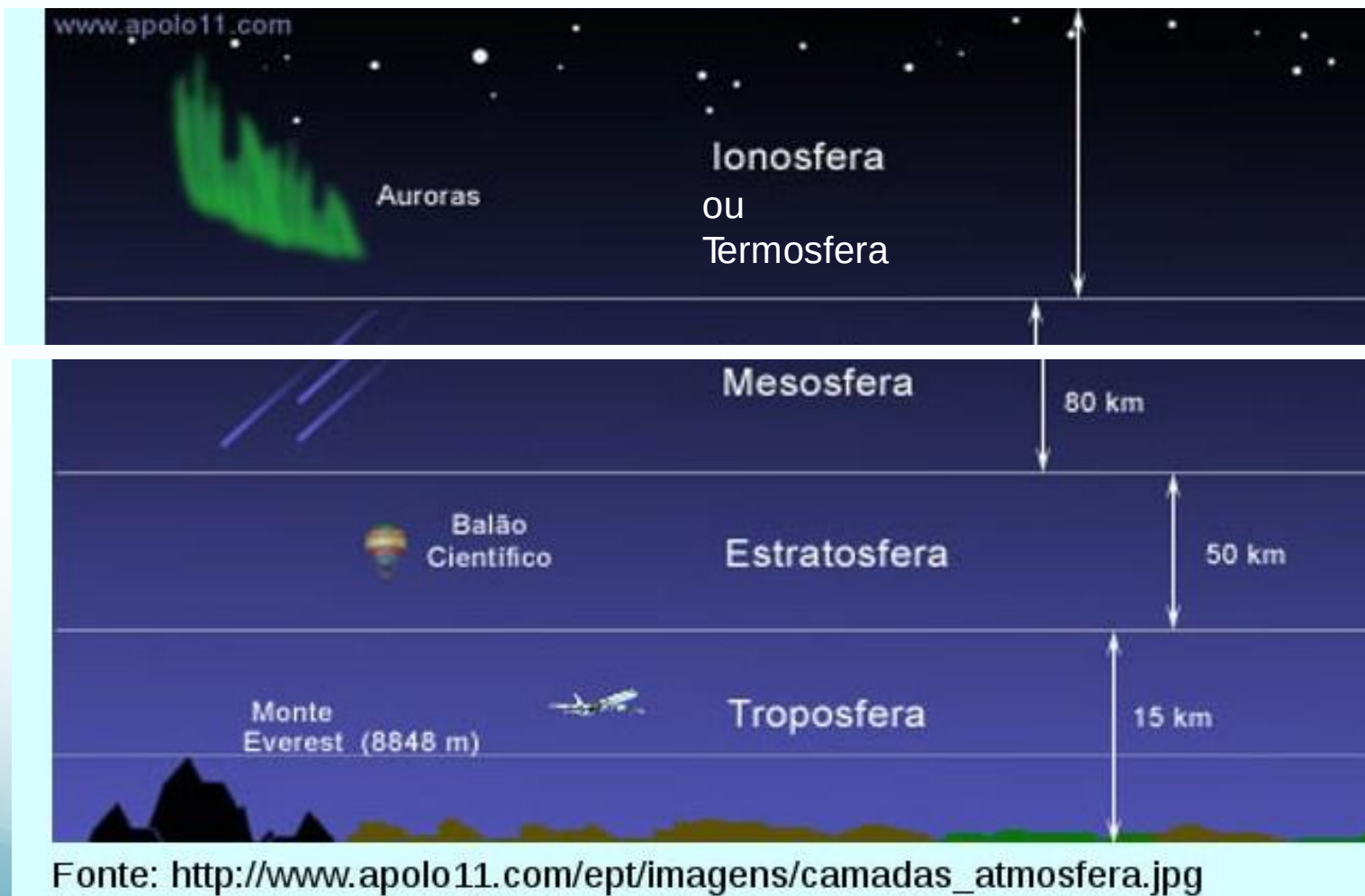
Em uma “segunda fase”, surgiram os primeiros organismos vivos que realizaram **fotossíntese**, absorvendo o **gás carbônico** da atmosfera e transformando-o em **oxigênio**.



Ocorreu a maior transformação causada no planeta pelos organismos vivos: a atmosfera tornou-se “cheia” de oxigênio

Atmosfera

Ordem e dimensão das camadas:



- Abs de radiação de alta energia
- T chegam em **1200 °C**

- Menos moléculas
- T chegam a **-100 °C**

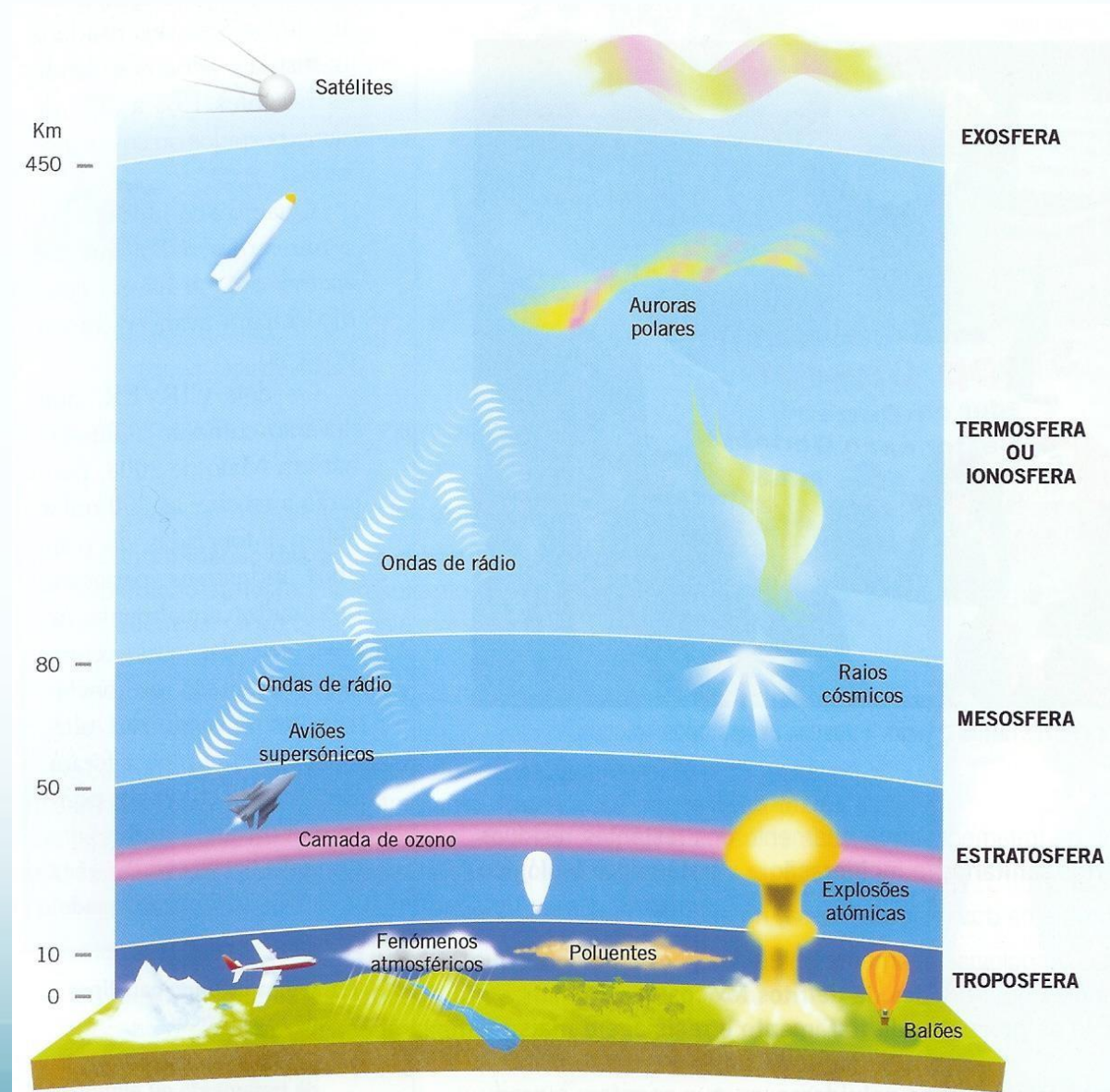
- Moléculas de O_3
- T de **-60** até **2 °C**

- Contém 80% dos gases atmosféricos
- T_h máx **-60 °C**

CAMADAS ATMOSFÉRICAS

Troposfera

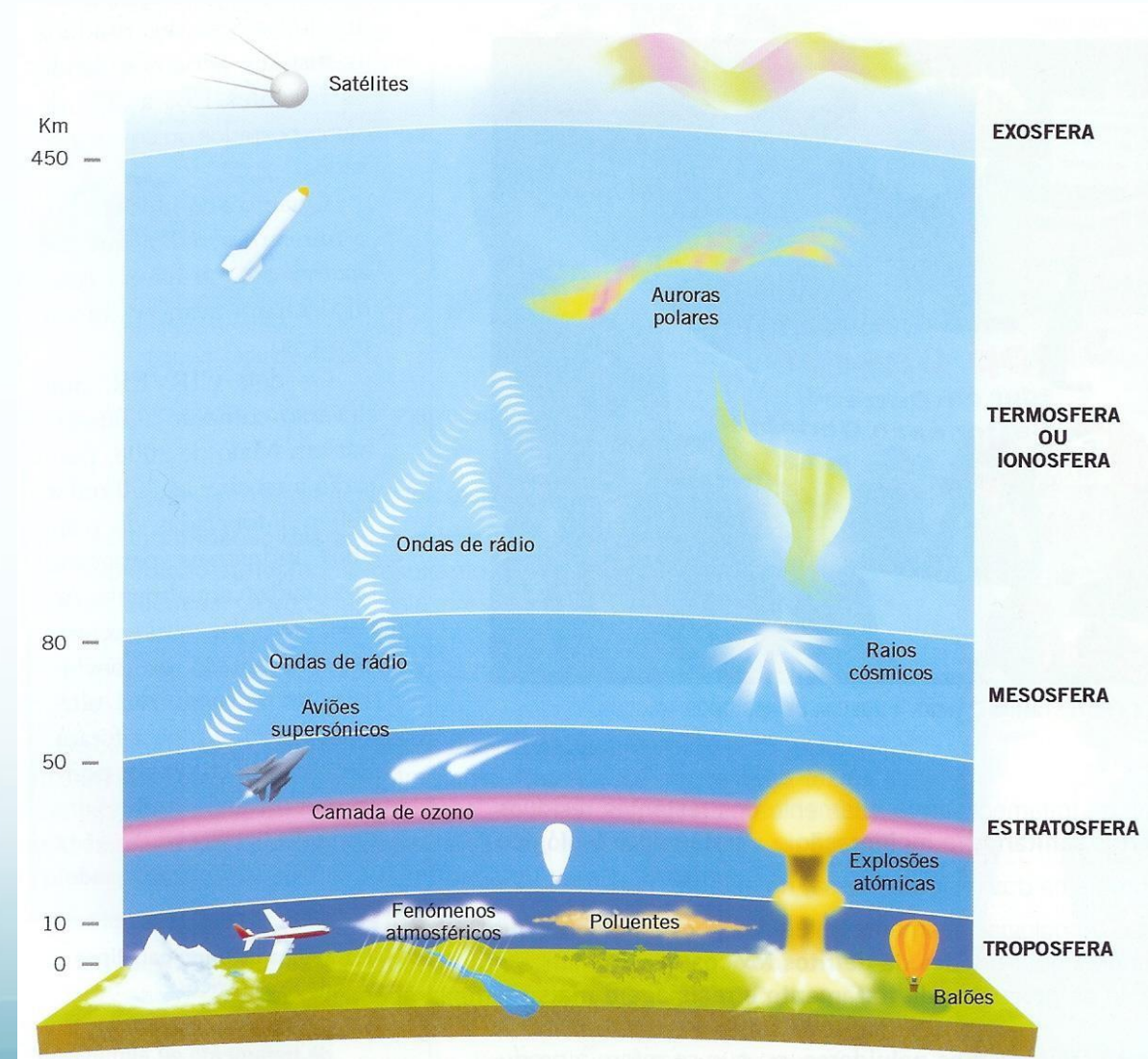
- 1 Camada mais fina de todas
Entre 10 a 16 km de espessura
- 2 Contém 80% da massa total de ar e
todo o vapor de água da atmosfera
- 3 Onde ocorre o **CICLO DA ÁGUA**
- 4 A temperatura diminui com a
altitude, atingindo até $-56\text{ }^{\circ}\text{C}$



CAMADAS ATMOSFÉRICAS

Estratosfera

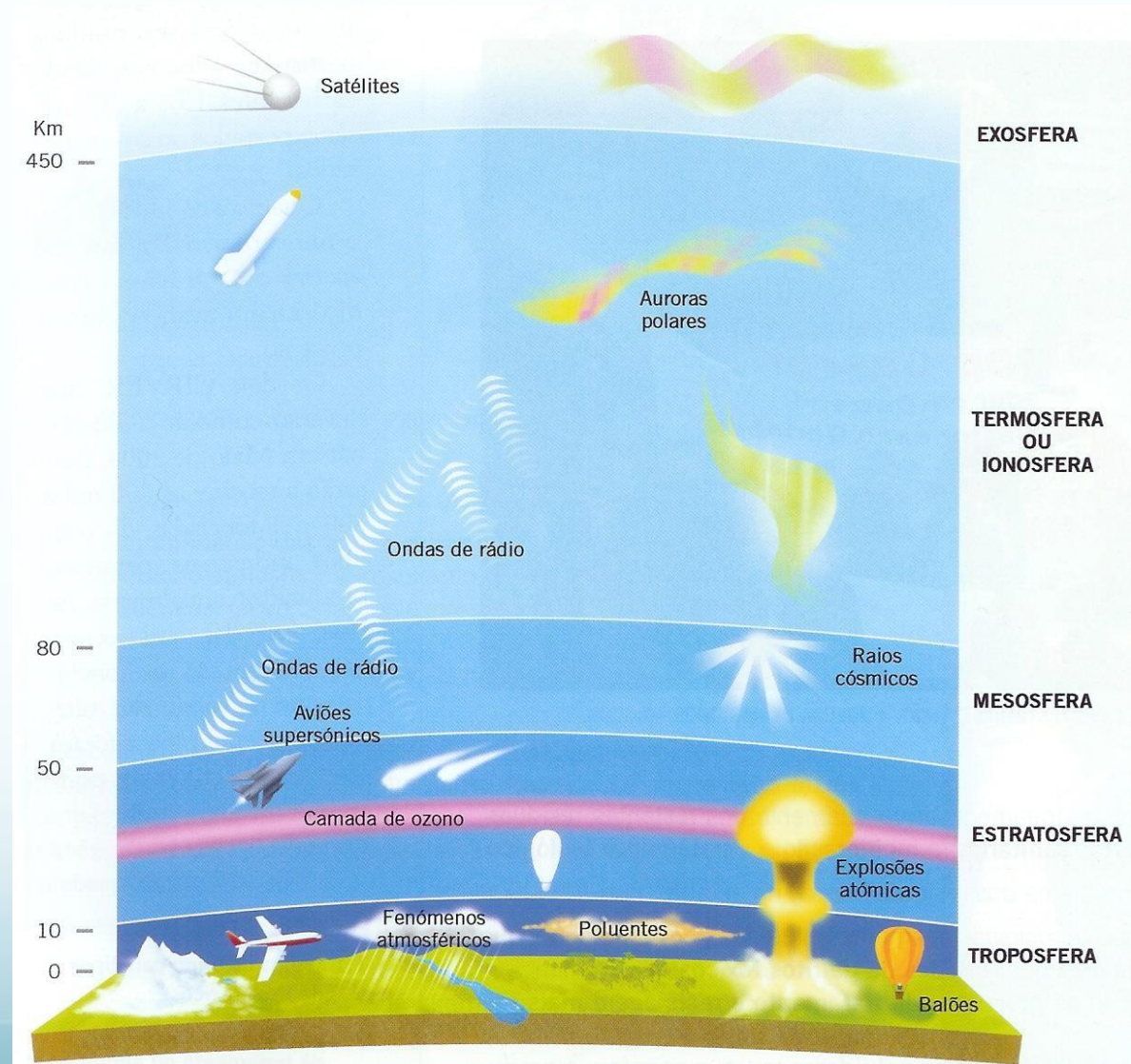
- 1 Camada que vai até 50 km de altitude
- 2 Temperatura cresce com a altitude, indo de $-56\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$
- 3 Contém a **CAMADA DE OZÔNIO**



CAMADAS ATMOSFÉRICAS

Mesosfera

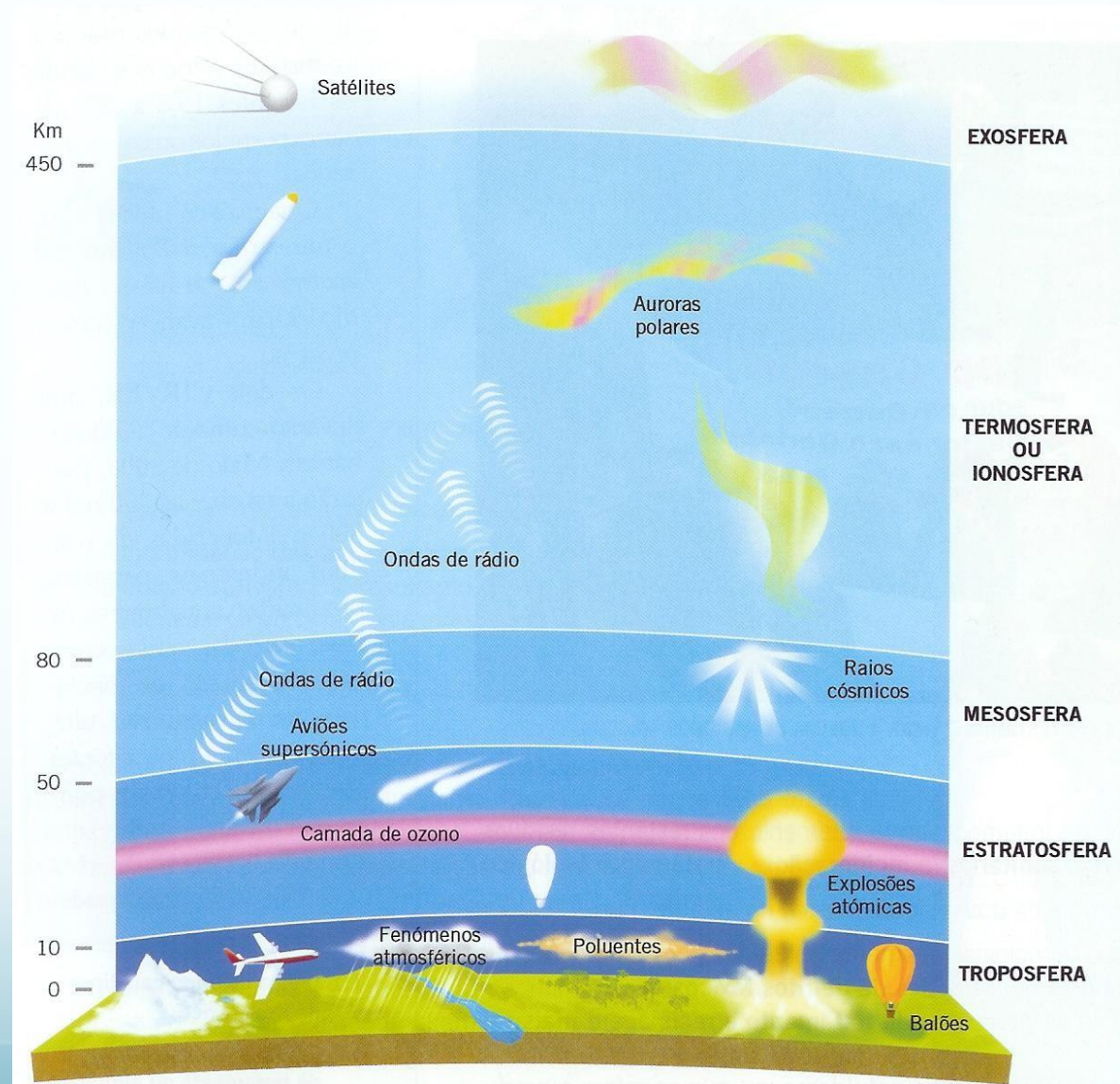
- 1 Camada que vai até 80 km de altitude
- 2 Temperatura diminui com a altitude, indo de $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-92\text{ }^{\circ}\text{C}$



CAMADAS ATMOSFÉRICAS

Termosfera

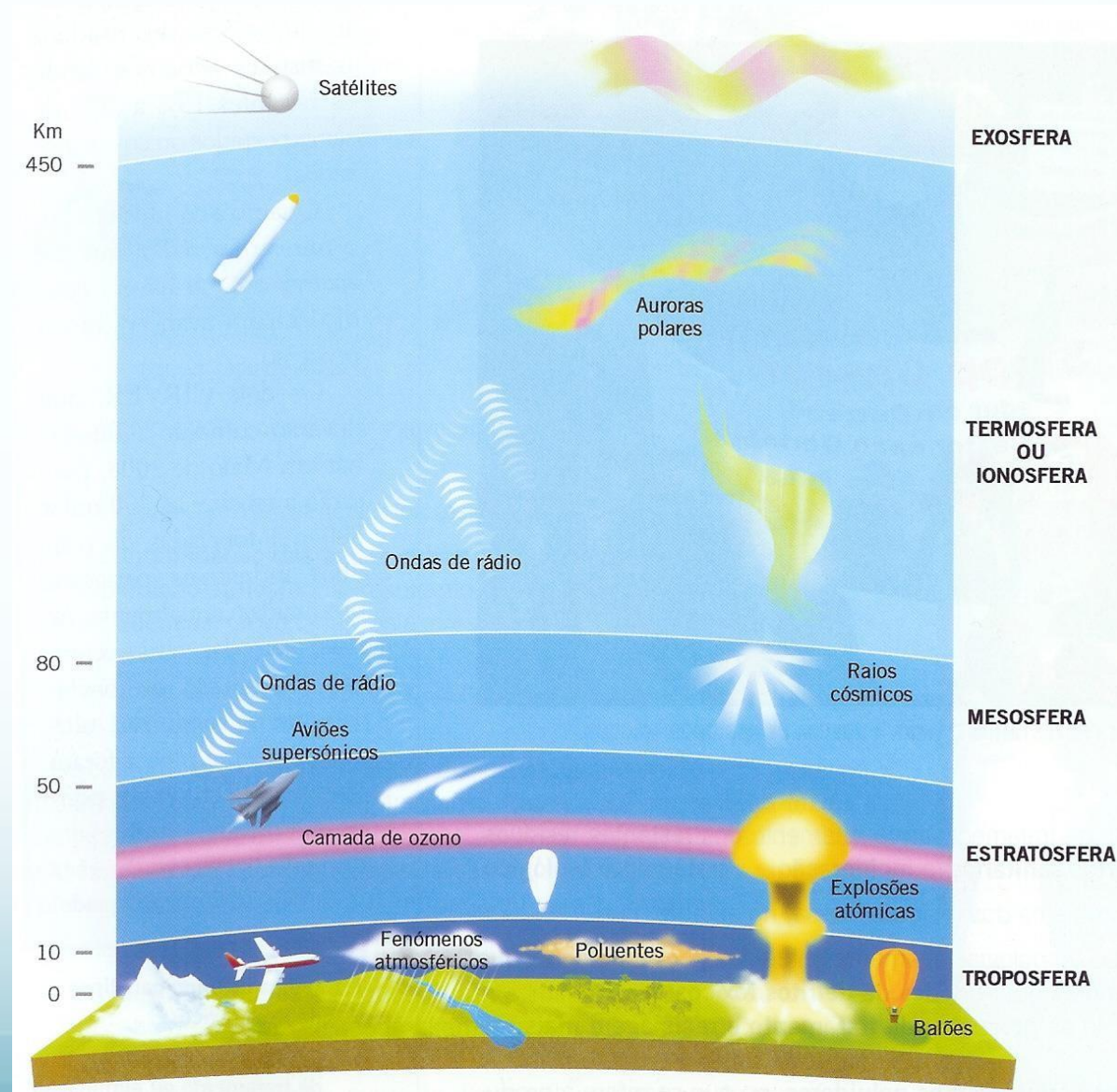
- 1 Camada que vai até 450 km de altitude
- 2 Contém principalmente íons NO^+ e O_2^+
- 3 Chamada de **IONOSFERA**
- 4 A temperatura aumenta com a altitude, atingindo até 1200°C



CAMADAS ATMOSFÉRICAS

Exosfera

- 1 Camada que vai até aprox. 9600 km de altitude
- 2 Ar extremamente rarefeito (1 molécula em quilômetros)
- 3 **NÃO EXISTE UM LIMITE DEFINIDO** entre o espaço exterior e a atmosfera



Atmosfera

Troposfera

- A temperatura diminui com a altitude (decrece 6,5 °C a cada 1000 metros)
- É nesta camada que se processam todos os fenômenos meteorológicos

Estratosfera

- Ocorrem T superiores devido à absorção de radiação UV por moléculas de O_3

Mesosfera

- É a camada mais fria da atmosfera (poucas espécies absorvedoras)

Termosfera

- Diferentes espécies que absorvem radiação UV (altíssimas temperaturas)

(Ultraviolet rays)

UV-C 100~280nm	UV-B 280~315nm	UV-A 315~400nm
-------------------	-------------------	-------------------

(Altitude)
50 km



Outer space

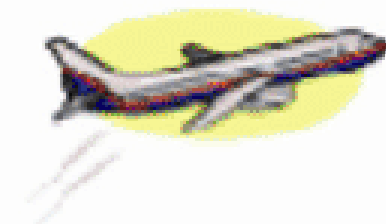


Mesosphere
Ionosphere



Ozone layer

15 km

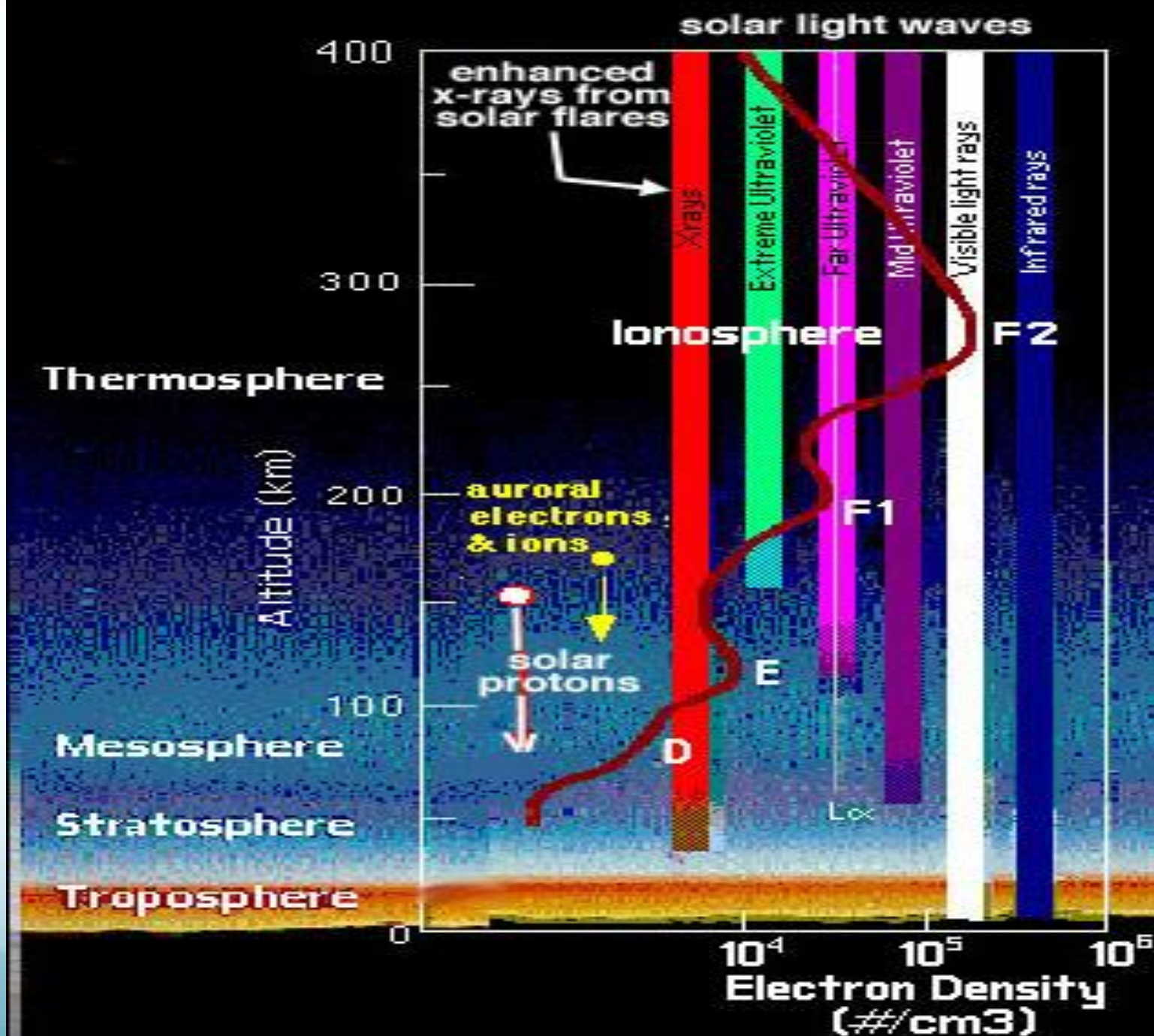


Stratosphere

Ground
surface



Troposphere



**Incoming
solar
radiation**

UV
blue
yellow
red
IR

most UV is absorbed by the ozone layer

ozone layer

stratosphere

blue light is dispersed
(hense, sky is blue)

troposphere

**Thermal IR radiated
back into Space**

Incoming solar energy is reflected or absorbed,
most is converted to thermal energy and
radiated back into space

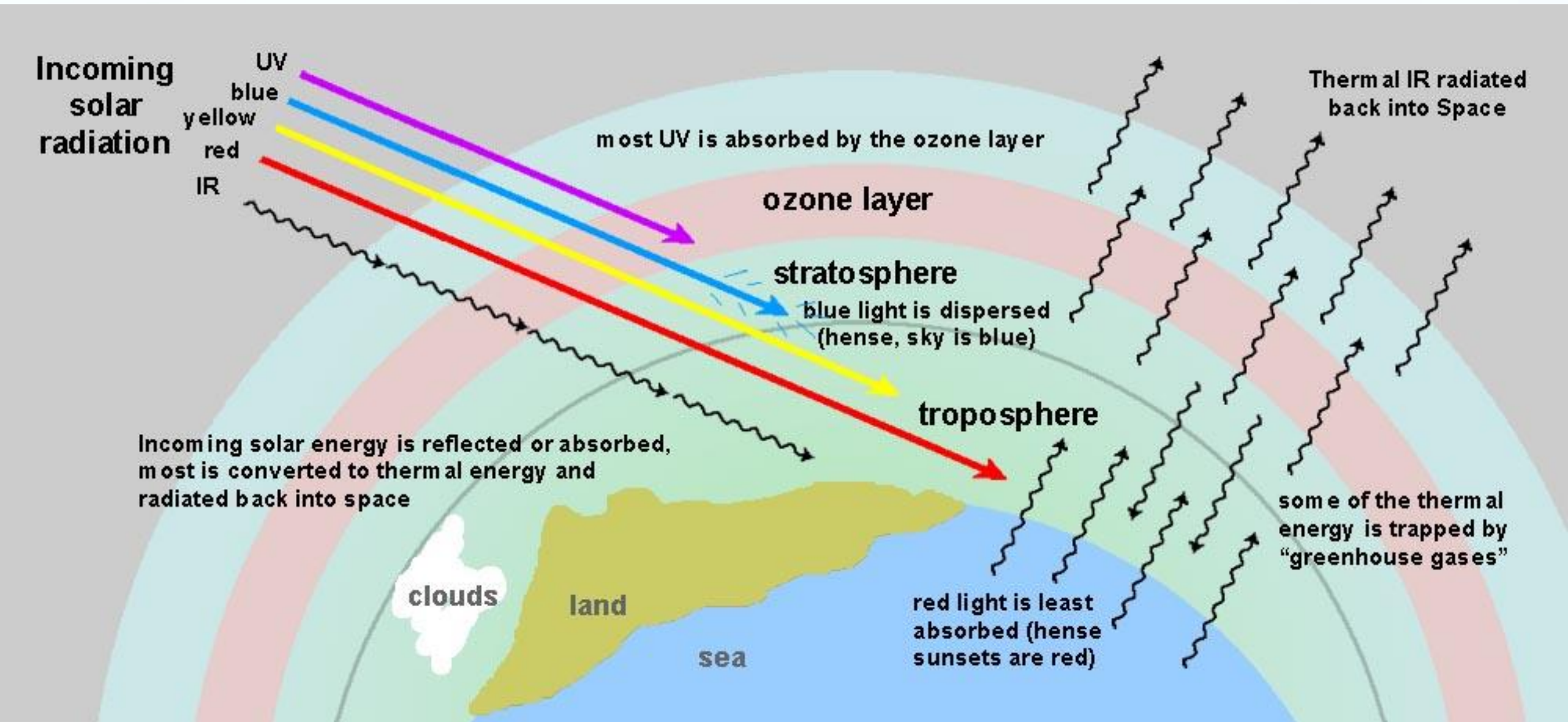
clouds

land

sea

red light is least
absorbed (hense
sunsets are red)

some of the thermal
energy is trapped by
"greenhouse gases"



Atmosfera

Troposfera

É a camada importante para a sobrevivência dos seres aeróbios

OUTRAS CARACTERÍSTICAS



Representação da **LITOSFERA**, também chamada de crosta terrestre

Troposfera

É a camada importante para a sobrevivência dos seres aeróbios

OUTRAS CARACTERÍSTICAS

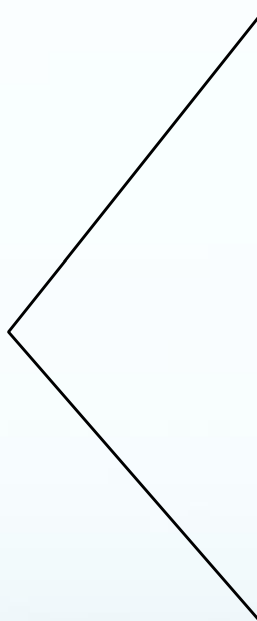
" Forte interação com a **Litosfera** e com a **Hidrosfera**

" Composição variada

- Gases**

- Líquidos

- Sólidos



Substâncias	Concentração em ppm
Nitrogênio (N ₂)	780 840.00
Oxigênio (O ₂)	209 460.00
Argônio (Ar)	9 340.00
Dióxido de Carbono (CO ₂)	350 - 415.00
Neônio (Ne)	18.00
Hélio (He)	5.20
Metano (CH ₄)	1.20
Criptônio (Kr)	1.10
Óxido de Nitrogênio (N ₂ O)	0.50
Hidrogênio (H ₂)	0.50
Xenônio (Xe)	0.08

Existem também milhares de constituintes-traço

" 170 tipos de interações químicas (estimativa)

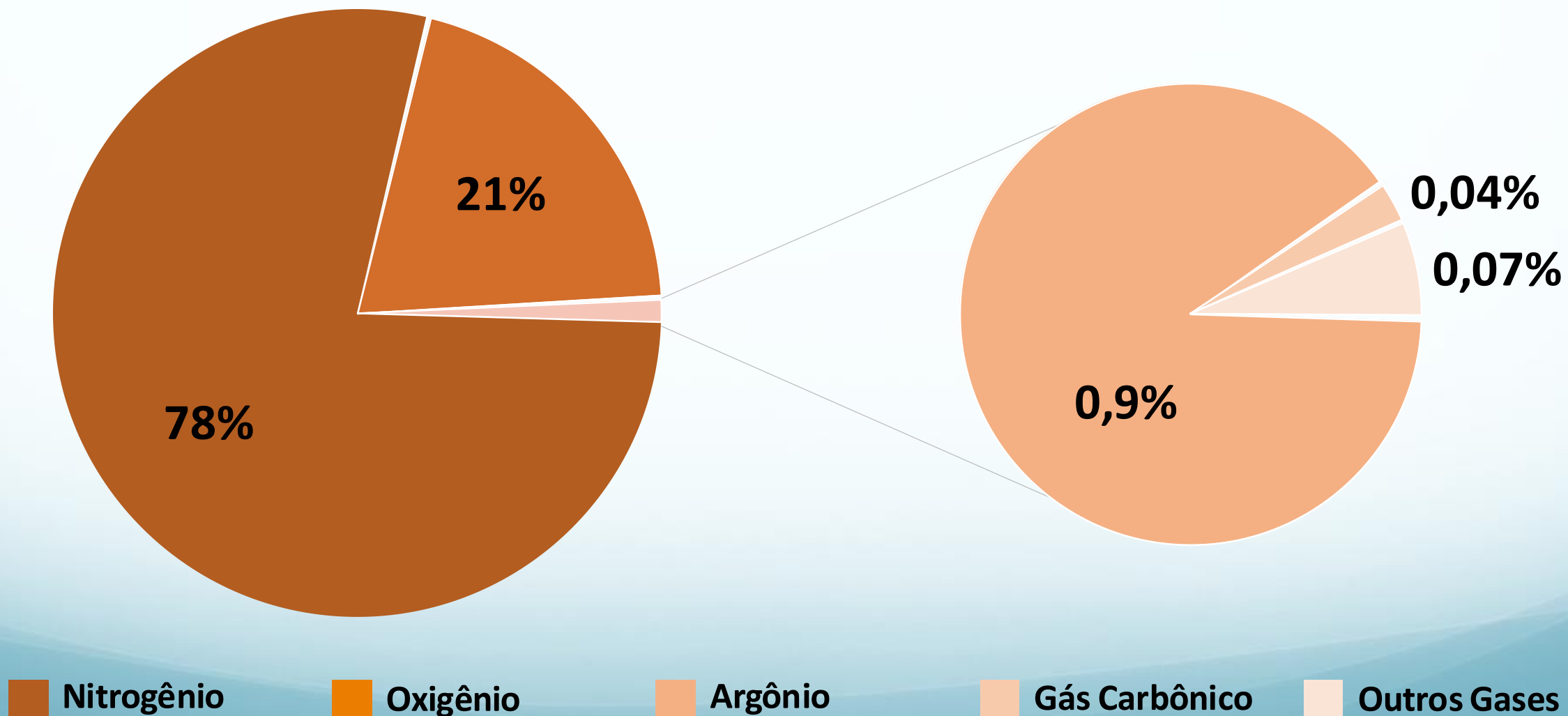
(**) Composição média do ar seco no nível do mar (SEINFELD, 2006)

Atmosfera - Transporte de substâncias

MAS, também ocorrem transformações químicas, favorecidas pelos **Ciclos Biogeoquímicos**

- **Atmosfera** ⇒ REATOR (Oxigênio [componente extremamente reativo], compostos em pequenas concentrações, [reagentes ou catalisadores] e luz solar [energia])
- **PRODUTOS de reações atmosféricas** ⇒ concentração dos reagentes, temperatura, catalisadores e reatividade da molécula
- **Tempo de residência desses produtos** ⇒ tempo médio de permanência do composto na atmosfera

COMPOSIÇÃO DO AR



POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA



POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

DEFINIÇÃO

Introdução **ANTROPOGÊNICA**, direta ou indireta, de **SUBSTÂNCIAS OU ENERGIA PARA O AR**,

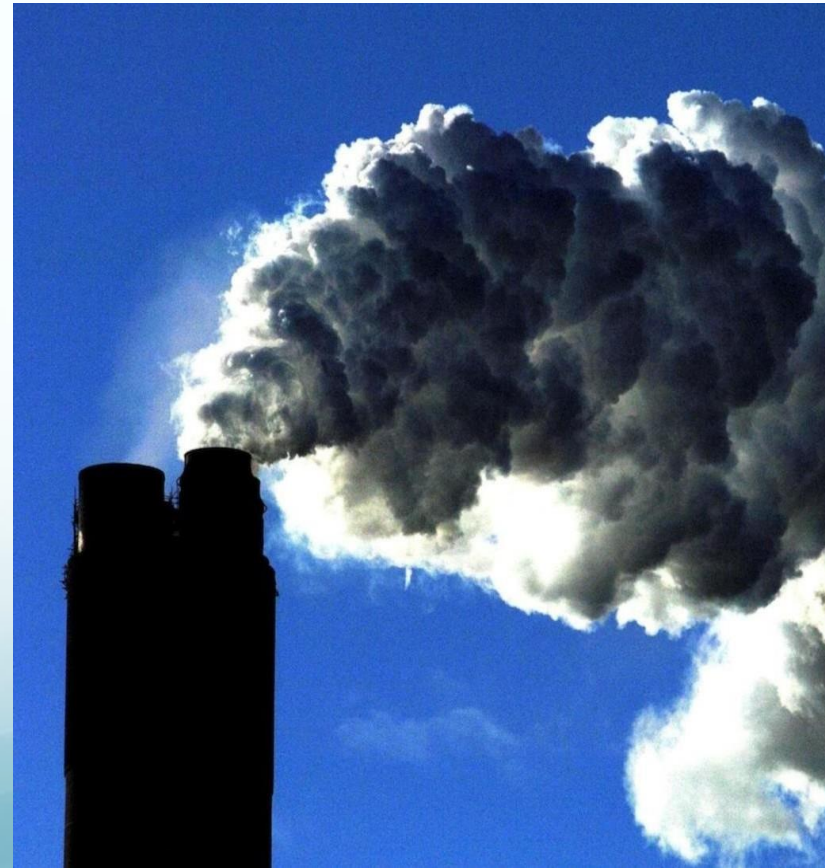
resultando em efeitos prejudiciais de modo a pôr em perigo a saúde humana, danos nos recursos vivos e nos ecossistemas assim como nos bens materiais.



POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

DEFINIÇÃO

A poluição atmosférica é uma forma de matéria ou energia com concentração, intensidade, tempo ou característica que possam tornar o ar impróprio, ofensivo ou nocivo à saúde, inconveniente ao bem-estar comum, danoso aos materiais, aos ecossistemas ou prejudicar a segurança, ao uso e gozo da propriedade e à qualidade de vida da comunidade (MMA, 2005; LISBOA; KAWANO, 2007).



POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

DEFINIÇÃO

Considera-se poluente qualquer substância presente no ar que, pela sua concentração, possa torná-lo impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, causando inconveniente ao bem-estar público, danos aos materiais, à fauna e à flora, ou seja prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade (Conselho Nacional do Meio Ambiente, Resolução nº 03/90)



Fontes

Naturais/ Biogênicas: Aquelas independentes da ação humana.

Cinzas e gases de emissões vulcânicas;
Tempestades de areia e poeira;
Decomposição de animais e vegetais;
Partículas e gases de incêndios florestais;
Evaporação natural;
Odores e gases da decomposição de matéria orgânica;
Maresia dos mares e oceanos.

Antropogênicas: Fontes de emissão geradas pela ação do Homem.

Fontes industriais;
Fontes móveis (veículos a gasolina, etanol, diesel e gnv);
Queima de lixo a céu aberto e incineração de lixo;
Queima de combustíveis na indústria e termoeletricas;
Emissões de processos químicos.



Tempestade de areia que atingiu interior de São Paulo é fenômeno natural, mas raro no Brasil

Moradores registraram em vídeos cidades como Presidente Prudente, Franca, Araçatuba e Barretos tomadas por um vendaval e nuvem de poeira mais comum em países da Ásia

Por Redação, do Um Só Planeta*

27/09/2021 12h46 · Atualizado há 2 anos



A tempestade de areia que passou por municípios do interior de São Paulo e algumas cidades de Minas Gerais que fazem fronteira com o Estado no domingo (26/9/2021), assustando moradores e transformando o dia em noite, é um fenômeno natural, porém incomum no Brasil.

A meteorologista Estael Sias, da MetSul, explica que a cena é comum em países da Ásia, onde é conhecida como "haboob". Esse fenômeno, causado por temporais de chuva com ventos fortes que, ao entrarem em contato com o solo seco, encontram resquícios de queimada, poeira e vegetação, acaba criando um "rolo compressor" de sujeira que pode chegar a até 10 quilômetros de altura.



Fontes de poluição

Fontes fixas: são aquelas que não se locomovem, liberando poluentes sempre de um local específico, as indústrias são as fontes mais significativas ou de maior potencial poluidor, no entanto, devemos ainda destacar a crescente demanda por usinas termoeletricas, utilizadoras de carvão ou óleo combustível, bem como de incineradores de resíduos, os quais também se destacam por seu elevado potencial poluidor.

Fontes móveis: são aquelas que estão em movimento, os veículos automotores, aviões e embarcações marítimas, constitui-se conjuntamente nas chamadas fontes móveis de poluição do ar. Os veículos se destacam como as principais fontes, e podem ser divididos em leves, que utilizam gasolina ou etanol como combustível, e pesados que utilizam óleo diesel/biodiesel.

Principal fonte de energia de cada estado do Brasil



Destaque das usinas solares de grande porte

Quais são as termelétricas brasileiras mais emissoras de gases de efeito estufa (GEE)

O Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA) lança o estudo inédito "Inventário de emissões atmosféricas em usinas termelétricas: geração de eletricidade, emissões e lista de empresas proprietárias das termelétricas a combustíveis fósseis e de serviço público do Sistema Interligado Nacional (ano-base 2020)". Conheça a geração termelétrica brasileira e seus impactos ambientais.

Distribuição geográfica das termelétricas

Usinas a combustíveis fósseis de serviço público do SIN, com destaque para o combustível principal de cada planta

- Gás natural
- Carvão Mineral
- Óleo diesel
- Óleo combustível

Nota: As usinas a óleo diesel PCT CENAT e PCT ENERSUL não estão representadas por ausência de informações sobre suas coordenadas geográficas.

Energia elétrica gerada de acordo com o combustível utilizado [TWh]



Emissões de GEE das termelétricas por estado

Emissões (mil toneladas de CO₂e)

1	RJ	SE/CO	6.172	10,9%
2	SC	S	4.201	12,9%
3	MA	N	3.922	12,0%
4	RS	S	3.884	11,9%
5	AM	N	3.543	10,8%
6	CE	NE	2.854	11,7%
7	SP	SE/CO	1.399	4,3%
8	PE	NE	1.129	3,5%
9	ES	SE/CO	983	3,0%
10	BA	NE	811	2,5%
11	RN	NE	773	2,4%
12	MT	SE/CO	731	2,2%
13	MS	SE/CO	581	1,8%
14	SE	NE	532	1,6%
15	PR	S	511	1,6%
16	MG	SE/CO	290	0,9%
17	PB	NE	201	0,6%
18	GO	SE/CO	150	0,5%
19	AP	N	7	0,02%

Usinas mais emissoras de GEE

Por emissões brutas

- Gás natural
- Carvão mineral

Emissões (milhões de toneladas de CO₂e)

1	Pampa Sul	Candiota - RS	2,0	6,0%
2	Norte Fluminense	Miracel - RJ	1,9	5,8%
3	Termorio	Doque de Caras - RJ	1,8	5,5%
4	Jorge Lacerda IV	Capivari de Baixo - SC	1,7	5,2%
5	Mauá 3	Maracá - AM	1,6	5,0%
6	Candiota III	Candiota - RS	1,6	5,0%
7	Jorge Lacerda III	Capivari de Baixo - SC	1,6	4,8%
8	Porto do Pecém I	São Gonçalo do Amarante - CE	1,5	4,6%
9	Maranhão III	Santa Antônia dos Lopes - MA	1,2	3,7%
10	Porto do Pecém II	São Gonçalo do Amarante - CE	1,2	3,6%

Nota: A Termorio é uma usina de cogeração de eletricidade e vapor. Por isso, parte de suas emissões podem ter sido provenientes da geração de vapor e não de eletricidade.

Por taxa de emissão

- Carvão mineral
- Óleo combustível

Taxa de emissão (toneladas de CO₂e/GWh produzido)

1	Candiota III	Candiota - RS	1.327
2	Pampa Sul	Candiota - RS	1.302
3	Porto do Pecém II	São Gonçalo do Amarante - CE	1.172
4	Jorge Lacerda I e II	Capivari de Baixo - SC	1.108
5	Jorge Lacerda III	Capivari de Baixo - SC	1.080
6	Arembepe	Camaçari - BA	952
7	Jorge Lacerda IV	Capivari de Baixo - SC	907
8	Porto do Itaqui	São Luís - MA	865
9	Porto do Pecém I	São Gonçalo do Amarante - CE	849
10	Global I	Candonga - BA	714

Mais informações: energiaeambiente.org.br

Distribuição de Indústrias no Brasil



Distribuição de Indústrias no Brasil



Fontes de poluição

Pontuais: Quando o lançamento da carga poluidora é feito de forma **concentrada**, em determinado local.

- Chaminé de uma empresa

Difusas: Quando os poluentes alcançam a atmosfera de modo **disperso**, não se determinando um ponto específico de introdução.

- Queimadas

Poluentes

Primários: São aqueles emitidos diretamente da fonte à atmosfera.

- Material Particulado, Monóxido de Carbono (CO), o dióxido de enxofre (SO₂), o ácido sulfídrico (H₂S), os óxidos de nitrogênio (NO_x), a amônia (NH₃), o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), fuligem, aldeídos, clorofluorcarbonetos (CFCs)

Secundários: São aqueles formados na atmosfera por meio de reações químicas entre poluentes primários e/ou constituintes naturais da atmosfera

- Ozônio, ácido sulfúrico, ácido nítrico, o trióxido de enxofre (SO₃), os nitratos (NO₃⁻), os sulfatos (SO₄²⁻), e o peroxiacetilnitrato - PAN - (CH₃C=OO₂NO₂)

Poluentes



Processo de poluição atmosférica:



Emissão

É processo de “saída” do poluente da fonte geradora.

Processo de poluição atmosférica



Transporte

No transporte destes poluentes através das correntes de ar, pode ocorrer a diluição dos poluentes, bem como modificações físico-químicas na atmosfera.

Processo de poluição atmosférica



Imissão

Fenômeno de “chegada” dos poluentes a um receptor, onde pode ocorrer danos à saúde, propriedade ou de maneira geral ao meio ambiente.

Fatores que influenciam na concentração dos poluentes

- **Quantidade dos poluentes nas emissões;**
- **Número e densidade das fontes de poluição;**
- **Distância da fonte;**
- **Transformações químicas e físicas dos poluentes na atmosfera;**
- **Quantidade de precipitação;**
- **Características geomorfológicas da área poluída;**
- **Condições meteorológicas locais e gerais.**

Emissões Globais x Emissões Locais



Principais gases de efeito estufa – efeitos globais:

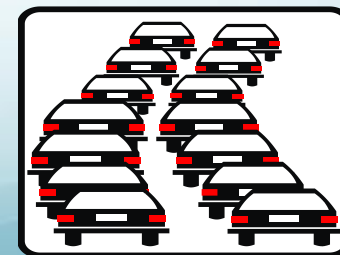
CO_2 , CH_4 , N_2O , O_3 , CFC_s , HFC_s , SF_6 , NF_3



Outros Poluentes atmosféricos – efeitos

Locais (possuem legislação para padrão de qualidade do ar):

CO , $\text{COV} \rightarrow (\text{HC})$, NO_x , SO_2 , MP , O_3 etc.



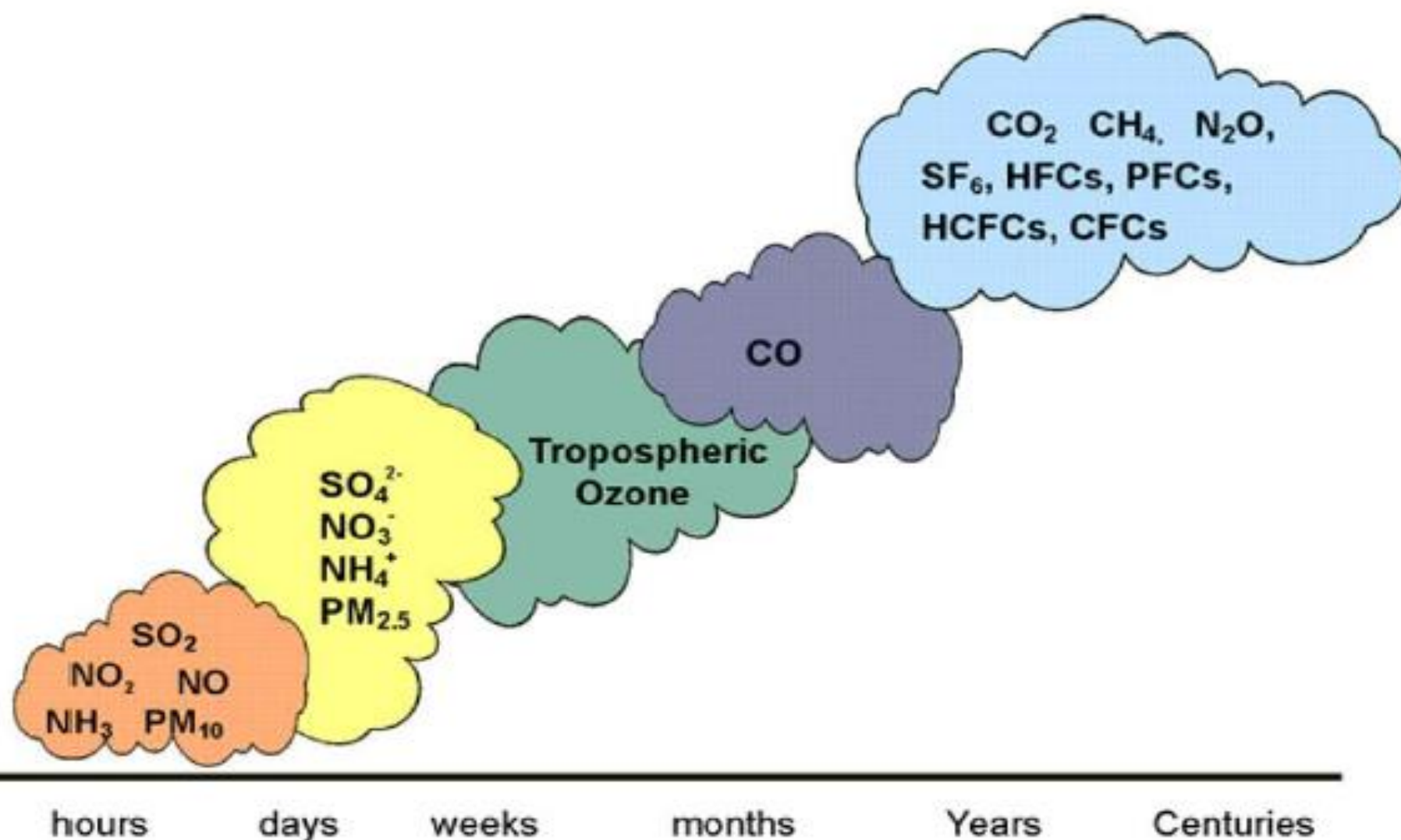
Maximum Scale of the problem

Global

Hemispheric

Regional

Local



Residence Time in Atmosphere

Composição do ar na baixa atmosfera a pressão de 1 atm

Gases	Fórmula Química	Fração do Volume de ar ocupado por essas espécies ^a	Tempo de Residência	Principais Fontes
Nitrogênio	N ₂	78,084%	1,6 x 10 ⁷ anos	Biológica
Oxigênio	O ₂	20,946%	3000-4000 anos	Biológica
Argônio	Ar	0,934%	-	Radiogênica continuação

Dióxido de Carbono	CO ₂	379 ppmv	3-4 anos ^b	Biológica, oceânica, combustão
Neônio	Ne	18,18 ppmv	-	Vulcânica
Hélio	He	5,24 ppmv	-	Radiogênica
Metano	CH ₄	1,7 ppmv	9 anos	Biológica, Antrópica
Hidrogênio	H ₂	0,56 ppmv	~ 2 anos	Biológica e antrópica
Óxido Nitroso	N ₂ O	0,31 ppmv	150 anos	Biológica, antrópica
Monóxido de carbono	CO	40-200 ppbv	~ 60 dias	Fotoquímica, combustão, antrópica

Ozônio	O_3	10-100 ppbv	Dias-semanas	Fotoquímica
Hidrocarbonetos não-metânicos (NMHC)	-	5-20 ppbv	variável	Biológica, antrópica
Halocarbonos	-	3,8 ppbv	variável	Principalmente antrópica
Peróxido de hidrogênio	H_2O_2	0,1-10 ppbv	1 dia	Fotoquímica
Formaldeído	HCHO	0,1-1 ppbv	~1,5 hora	Fotoquímica
Espécies nitrogenadas ($NO_x + NO_3 +$ $N_2O_5 + HNO_3 +$ PAN)	NO_y	10 pptv- 1 ppmv	variável	Solo, antrópica, relâmpago

Amônia	NH_3	10 pptv- 1 ppbv	2-10 dias	Biológica
Dióxido de enxofre	SO_2	10 pptv- 1ppbv	dias	Fotoquímica, vulcânica, antrópica
Dimetil sulfeto (DMS)	CH_3SCH_3	10- 100pptv	0,7 dias	Biológica, oceânica
Sulfeto de hidrogênio	H_2S	5- 500 pptv	1-5 dias	Biológica, vulcânica
Dissulfeto de carbono	CS_2	1-300 pptv	~120 horas	Biológica, antrópica
Radical hidroxila	OH	0-0,4 pptv	~1 segundo	Fotoquímica
Radical hidroperoxila	HO_2	0-5 pptv	-	Fotoquímica

Compound name	Structure showing bonds and free electrons	Formula with free electrons	Formula without free electrons
Molecular oxygen	$\text{O}=\text{O}$	$\text{O}_2(\text{g})$	$\text{O}_2(\text{g})$
Molecular nitrogen	$\text{N}\equiv\text{N}$	$\text{N}_2(\text{g})$	$\text{N}_2(\text{g})$
Ozone	$\begin{array}{c} \text{O}^+ \\ \diagup \quad \diagdown \\ -\text{O} \quad \text{O} \end{array}$	$\text{O}_3(\text{g})$	$\text{O}_3(\text{g})$
Hydroxyl radical	$\dot{\text{O}}-\text{H}$	$\dot{\text{O}}\text{H}(\text{g})$	$\text{OH}(\text{g})$
Water vapor	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \diagup \\ \text{O} \\ \diagdown \\ \text{H} \end{array}$	$\text{H}_2\text{O}(\text{g})$	$\text{H}_2\text{O}(\text{g})$
Nitric oxide	$\dot{\text{N}}=\text{O}$	$\dot{\text{N}}\text{O}(\text{g})$	$\text{NO}(\text{g})$
Nitrogen dioxide	$\begin{array}{c} \text{N}^+ \\ \diagup \quad \diagdown \\ -\text{O} \quad \text{O} \end{array}$	$\dot{\text{N}}\text{O}_2(\text{g})$	$\text{NO}_2(\text{g})$
Sulfur dioxide	$\begin{array}{c} \text{S} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{O} \quad \text{O} \end{array}$	$\text{SO}_2(\text{g})$	$\text{SO}_2(\text{g})$
Carbon monoxide	$^-\text{C}\equiv\text{O}^+$	$\text{CO}(\text{g})$	$\text{CO}(\text{g})$
Carbon dioxide	$\text{O}=\text{C}=\text{O}$	$\text{CO}_2(\text{g})$	$\text{CO}_2(\text{g})$
Methane	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\text{CH}_4(\text{g})$	$\text{CH}_4(\text{g})$
Sulfate ion	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{O}=\text{S}-\text{O}^- \\ \\ \text{O}^- \end{array}$	SO_4^{2-}	SO_4^{2-}

Gas name	Chemical formula	Volume mixing ratio (ppbv)		
		Clean troposphere	Polluted troposphere	Stratosphere
Inorganic				
Water vapor	H ₂ O(g)	3,000–4.0(+7) ^a	5.0(+6)–4.0(+7) ^a	3,000–6,000
Carbon dioxide	CO ₂ (g)	390,000	390,000	390,000
Carbon monoxide	CO(g)	40–200	2,000–10,000	10–60
Ozone	O ₃ (g)	10–100	10–350	1,000–12,000
Sulfur dioxide	SO ₂ (g)	0.02–1	1–30	0.01–1
Nitric oxide	NO(g)	0.005–0.1	0.05–300	0.005–10
Nitrogen dioxide	NO ₂ (g)	0.01–0.3	0.2–200	0.005–10
CFC-12	CF ₂ Cl ₂ (g)	0.55	0.55	0.22
Organic				
Methane	CH ₄ (g)	1,850	1,850–2,500	150–1,700
Ethane	C ₂ H ₆ (g)	0–2.5	1–50	— ^b
Ethene	C ₂ H ₄ (g)	0–1	1–30	—
Formaldehyde	HCHO(g)	0.1–1	1–200	—
Toluene	C ₆ H ₅ CH ₃ (g)	—	1–30	—
Xylene	C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂ (g)	—	1–30	—
Methyl chloride	CH ₃ Cl(g)	0.61	0.61	0.36

CFC, chlorofluorocarbon.

^a 4.0(+7) means 4.0×10^7 .

^b A (–) indicates that the volume mixing ratio is negligible, on average.

Combustão

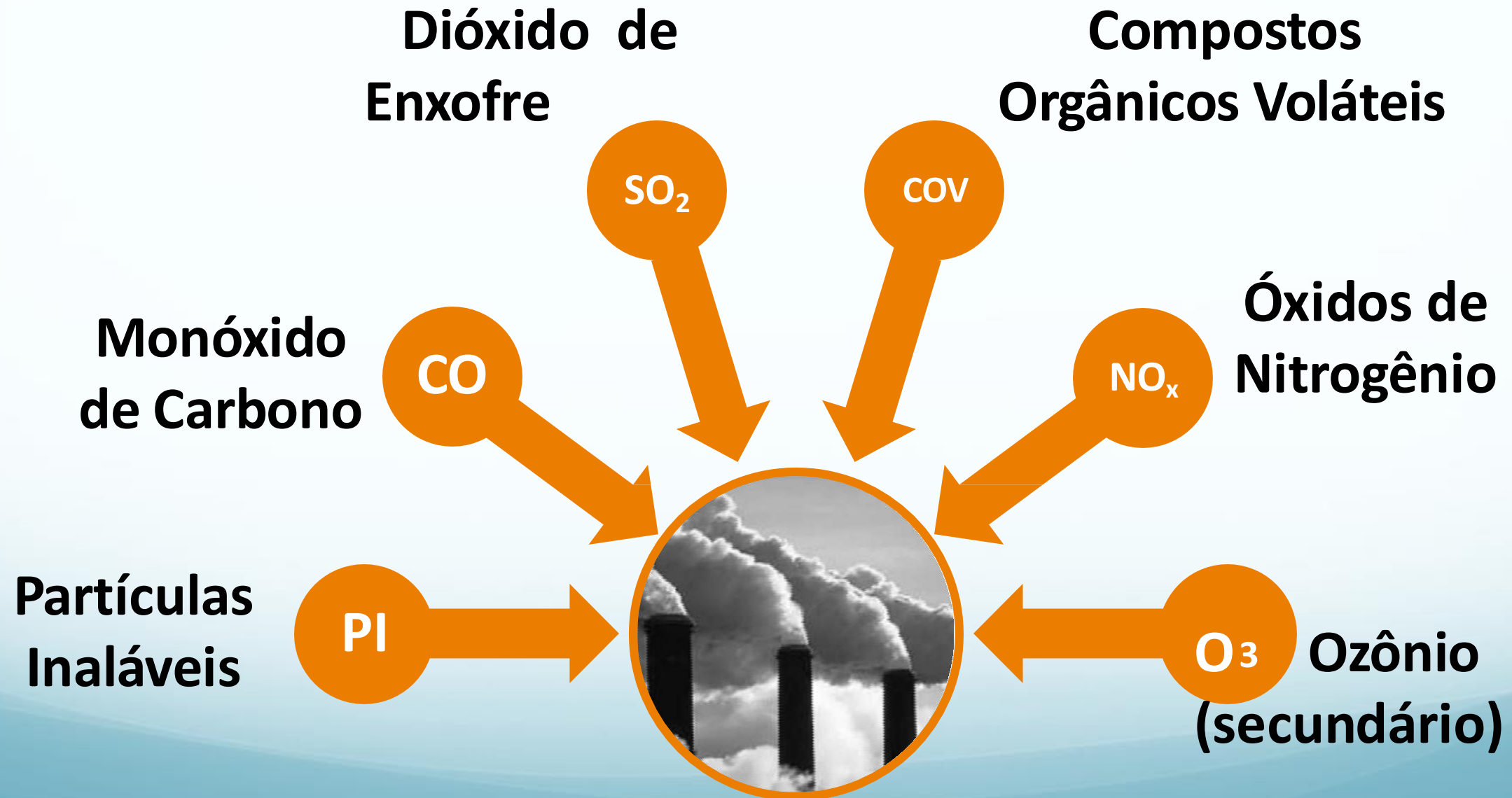
- **Ideal**

Combustível + ar $\longrightarrow$ CO₂ + H₂O + calor

- **Real**

Combustível + ar $\longrightarrow$ CO₂ + H₂O + CO + SO₂ + NO_x +
Partículas + calor + combustível não queimado
(hidrocarbonetos) + COV (hidrocarbonetos, aldeídos,
alcoois, cetonas, ácido carboxílicos)

POLUENTES ATMOSFÉRICOS



Poluentes Atmosféricos

Para Braga et al., (2005)

CO (pelo processo de combustão incompleta)

CO₂ (combustão)

**SO_x(combustão de derivados de petróleo (diesel),
carvão)**

NO_x (combustão),

**COV (queima incompleta de combustível,
evaporação)**

**O₃ (gerado a partir de outros compostos “COV e
óxidos de nitrogênio”)**



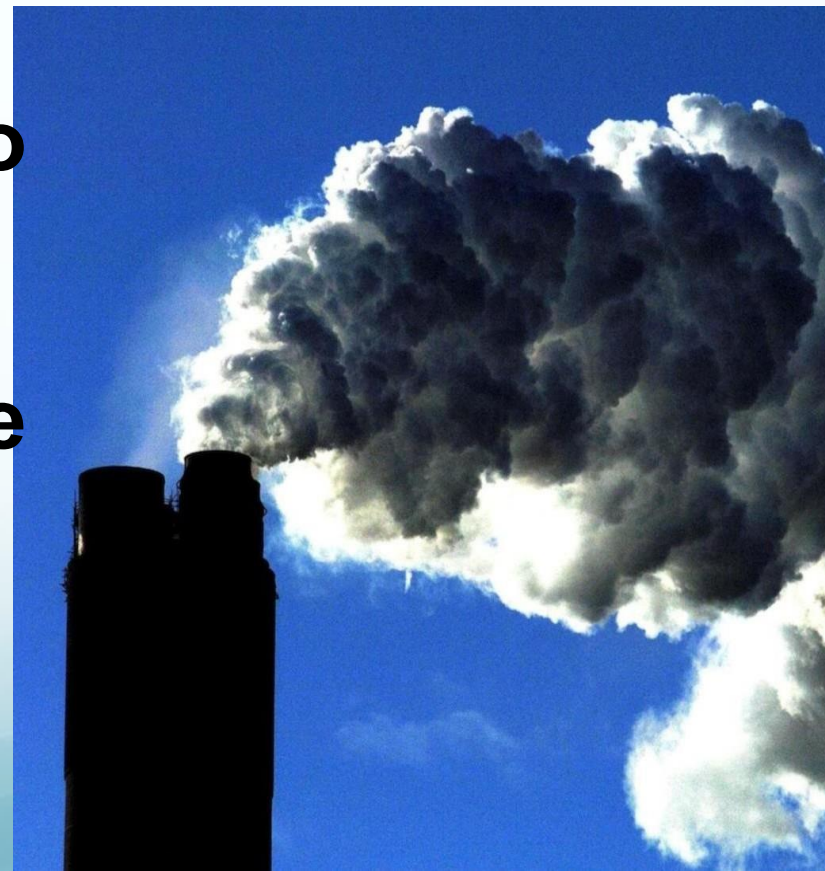
Poluentes Atmosféricos

Para Braga et al., (2005)

MP (partículas sólidas e líquidas capazes de permanecer em suspensão)

metais (combustão do carvão, mineração e processos siderúrgicos)

gás fluorídrico (produção de alumínio e fertilizantes)



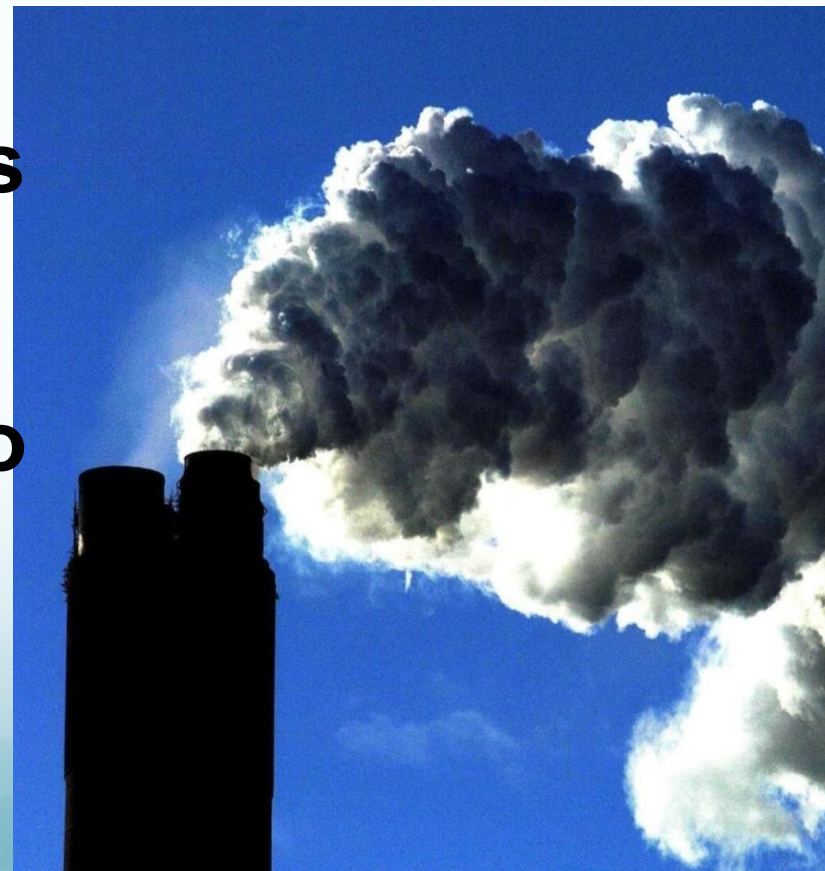
Poluentes Atmosféricos

Para Braga et al., (2005)

Sais de amônio (NH_4^+) (indústria química e fertilizantes)

gás sulfídrico (combustão de derivados de enxofre)

pesticidas e herbicidas (dispersão para o controle de pragas)



Principais poluentes atmosféricos e fontes

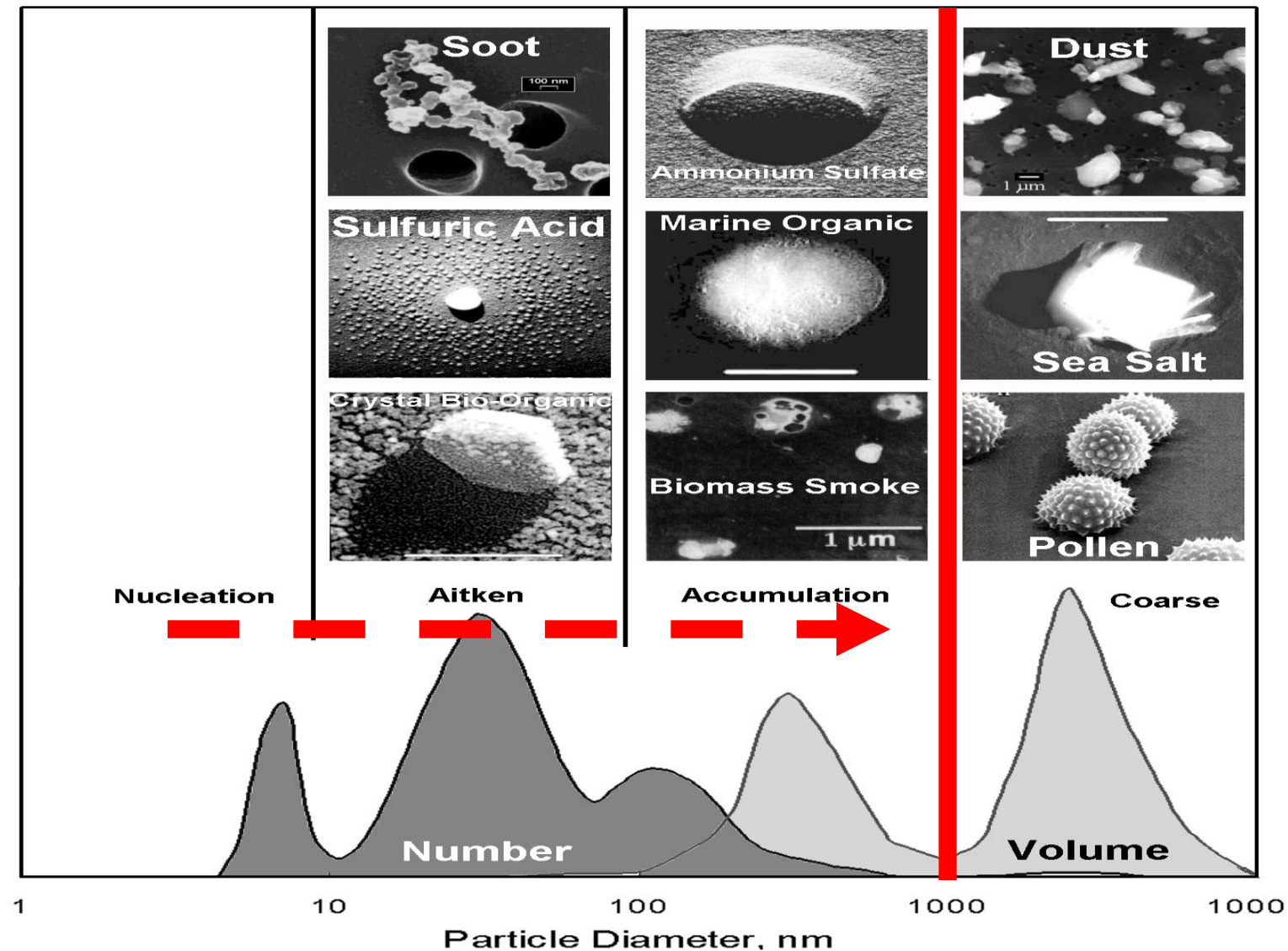
poluentes	fontes	processos	efeito
Óxidos de Enxofre (SO _x)	Antropogênicas	Combustão (refinarias, centrais térmicas, veículos) e processos industriais. Queima de Diesel	Afeta o sistema respiratório Chuvas ácidas Danos em materiais
	Naturais	Vulcanismo e processos biológicos	
Óxidos de Nitrogênio (NO _x)	Antropogênicas	Combustão (veículos e indústria)	Afeta o sistema respiratório Chuvas ácidas
	Naturais	Emissões da vegetação, relâmpago	
Compostos Orgânicos Voláteis (COV)	Antropogênicas	Refinarias Petroquímicas Veículos Evaporação de combustíveis e solventes	Poluição fotoquímica Incluem compostos tóxicos e carcinogênicos
	Naturais	Emissões da vegetação	

Monóxido de Carbono (CO)	Antropogênicas	Combustão (veículos)	Reduz a capacidade de transporte de oxigênio no sangue
	Naturais	Emissões da vegetação	
Dióxido de Carbono (CO ₂)	Antropogênicas	Combustão	Efeito estufa
	Naturais	Incêndios florestais	
Chumbo (Pb)	Antropogênicas	Gasolina com chumbo Incineração de resíduos	Tóxico acumulativo Anemia e destruição de tecido cerebral
Partículas	Antropogênicas	Combustão Processos industriais Condensação de outros poluentes Extração de minerais	Alergias respiratórias Vetor de outros poluentes (metais pesados, compostos orgânicos carcinogênicos).
	Naturais	Erosão eólica Vulcanismo Emissão da Vegetação Bactérias, fungos	
CFC's	Antropogênicas	Aerossóis Sistemas de refrigeração Espumas, sistemas de combate a incêndios.	Destruição da camada de ozônio Contribuição para o efeito estufa

Partículas de Aerossóis

Fração grossa: $2,5\text{ }\mu\text{m} < \text{diâmetro} < 10\text{ }\mu\text{m}$

Fração fina: $\text{diâmetro} < 2,5\text{ }\mu\text{m}$



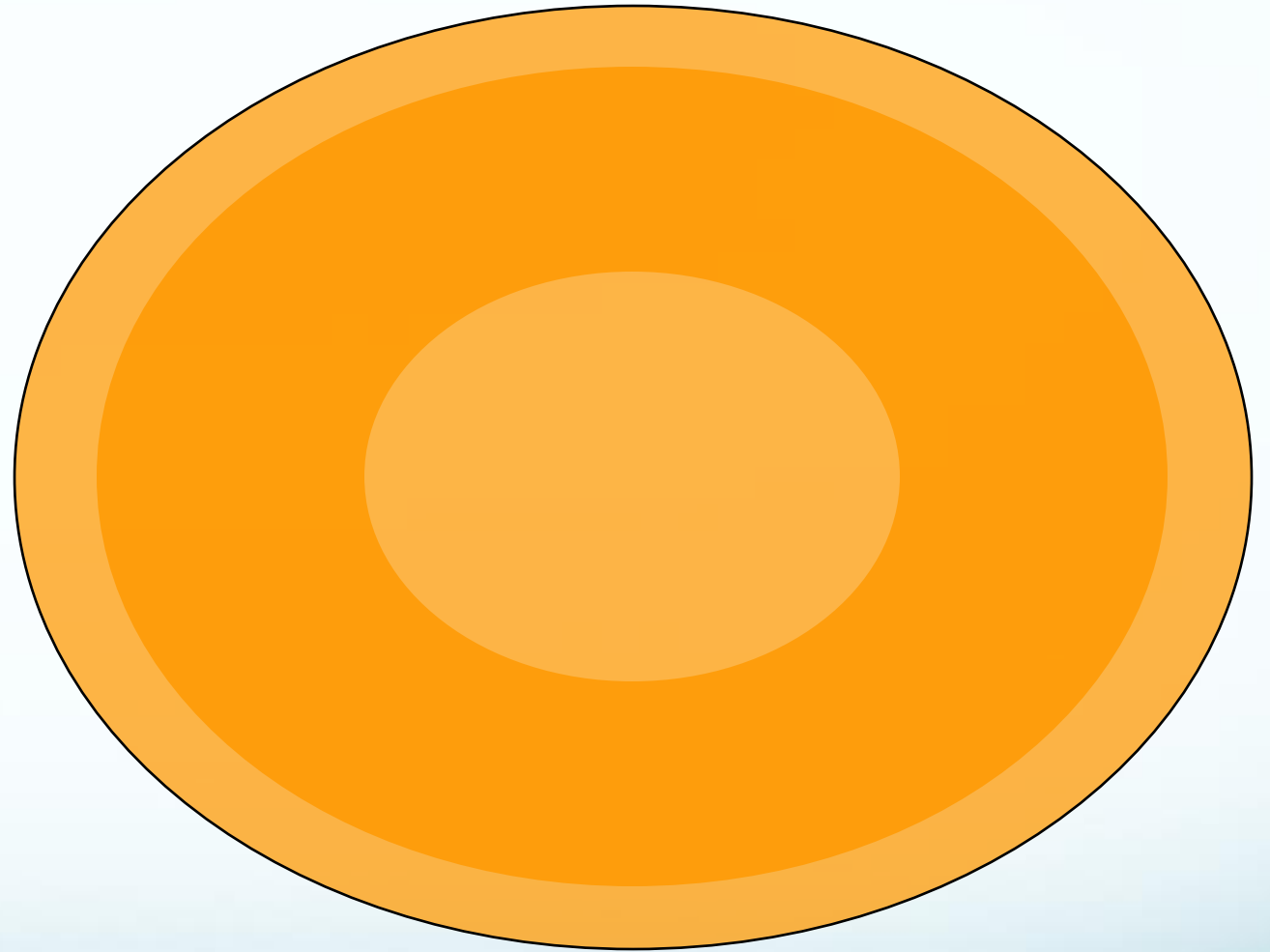
Baseada na apresentação de
Guy Brasseur

Partículas Finas (PM_{2.5})

Partículas Inaláveis (PM₁₀)

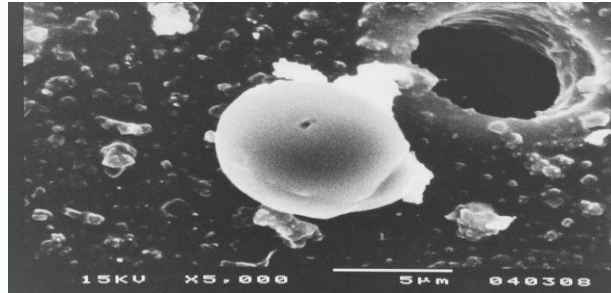
**Diâmetro de cabelo humano
40000nm ou 40 μm**

**Partículas ultra-finas
3 nm a 100 nm**

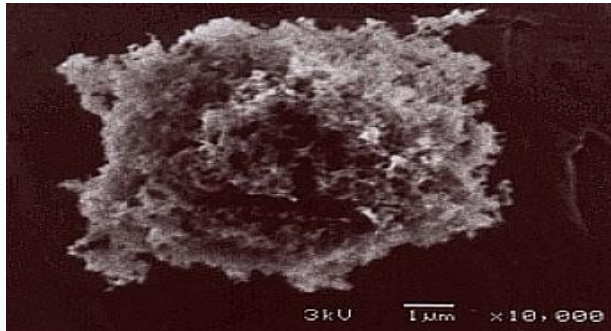


Poluentes emitidos/formados em áreas urbanas com impacto global

**Aerossóis
Atmosférico**



Sulfatos

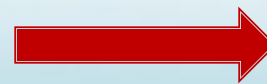


Black Carbon

Ozônio

COV

NO_x



O₃

Aerossóis

- Aerocolóides, matéria particulada ou simplesmente partículas.
- Incluem: poeiras, fumos, cinzas, nevoeiros, sal, fuligem, metais, compostos óxidos e também contêm compostos semivoláteis - nitratos e muitos outros compostos orgânicos.
- Vetores da poluição e da radioatividade atmosféricas

Aerossóis

- Formação de nuvens e de precipitação
- Balanço radiativo da atmosfera
- Visibilidade
- Permutas entre o oceano e a troposfera
- Eventuais modificações na camada de ozônio.

(Alves, C. 2005).

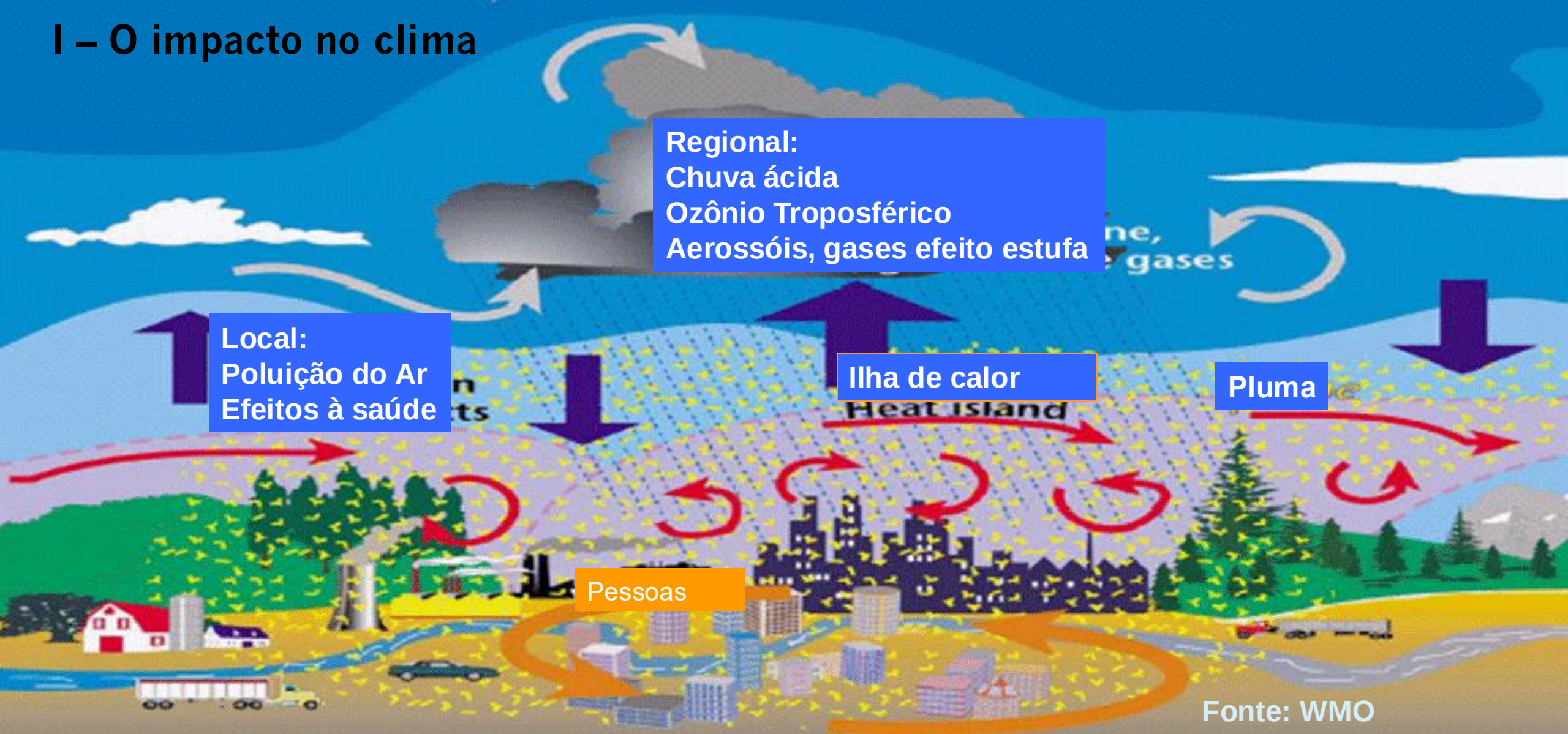
- Tamanho da partícula, forma, concentração e composição química.

- O efeito direto dos aerossóis no clima consiste nos mecanismos que afetam diretamente o fluxo de radiação solar na superfície, podendo levar tanto ao aquecimento quanto ao resfriamento, dependendo das propriedades intrínsecas das partículas de aerossóis e da refletividade da superfície. (Artaxo, 2006)

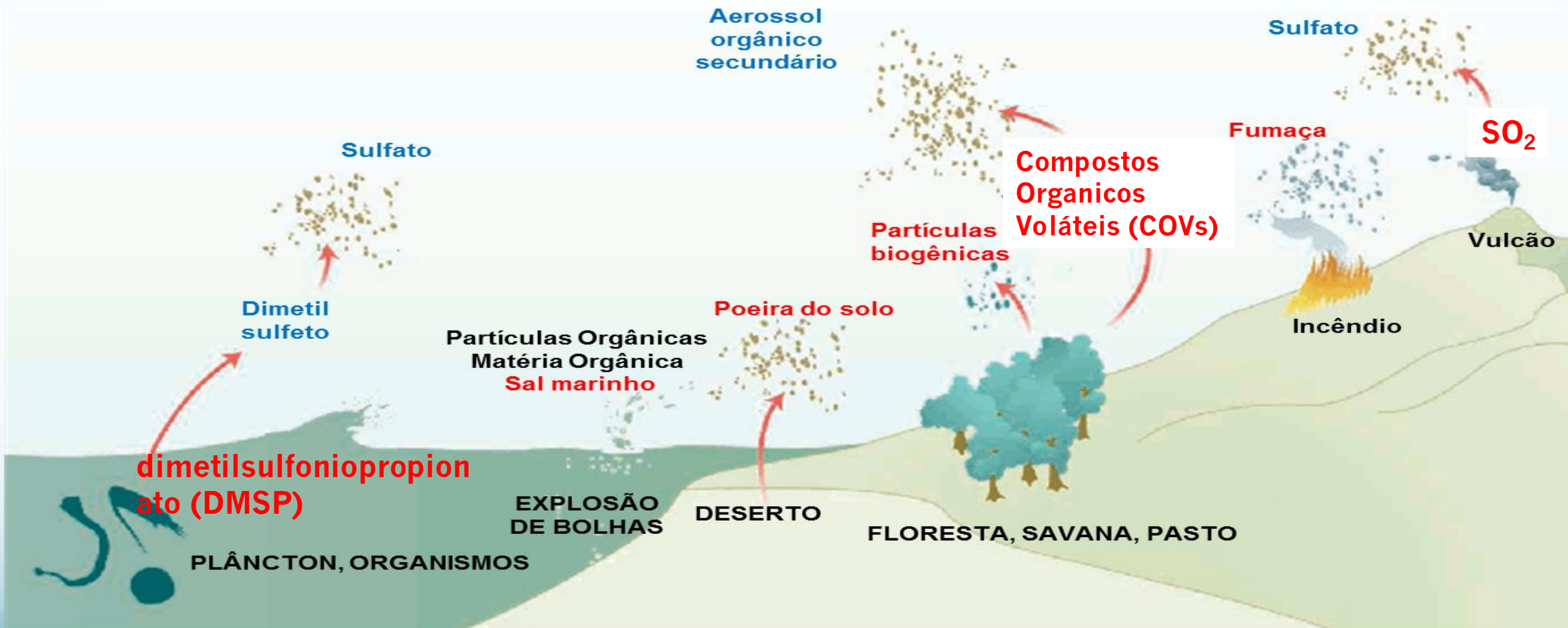
- Espessura óptica
- Albedo
- Parâmetro de assimetria
- Função de base
- Variam com a umidade do ar

Global: mudanças climáticas

I – O impacto no clima

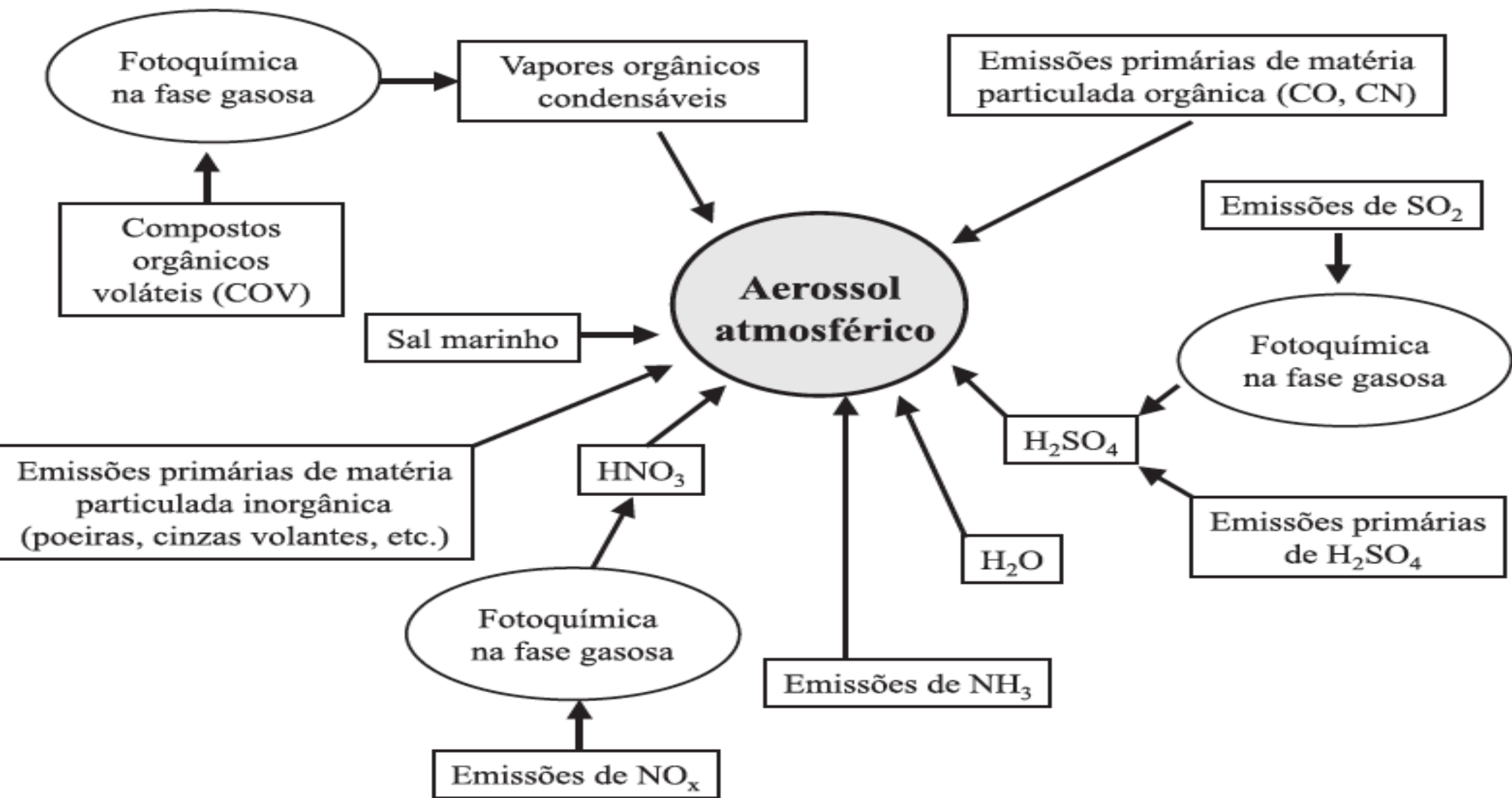


Fontes de aerossóis

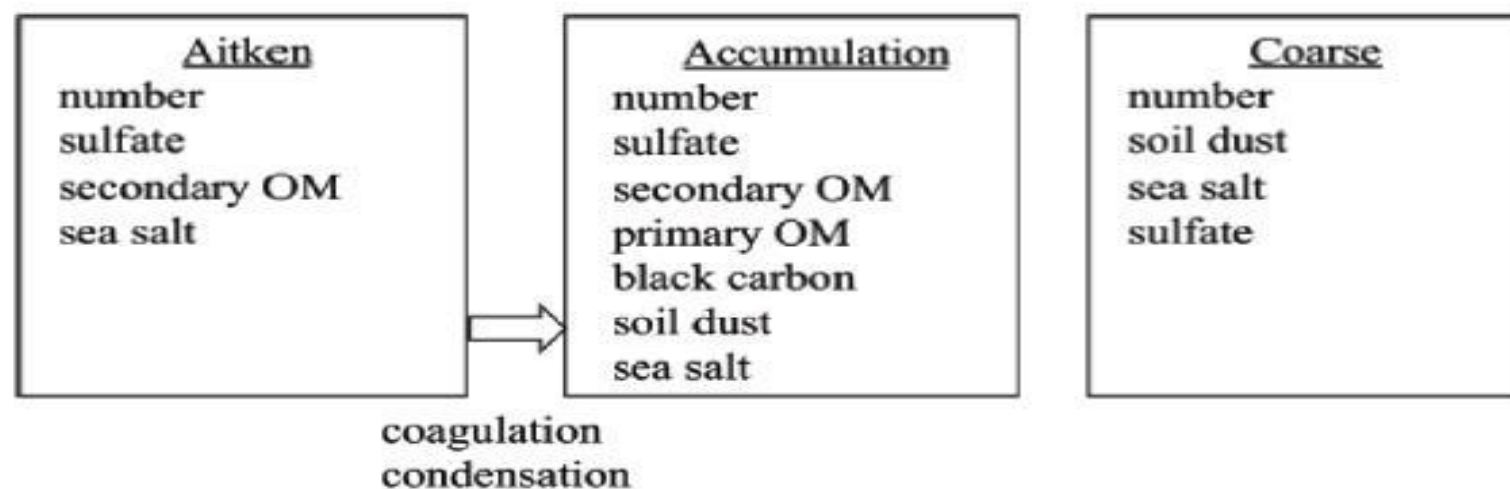


Aerossóis primários e gases: em vermelho
Aerossóis secundários: em azul





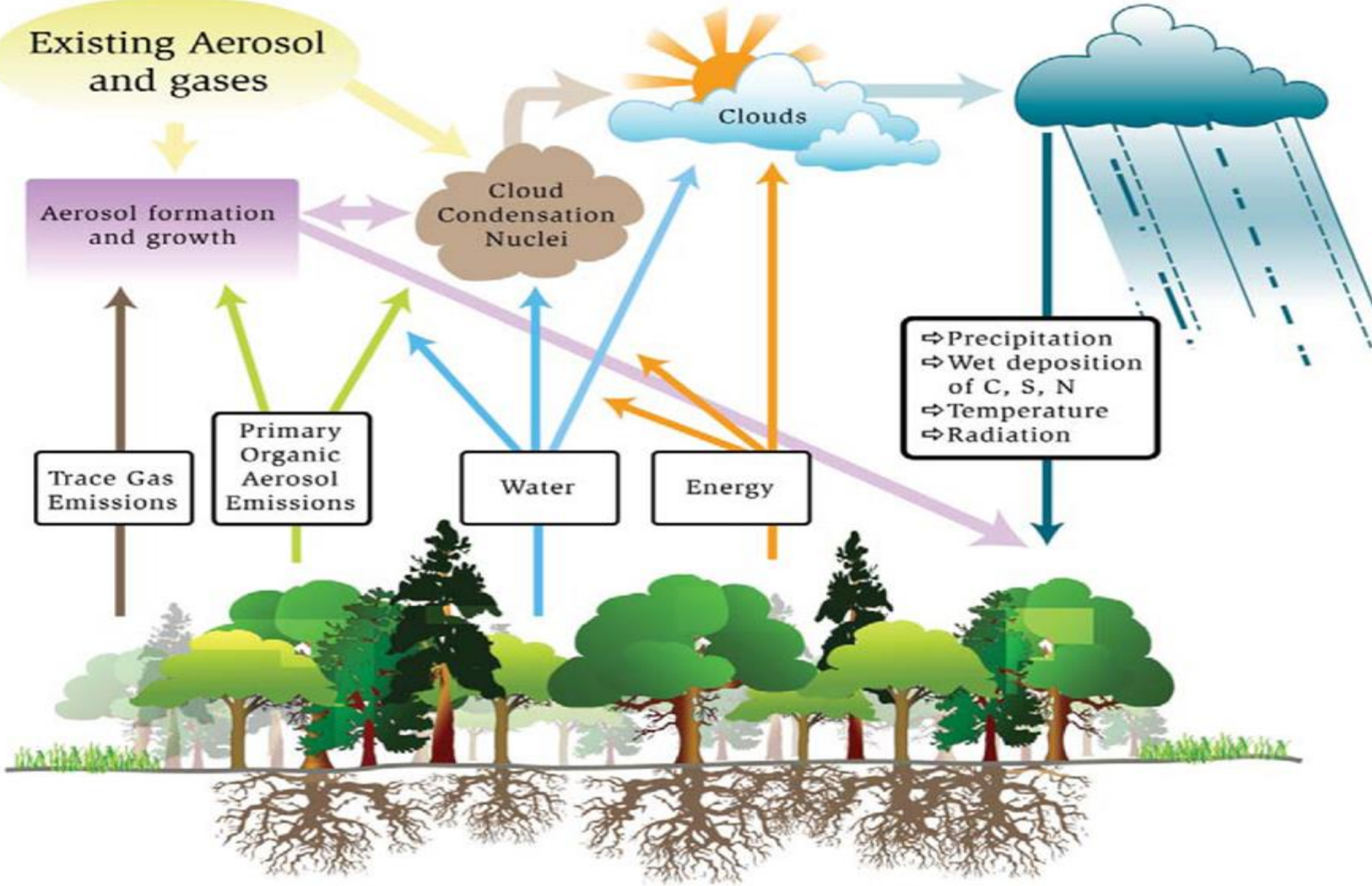
	Soluble	Insoluble
Nucleation Mode ² $r < 0.005 \mu\text{m}$ $\sigma = 1.59$	SU	
Aitken Mode $0.005 \mu\text{m} < r < 0.05 \mu\text{m}$ $\sigma = 1.59$	SU BC POA SOA_IS1 SOA_IS2 SOA_MO1 SOA_MO2 SOA_ANT	BC POA SOA_IS1 SOA_IS2 SOA_MO1 SOA_MO2 SOA_ANT
Accumulation Mode $0.05 \mu\text{m} < r < 0.5 \mu\text{m}$ $\sigma = 1.59$	SU BC POA DU SS SOA_IS1 SOA_IS2 SOA_MO1 SOA_MO2 SOA_ANT	DU
Coarse Mode $r > 0.5 \mu\text{m}$ $\sigma = 2.0$	SU BC POA DU SS SOA_IS1 SOA_IS2 SOA_MO1 SOA_MO2 SOA_ANT	DU



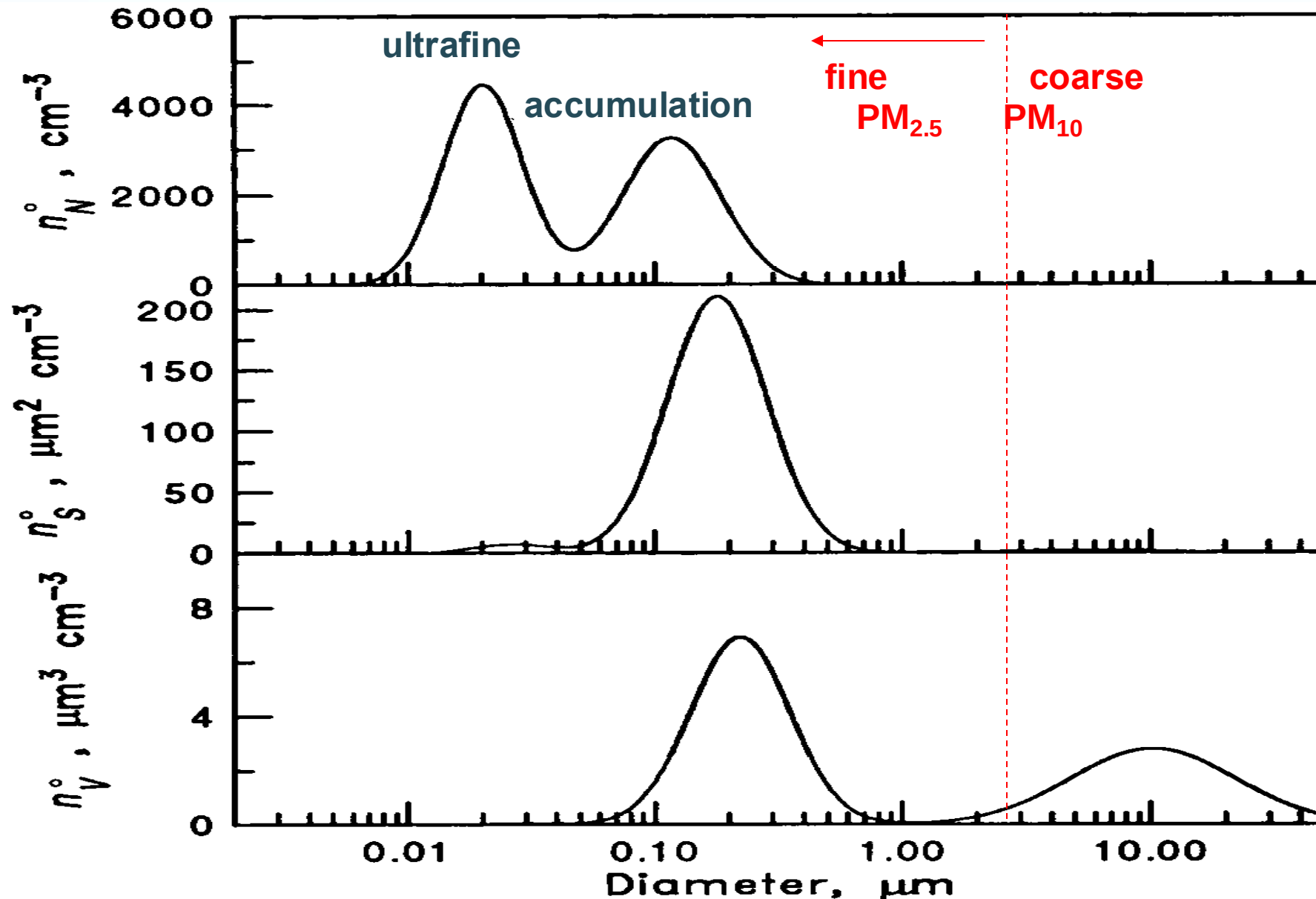
FONTES DE AEROSSÓIS

- 1. As partículas de moda Aitken** surgem à temperatura ambiente, da conversão de gás em partículas (nucleação) e processos de combustão.
- 2. Partículas na faixa de acumulação** tipicamente surgem do crescimento de partículas da moda dos núcleos de condensação de vapores de baixa volatilidade e de coagulação das partículas menores na faixa de núcleos.
- 3. Dois picos na moda de acumulação** são resultado de diferentes processos atmosféricos agindo sobre as partículas menores: modo de condensação e modo de gotículas.
- 4. partículas grossas** são geralmente produzidas por processos mecânicos como a moagem, o vento ou erosão

Interações entre a biosfera e a atmosfera



TYPICAL AEROSOL SIZE DISTRIBUTION



$$n(D_p) = \frac{dN}{dD_p}$$

N=number concentration (particles/cm³)

$$N = \int_0^{\infty} n(D_p) dD_p$$

$$n_s(D_p) = \frac{dS}{dD_p}$$

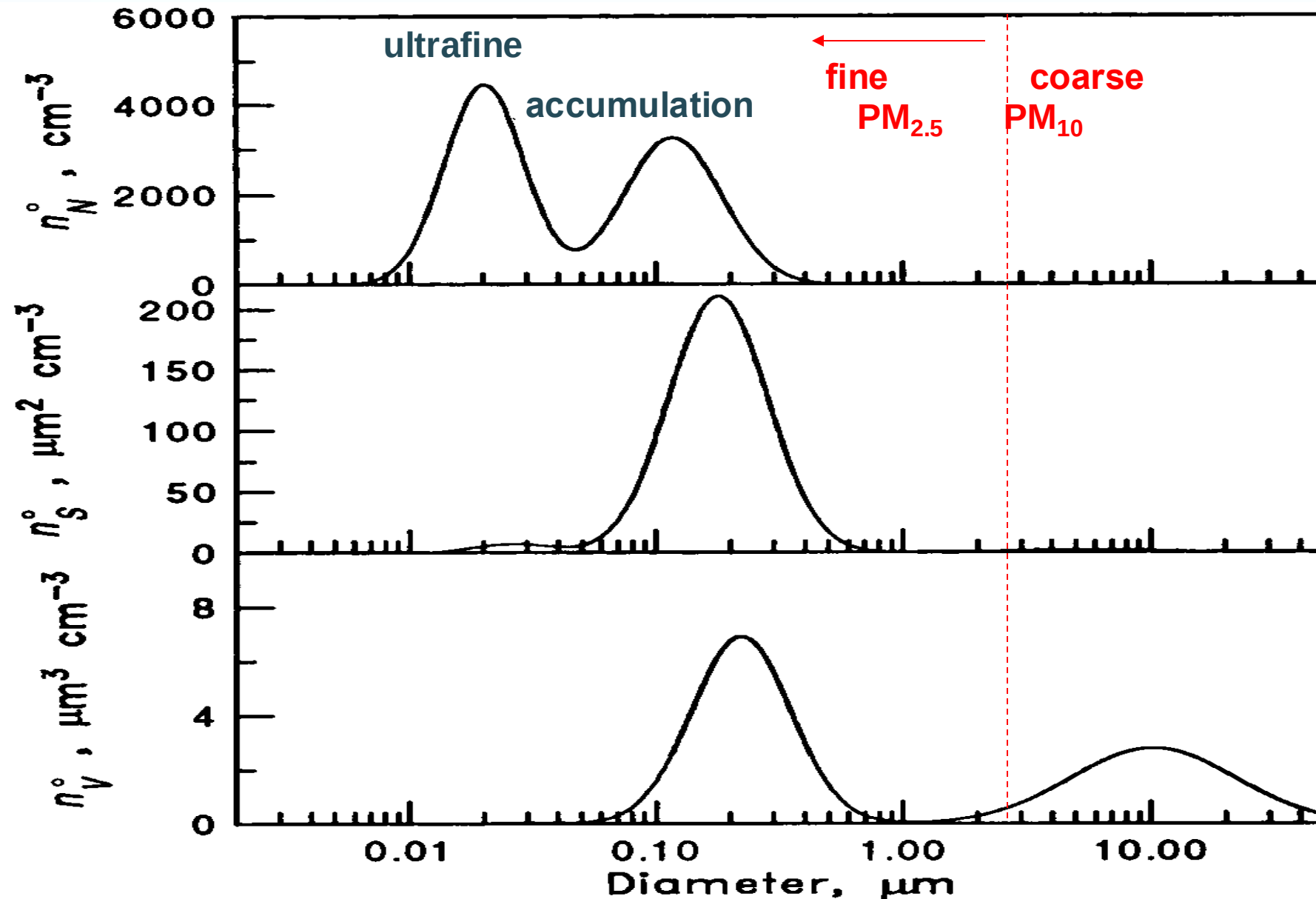
$$= \pi D_p^2 n(D_p)$$

$$n_v(D_p) = \frac{dV}{dD_p}$$

$$= \frac{\pi}{6} D_p^3 n(D_p)$$

Size Distribution

“remote
continental air”



Number
Density n

Surface
Area
($n \pi r^2$)

Volume
Density
($n \frac{4}{3} \pi r^3$)

AEROSOLS AND VISIBILITY: PM10 IN BEIJING 2008

PM10: Média anual de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$; Média de 24 horas: $45 \mu\text{g}/\text{m}^3 \rightarrow \text{OMS}$



8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
12 July



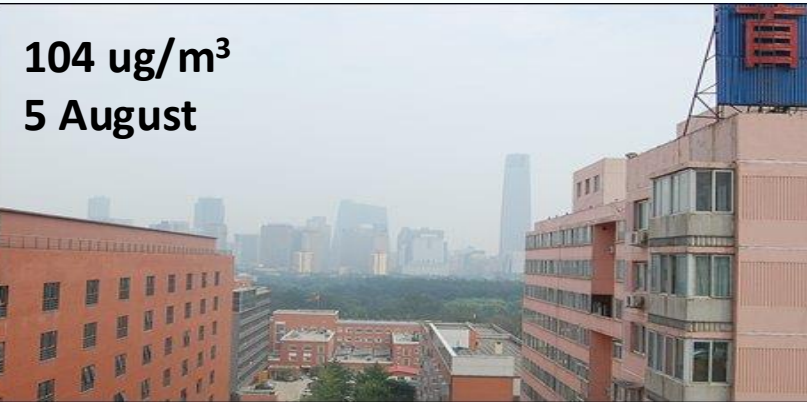
26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
15 July



32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
20 July



104 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
5 August



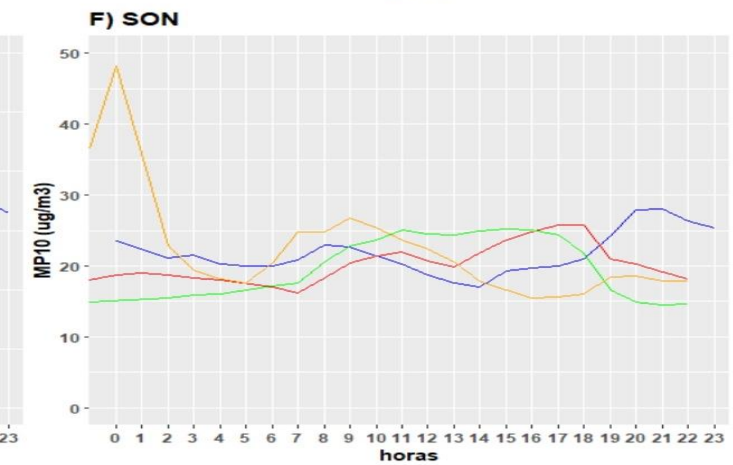
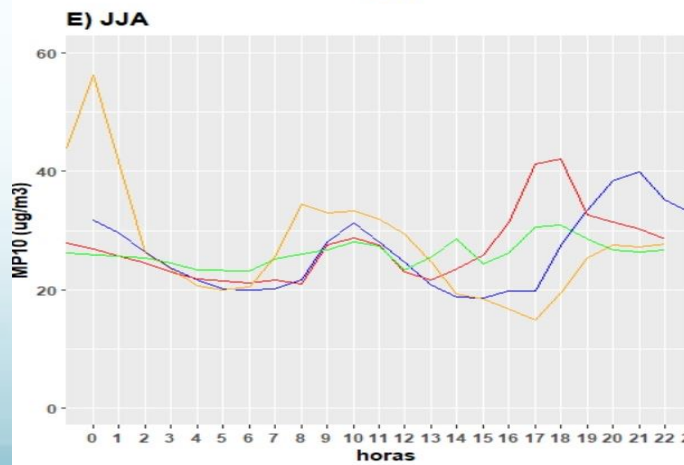
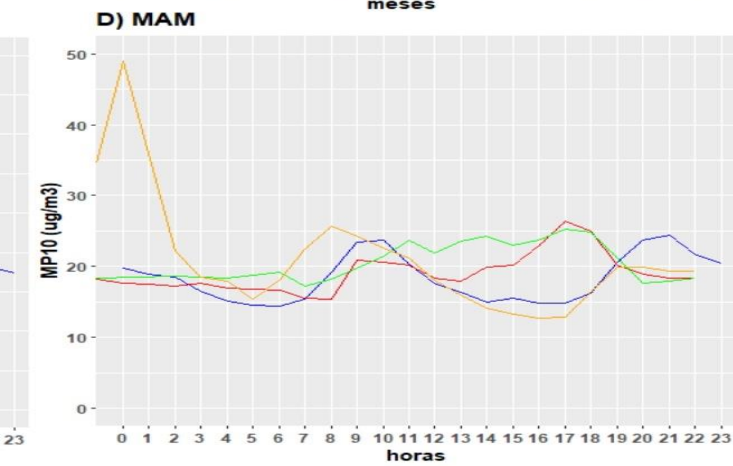
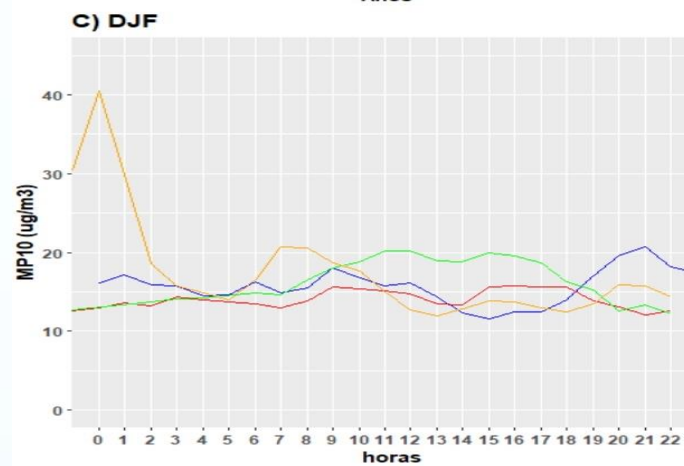
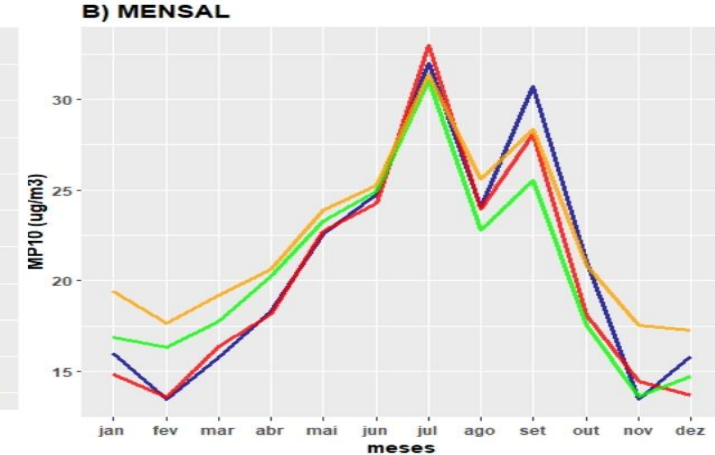
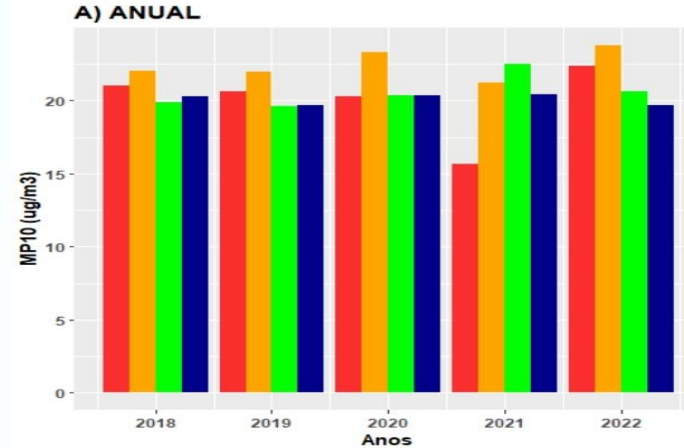
191 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
7 August



278 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
10 August



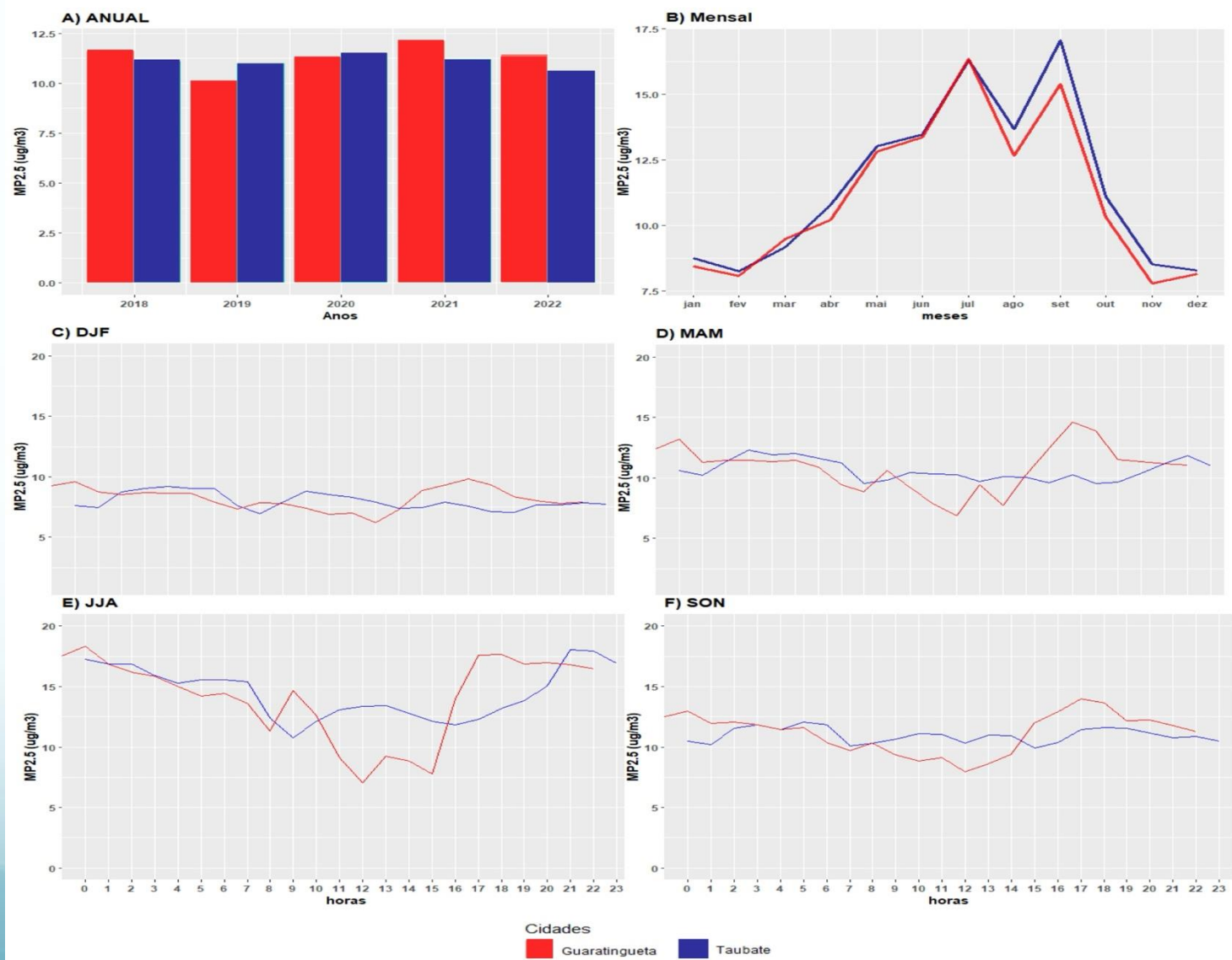
		Brasil - CONAMA	OMS
Material particulado grosso (MP10)	24 horas	120	45
	MAA ¹	40	15



Cidades

Guaratingueta São José dos Campos São José dos Campos - Jardim Satélite Taubate

		Brasil - CONAMA	OMS
Material particulado fino (MP2.5)	24 horas	60	15
	MAA ¹	20	5



Ji-Paraná – Rondônia



Clear day



Polluted day

Source: Procópio, 2003

Aerossóis primários

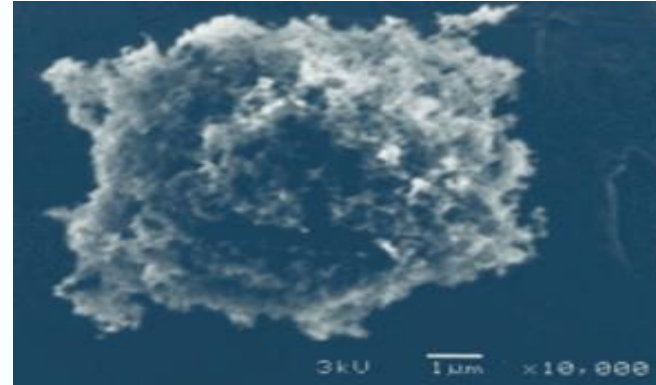
Aerossóis carbonosos ou carbonáceos:

- carbono orgânico (OC) e carbono negro (CN) ou carbono elementar (CE) ou black carbon (BC)
- CN e OC: produtos primários de origem antrópica.
- CN: todo o carbono que apresenta cor negra. cadeias de átomos de carbono de estrutura microcristalina responsáveis pelas características de absorção luminosa do CN.
- Capacidade de adsorção de poluentes gasosos, ligação duplas (π)
- Fontes: queima de biomassa e de combustíveis (OC e CE) e pela oxidação atmosférica de compostos orgânicos voláteis (COV) tanto de fonte biogênica quanto de fonte antropogênica, este último OC.
- BC → essencialmente de fonte antropogênica, exceto em casos que a queimada não foi causada por atividades humanas.

BC is emitted by incomplete combustion



Diesel engines are large BC sources



Freshly emitted BC particle

BC, CE ou CN

- Recentemente, estudos têm mostrado que a precipitação de soot-BC na neve pode ser responsável por 25 % do aquecimento global do século passado, uma vez que reduz a refletância da luz solar no ártico
- (Hansen and Nazarenko, 2004 apud Lima, 2004).

BC, CE ou CN

- BC tem sido reportado como causador de vários problemas respiratórios e cardiovasculares em humanos, pois o particulado no ar contém glóbulos de fuligem ultra-finos que migram para os pulmões carreando muitos compostos tóxicos carcinogênicos (p. ex. Hidrocarbonetos policíclico aromático → (HPAs)) (Koelmans et al., 2006).

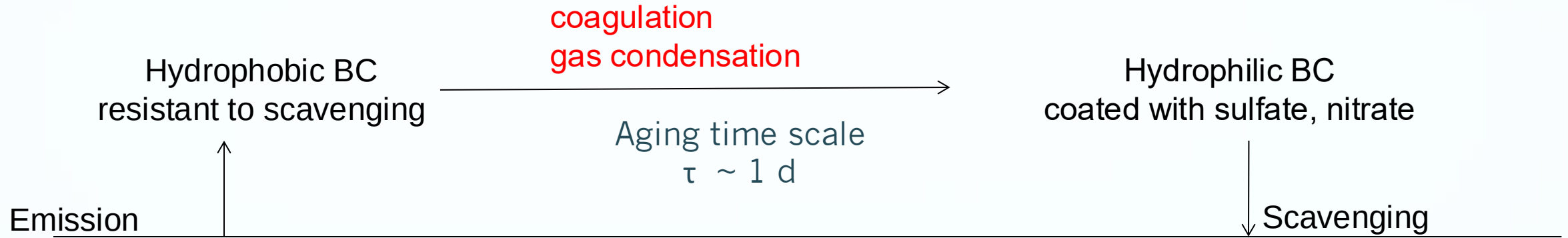
BC, CE ou CN

- BC age como ‘supersorvente’ também para outros compostos, como as bifenilas policloradas (PCBs), as dibenzo-pdioxinas policloradas e furanos, e os difenileteres polibromados (PBDEs), o que o conecta com o ciclo global dos poluentes orgânicos persistentes (POPs) (Cornelissen & Gustafsson, 2006; Koelmans et al., 2006).

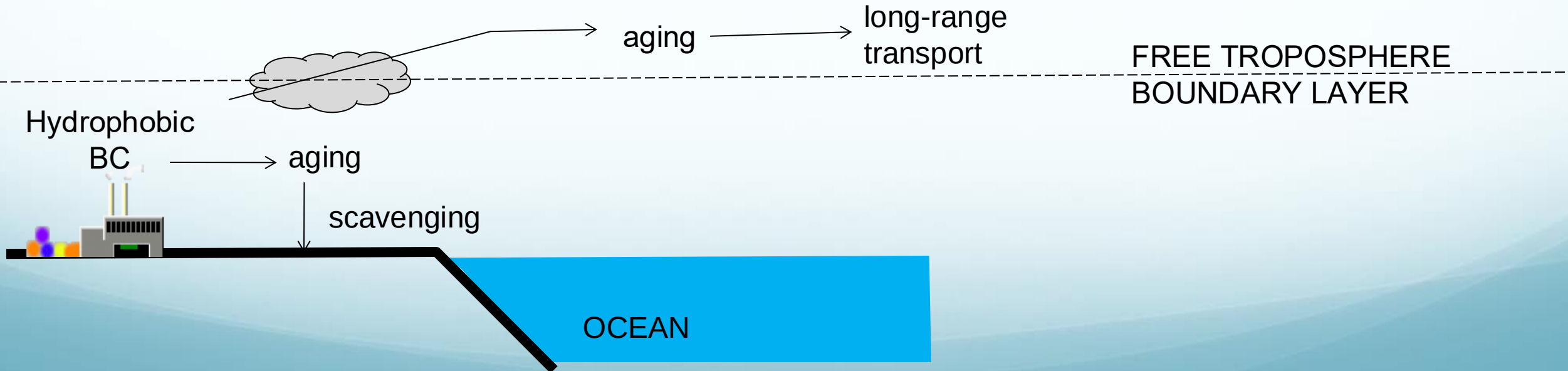
BC, CE ou CN

- CE tem especial capacidade de absorver a radiação solar, portanto acumulam calor na atmosfera ao absorver a radiação solar incidente e a refletida pela superfície da terra (infravermelho).

Atmospheric aging and scavenging of BC

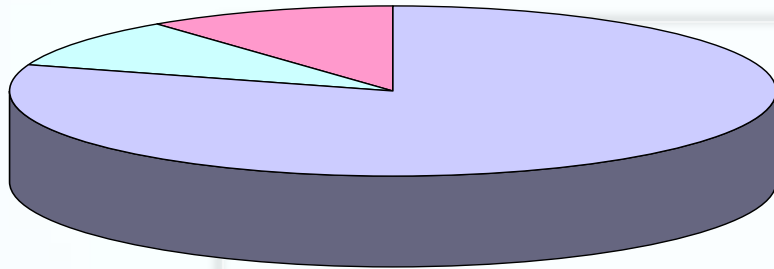


Implications for BC export from source continents:



CARBONACEOUS AEROSOL SOURCES IN THE U.S.A

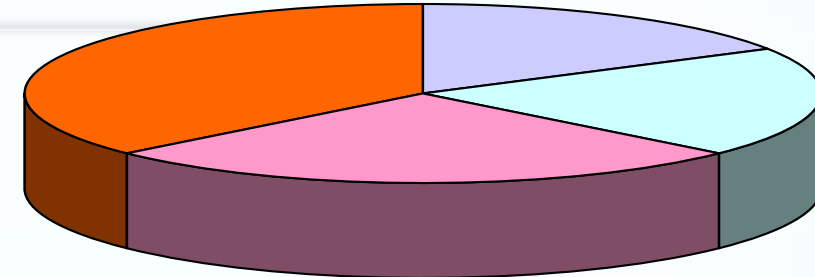
BLACK CARBON (BC)



0.66 Tg yr⁻¹

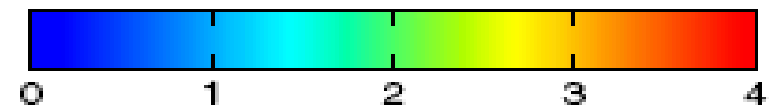
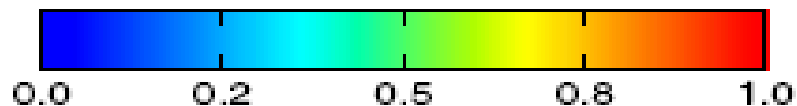
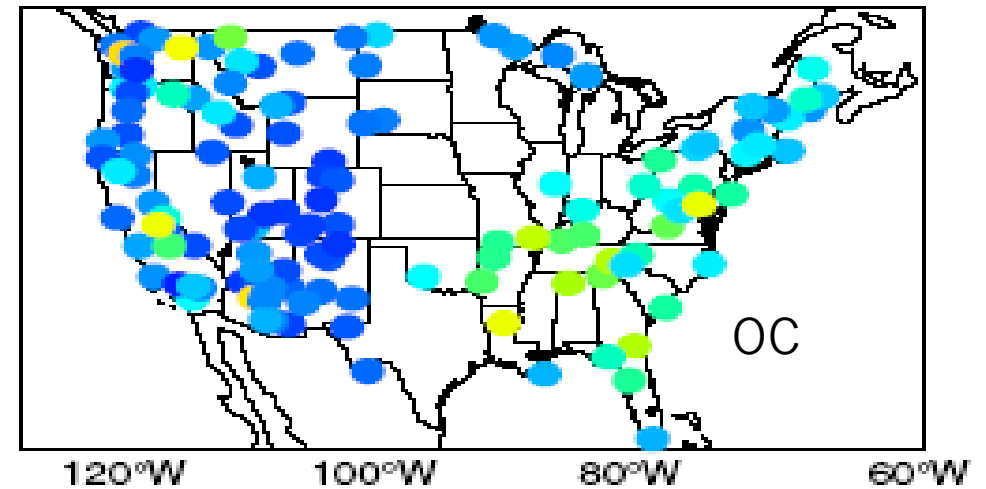
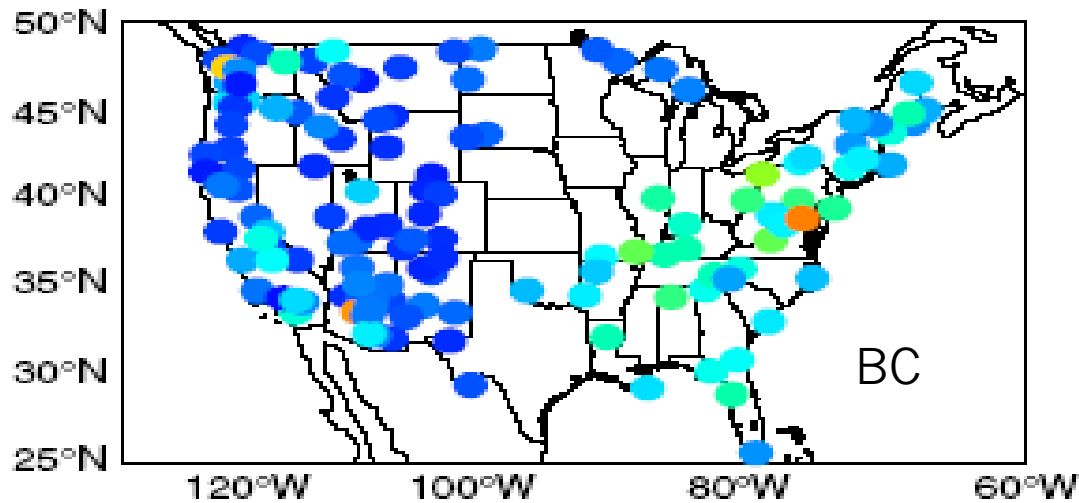


ORGANIC CARBON (OC)



2.7 Tg yr⁻¹

Annual mean concentrations (2001)



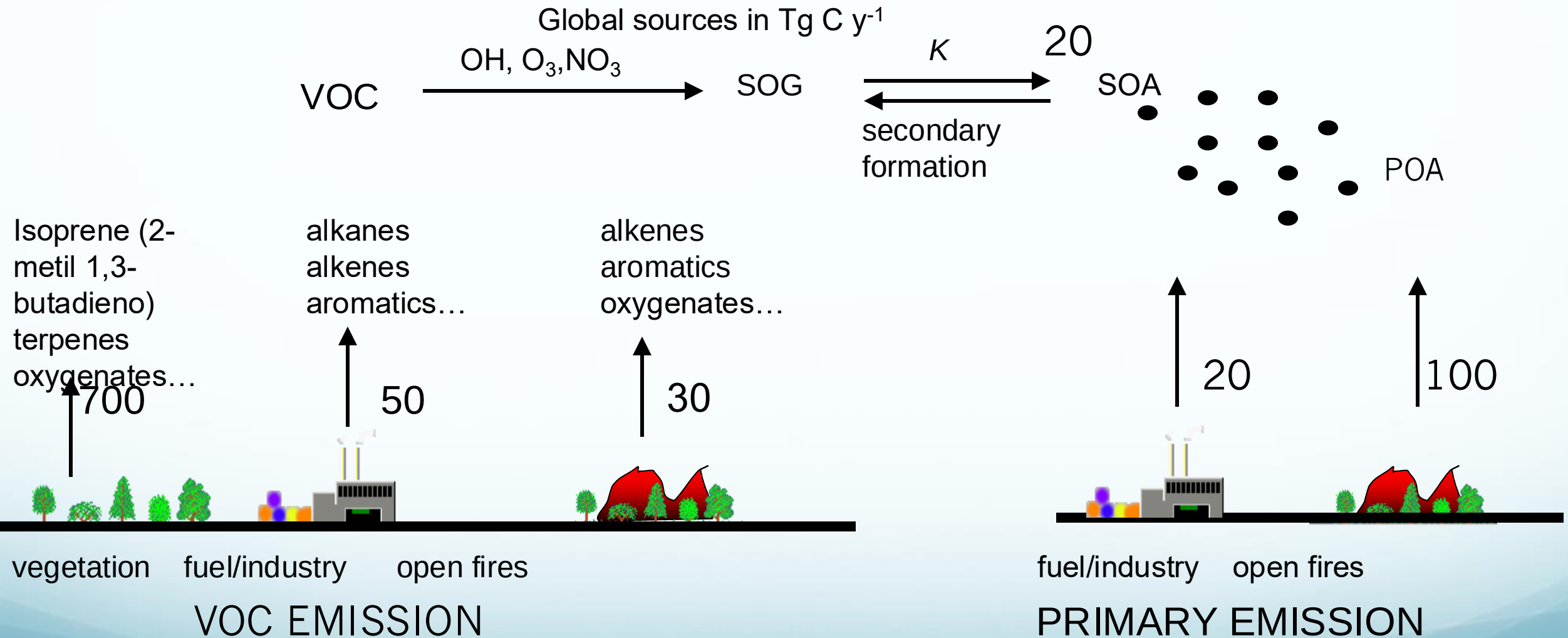
Aerossóis orgânicos

- processos de condensação de compostos voláteis emitidos pelas plantas, queimadas, veículos e indústrias.
- Compostos terpênicos emitidos pelas plantas quimicamente semelhantes às olefinas liberadas pelos escapes dos automóveis
- mesmo tipo de reação fotoquímica
- formação de (O) a partir de (NO_2) e UV. O (O) pode reagir com (O_2) e formar (O_3). O_3 e (O) podem reagir com as olefinas ($\text{C} = \text{C}$) e produzir vários produtos orgânicos.
- mecanismos de nucleação e da condensação dos compostos sobre partículas pré-existentes.

Aerossóis orgânicos

- grande influência sobre a qualidade do ar.
- redução da visibilidade e interferência na dispersão da luz.
- fração inalável ($dp < 2,5 \mu\text{m}$) pode contribuir para o agravamento das doenças pulmonares

ORGANIC AEROSOL IN STANDARD GEOS-Chem MODEL

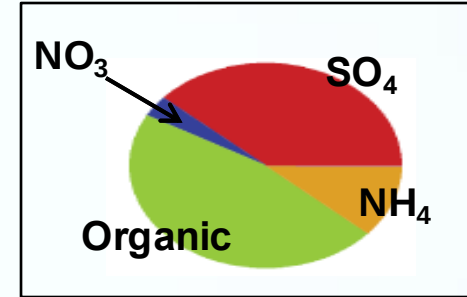
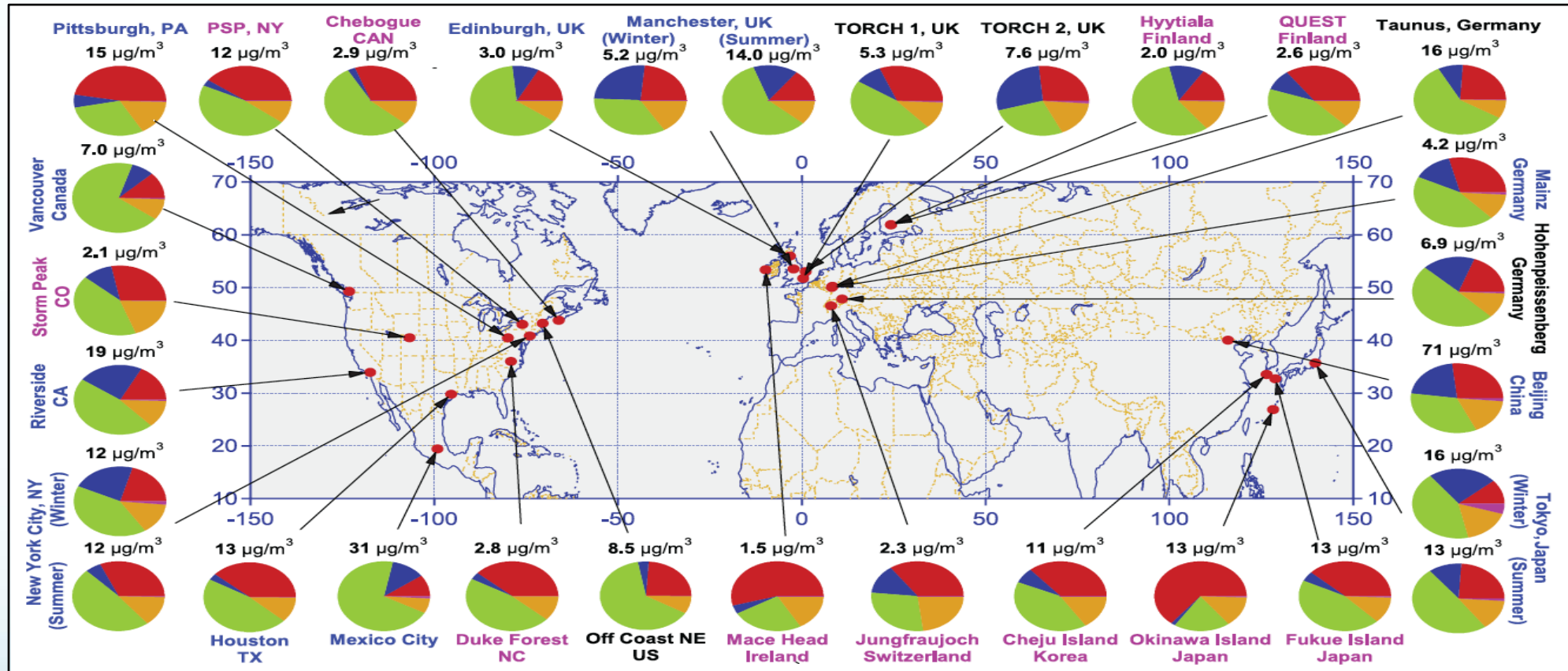


SOA ≡ secondary organic aerosol

POA ≡ primary organic aerosol

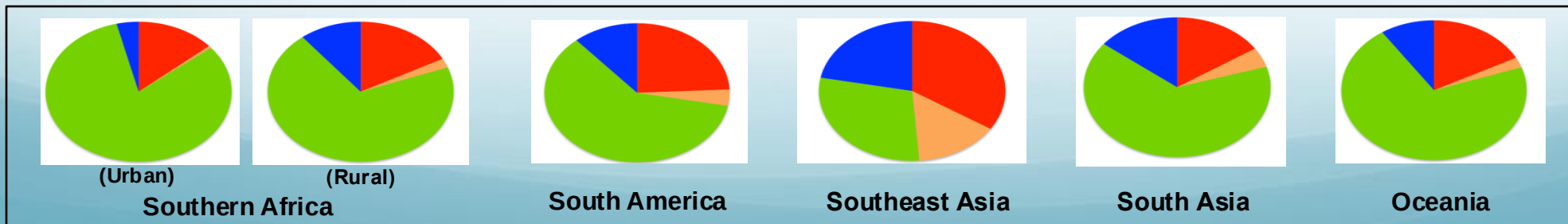
Organic Aerosol is Ubiquitous in the Atmosphere

Northern hemisphere aerosol components



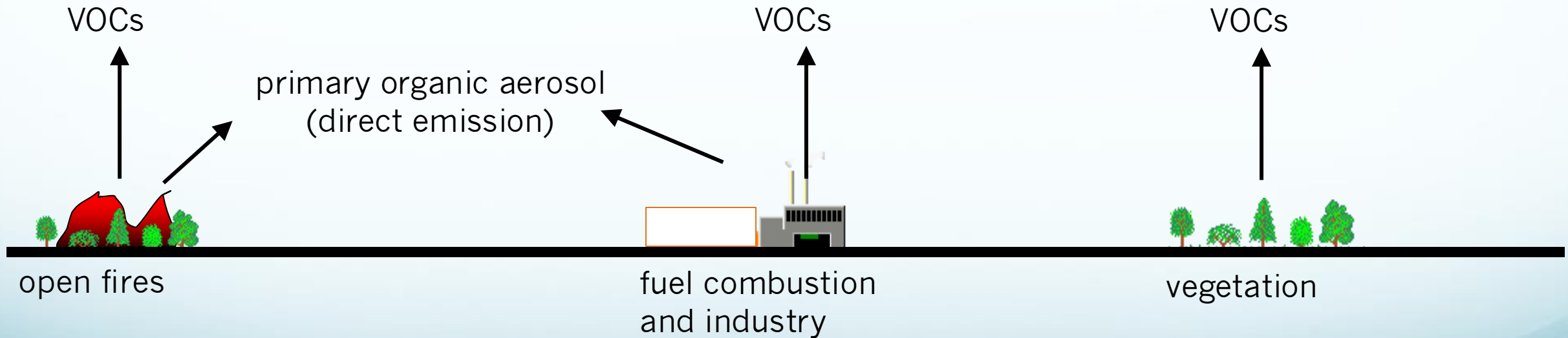
[Zhang et al., 2007]

Tropics and southern hemisphere aerosol components



[IPCC, 2013]

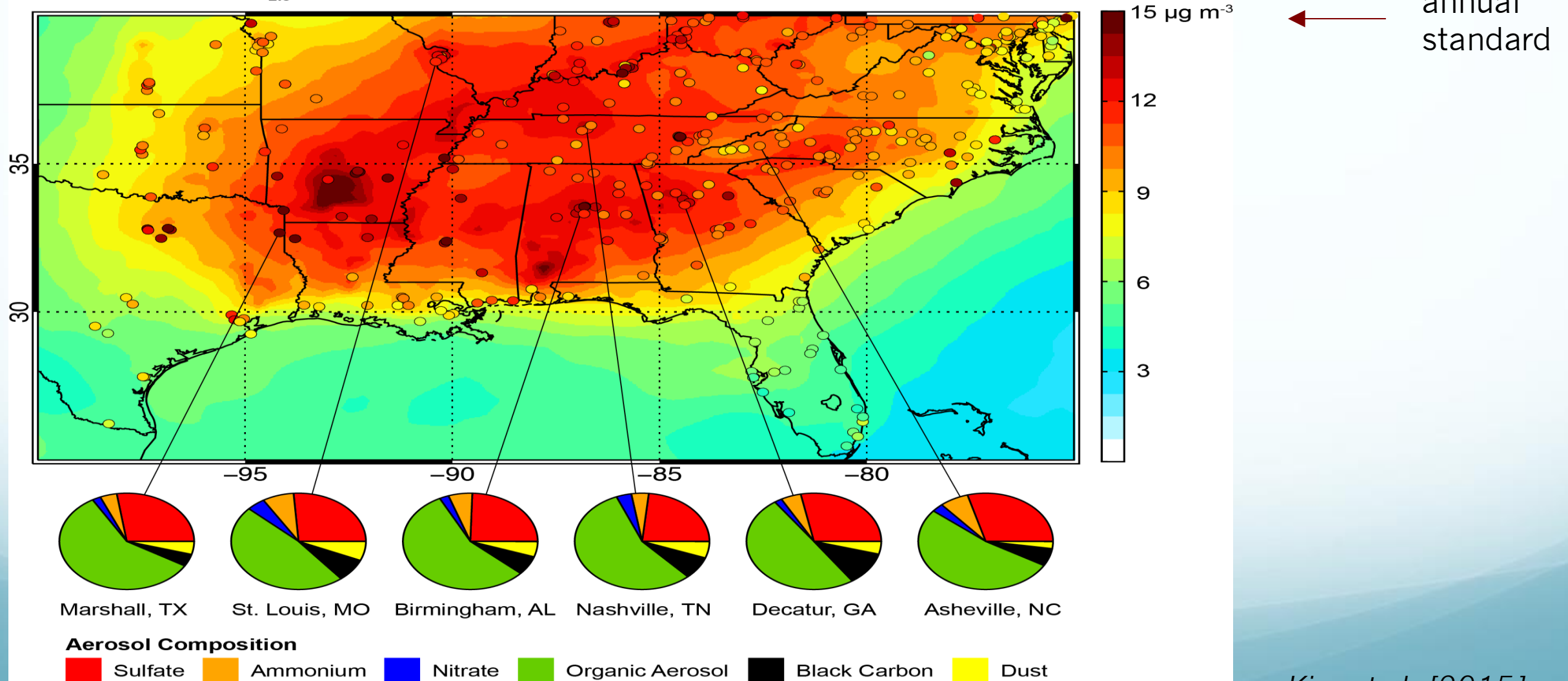
Primary and secondary organic aerosol (POA and SOA)



Fine particulate matter (PM_{2.5}) in the Southeast US

PM_{2.5} in Aug-Sep 2013: observed (circles), GEOS-Chem model (background)

PM_{2.5} in the Southeast US, August-September 2013



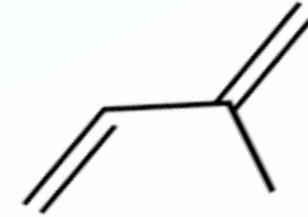
Measurements in 2012 in the city of São Paulo

Almeida et al., 2013 → it was found that the most abundant observed species were the **organic and BC**, representing **86%** of the total mass of aerosols (**49.3% and 36.9% for organic and BC**, respectively), implying the relevant impact of use of the diesel as vehicle fuel.

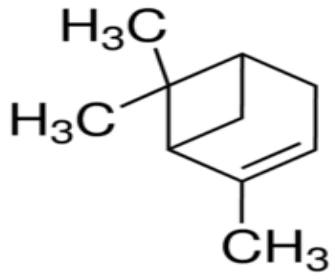
Other species contributed to 5.6%, 4.3%, 3.4%, and 0.4%, for SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , and Cl^-

Biogenic VOCs as secondary organic aerosol (SOA) precursors

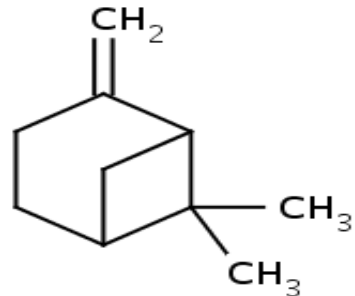
Isoprene (C_5H_8) (2-metil 1,3-butadieno): mostly from deciduous trees, ~3% SOA yield per C atom



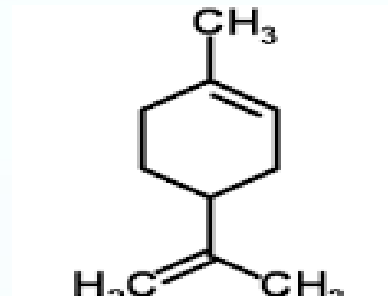
Terpenes ($C_{10}H_{16}$): mostly from evergreen trees (perenes), ~10% SOA yields



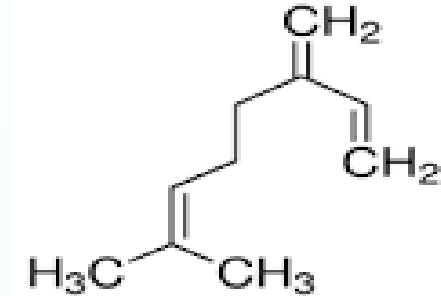
α -pinene



β -pinene

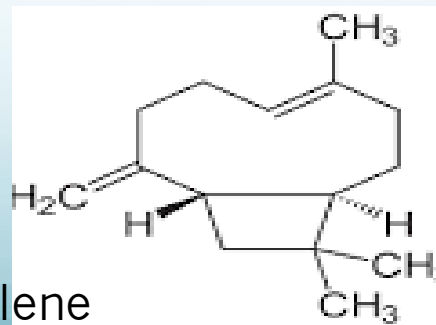


Limonene



Myrcene

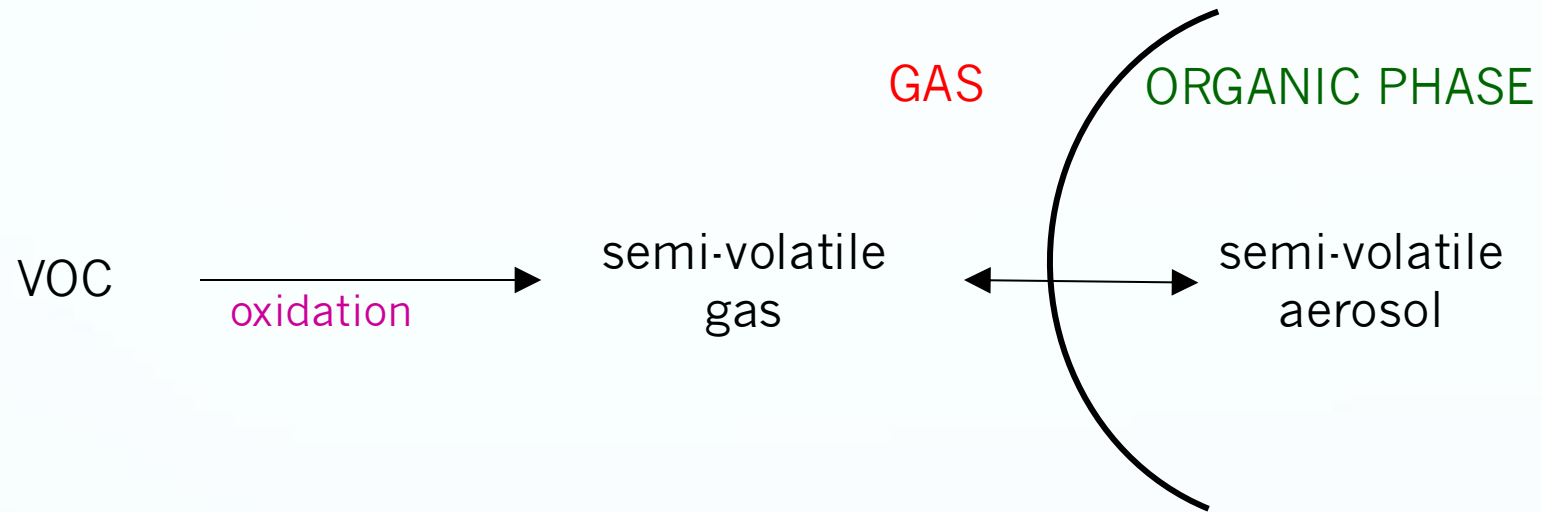
Sesquiterpenes ($C_{15}H_{24}$): little understood, highly reactive, high SOA yields



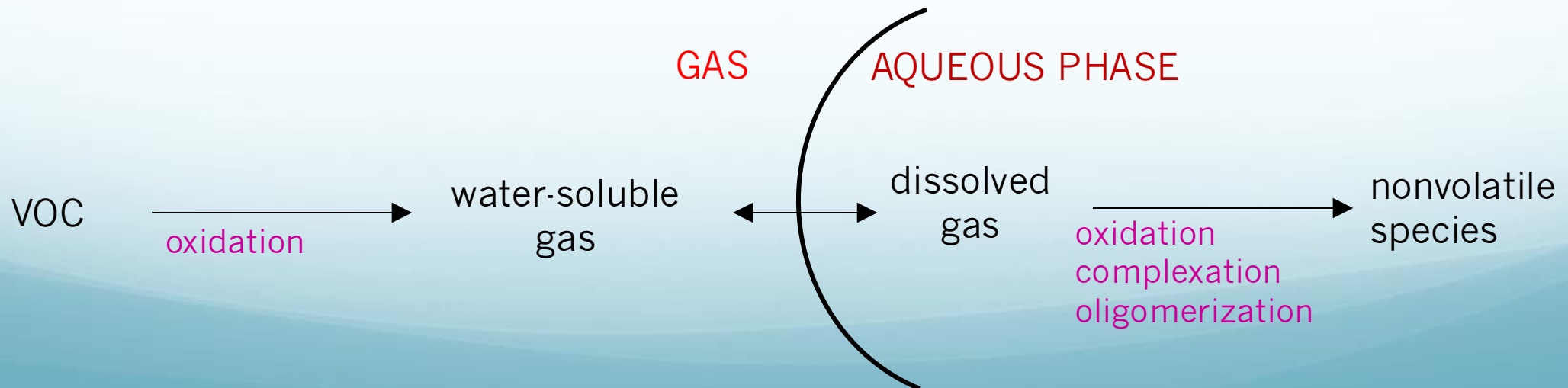
Caryophyllene

Two models for formation of secondary organic aerosol

Classical model for reversible uptake by pre-existing organic aerosol



Alternative model for irreversible uptake by aqueous aerosol



The diagram illustrates the atmospheric chemistry of isoprene. On the left, a tree is shown with three green arrows pointing upwards, representing the emission of isoprene. Above the tree, the text "isoprene (2-methyl 1,3-butadiene):" is written in green, followed by the chemical structure of isoprene. A curved arrow labeled "OH" with a sun icon indicates the reaction of isoprene with hydroxyl radicals. This reaction leads to a dashed orange circle containing two chemical structures: glyoxal and an epoxide (IEPOX). Below this circle is the text "Gas-phase aerosol precursors". A curved arrow points from this circle to a blue sphere representing an "Aqueous aerosol". Inside the sphere are the chemical structures of glyoxal, IEPOX, and the ions SO_4^{2-} , NH_4^+ , NO_3^- , and H^+ .

Aqueous-phase formation of organic aerosol from glyoxal

GAS

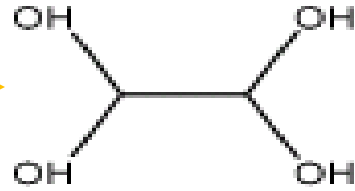
AQUEOUS PHASE

glyoxal



$$K_H^* \sim 10^5 \text{ M atm}^{-1}$$

tetrol



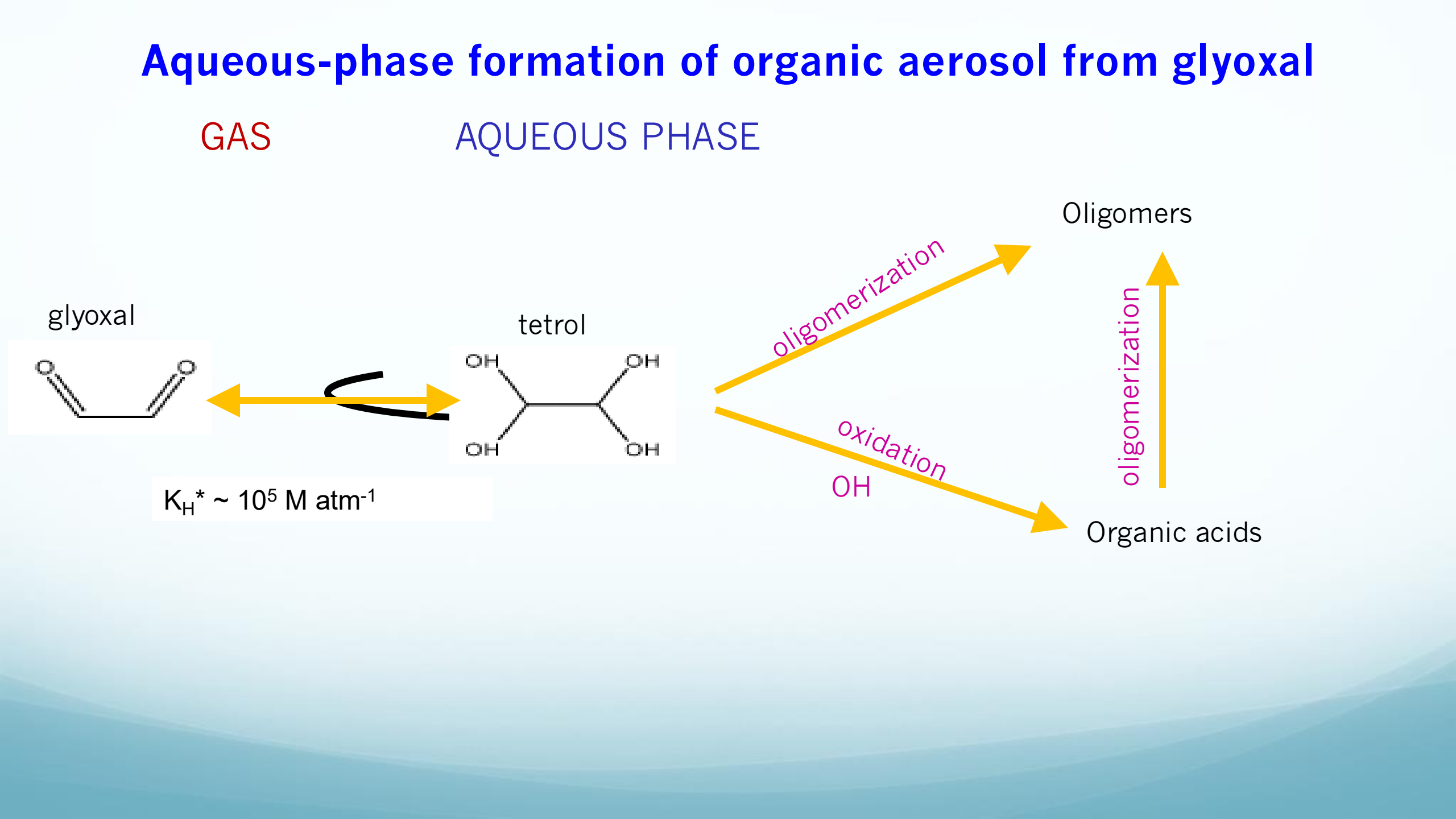
Oligomers

oligomerization

oxidation
OH

Organic acids

oligomerization





- aerossóis com dimensões bastante reduzidas ($1 \mu\text{m}$)
- longos períodos na atmosfera.
- compostos sulfurosos.
- núcleos de condensação de partículas de gelo na alta troposfera, interferindo desta outra forma no balanço radiativo terrestre.

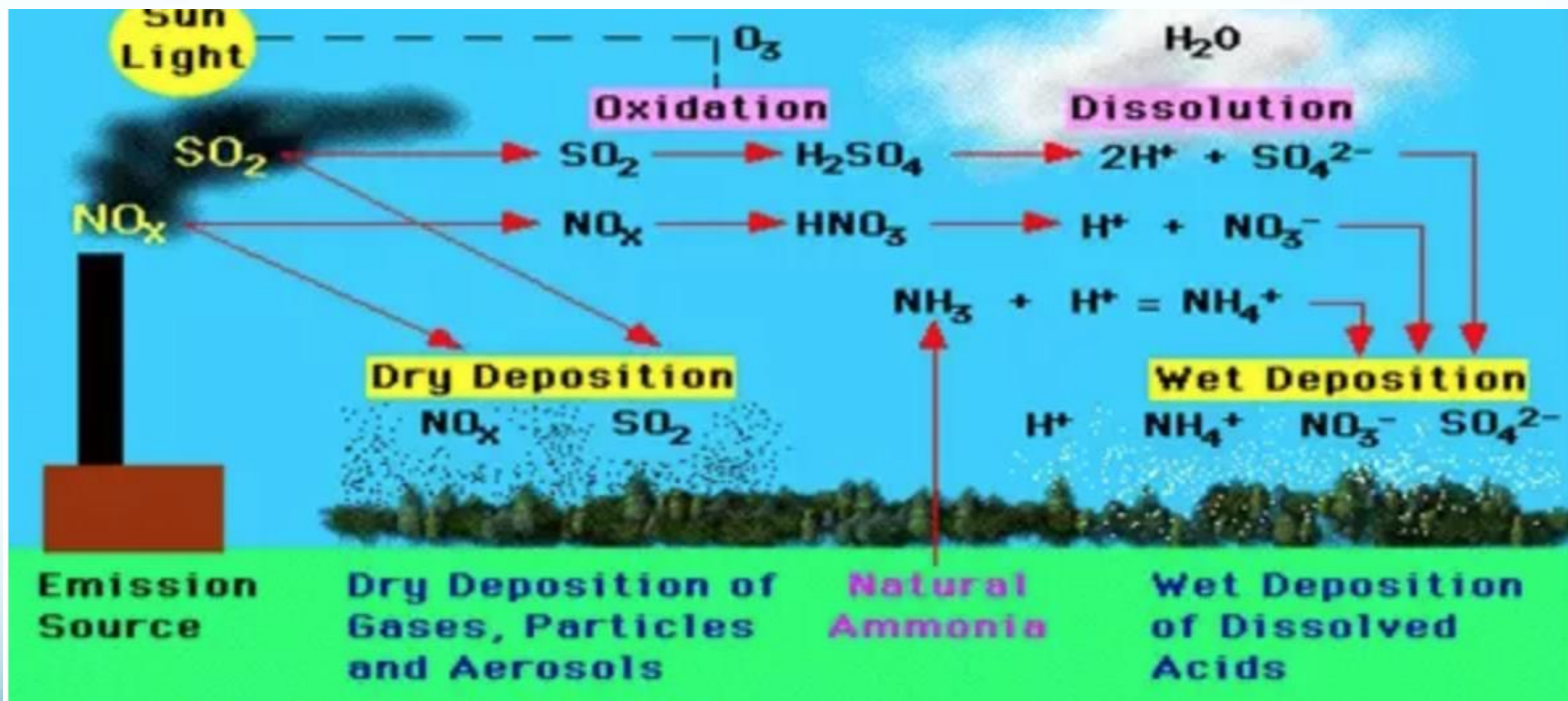
Aerossóis secundários

Aerossóis de sulfato (SO_4^{2-})

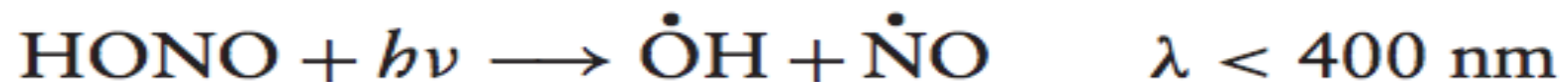
- oxidação a SO_2 e posteriormente a ácido sulfúrico de H_2S emitido pelos processos biológicos, por vulcões ou pela atividade antropogênica.

Aerossóis de nitrato (NO_3^-)

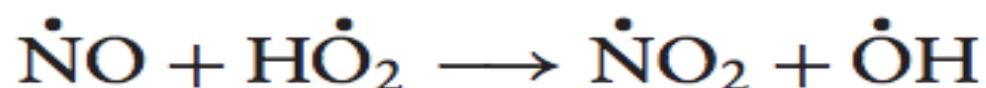
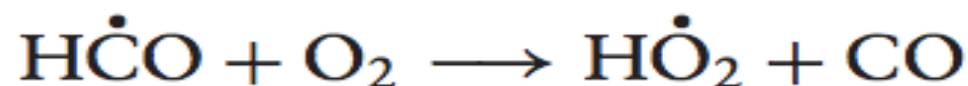
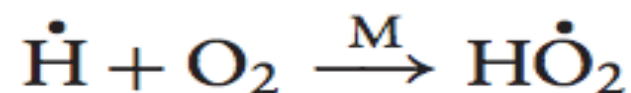
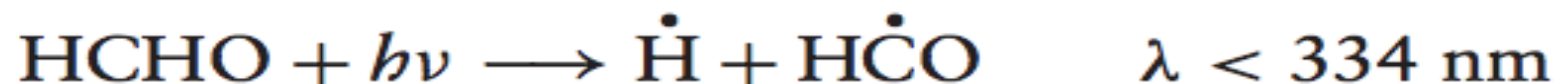
- oxidação e neutralização de compostos de NO_x e NH_3 naturais ou antropogênicos.



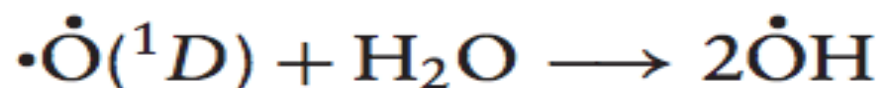
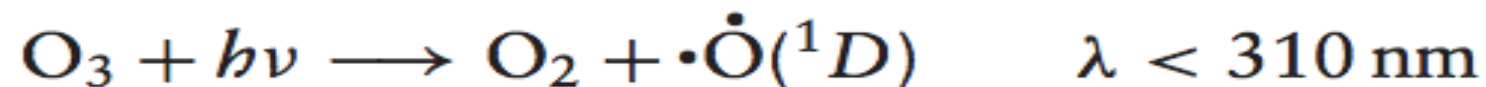
Early morning source



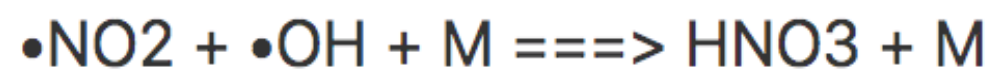
Midmorning source



Afternoon source

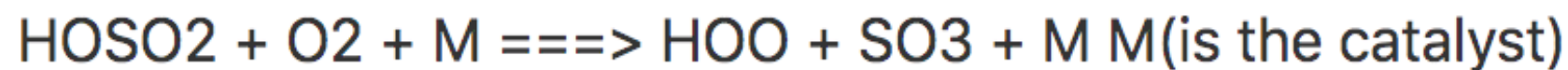


• $\text{NO} + \text{O}_3 \implies \bullet\text{NO}_2 + \text{O}_2$ the produced radical of nitrogen dioxide reacts further with hydroxyl radical, in the presence of a catalyst, to form HNO_3 which is nitric acid. The formed HNO_3 dissolve in water to yield harmful acidic rainfall.

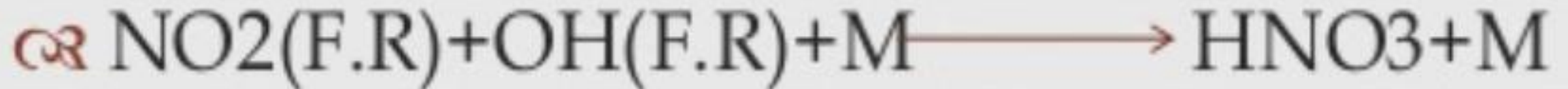
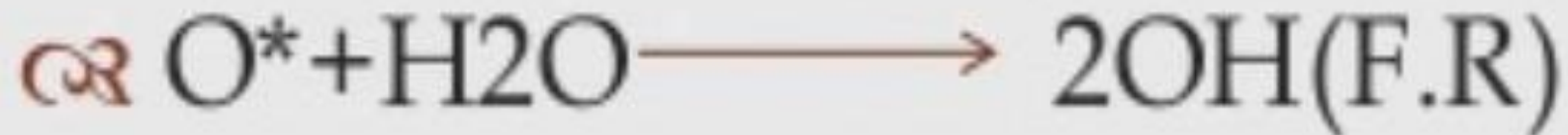
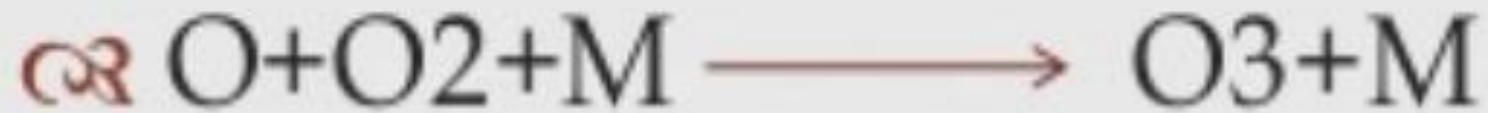
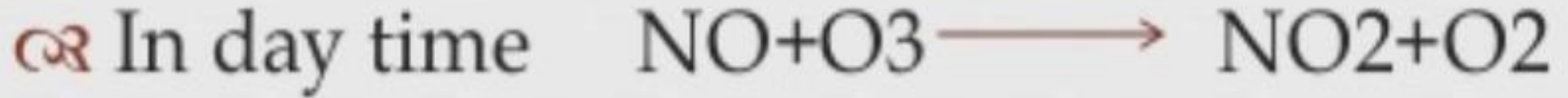


Also, the released $\text{SO}_2(\text{g})$ react with the radical of hydroxyl, in the presence of catalyst, to form: $\text{SO}_2 + \text{OH} + \text{M} \implies \text{HOSO}_2 + \text{M}$, the yielded HOSO_2 react further, according to the following reaction:

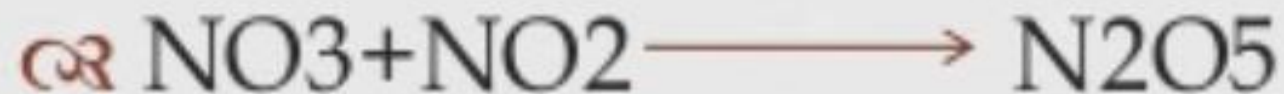
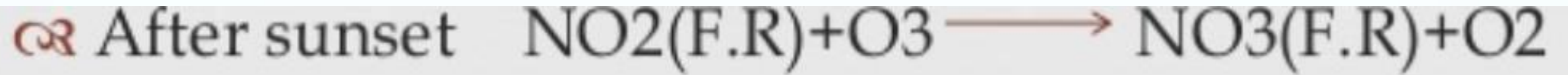
$\text{HOSO}_2 + \text{O}_2 + \text{M} \implies \text{HOO} + \text{SO}_3 + \text{M}$, then the sulphur trioxide, forms sulphuric acid as follows from water:



Formação de ácido nítrico na atmosfera



Formação de ácido nítrico na atmosfera



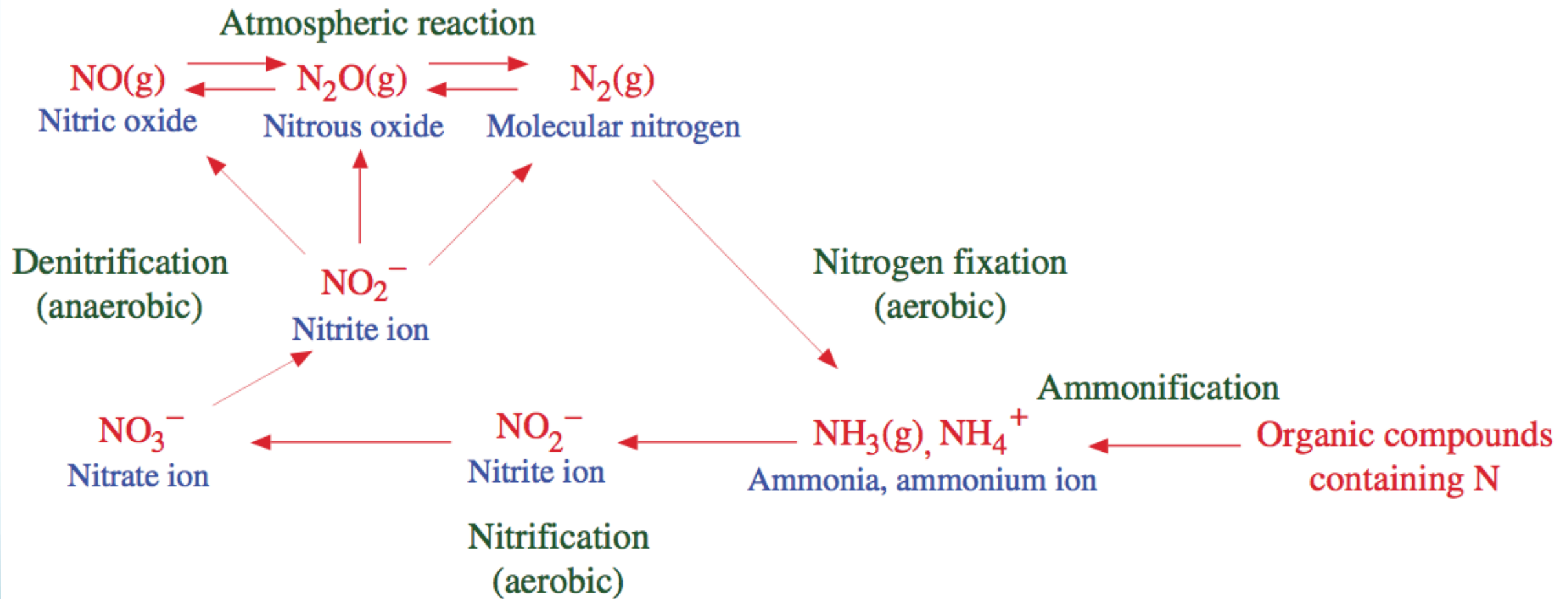
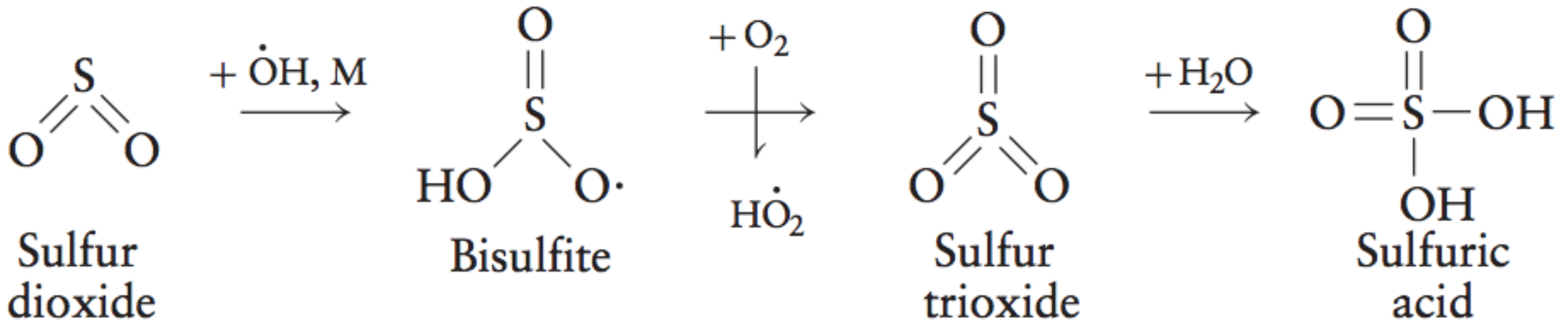
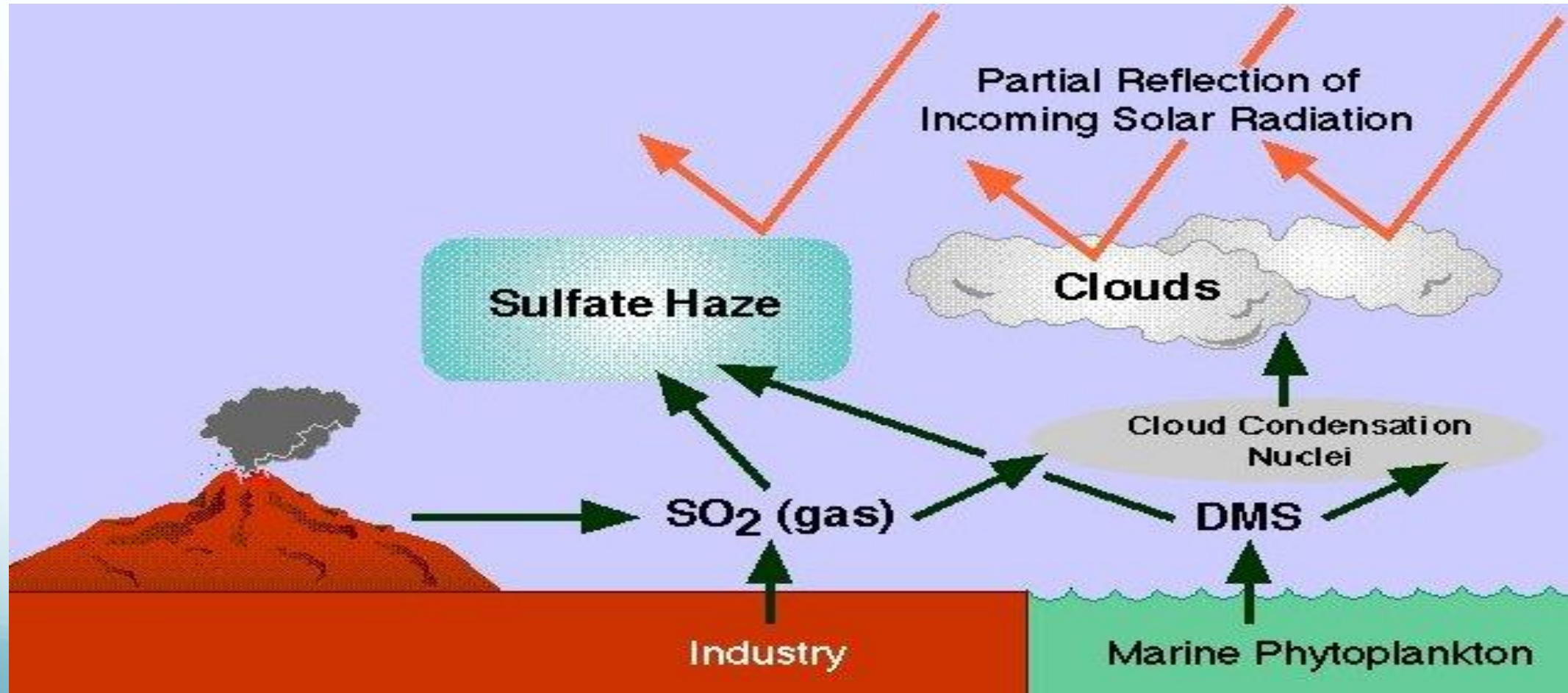


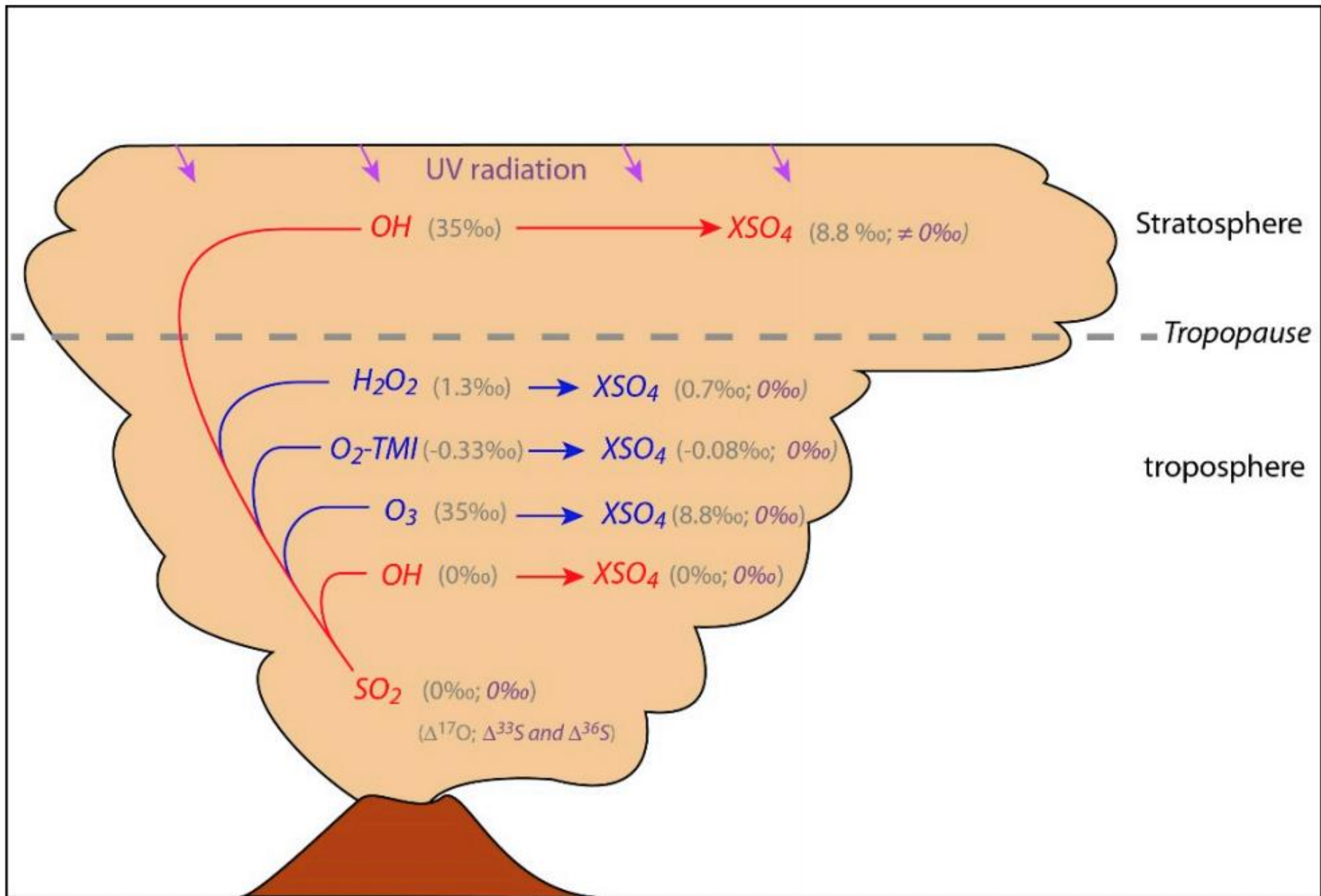
Figure 2.10. Diagram showing bacterial and chemical processes affecting the nitrogen cycle.

Formação ácido sulfúrico (chuva ácida)



Sulfatos antropogênicos produzem forçamento radiativo negativo, levando a um resfriamento global. Estimativas recentes de forçamento médio global por sulfatos está no intervalo de -0.3 a -1.3 W m^{-2} . Maiores incertezas: distribuição temporal e espacial dos sulfatos e suas propriedades ópticas.





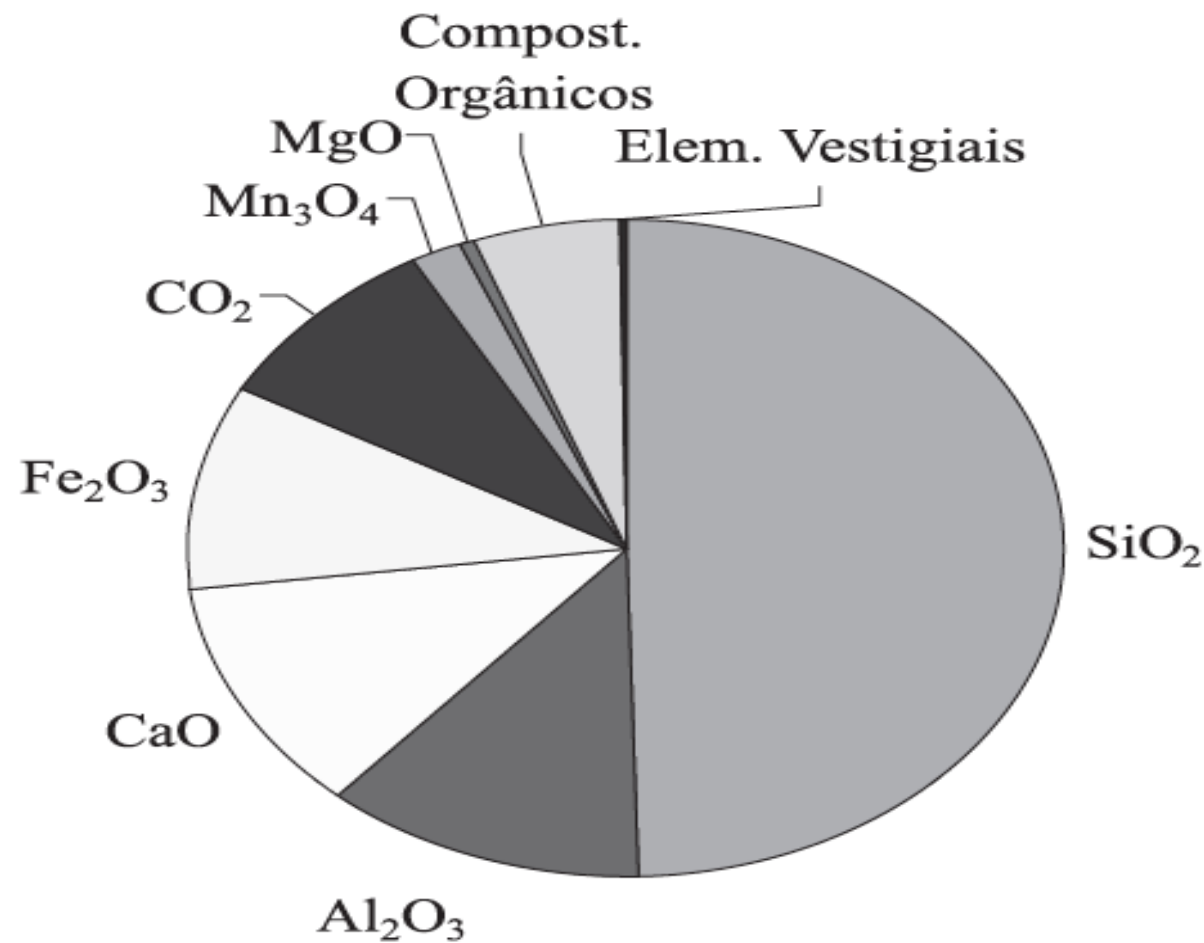
Efeito “resfriador” dos aerossóis

Andreae et al. (2005)

- papel importante nas estimativas atuais das mudanças climáticas globais.
- reflexão e espalhamento da radiação solar de volta para o espaço, resfriando-a. Ex: partículas de sulfato (cor clara)
- Partículas de fuligem: absorvedores de radiação, aquecem a troposfera. Ex. Black Carbon (BC)

Poeiras do solo

- Principais fontes: África, na Península Arábica e nos desertos asiáticos de Gobi, Taklamakan, deserto australiano.
- Revolvimento dos solos nas atividades agrícolas - 50% das emissões globais,
- Poeiras do Saara: penetração no Atlântico até longas distâncias.



Balanço mássico com a composição química dos aerossóis colhidos em Fiume (Croácia) durante um evento de poeiras transportadas desde o Sahara

Partículas de sal marinho

- rebentamento de bolhas de ar nas cristas espumosas das ondas.
- tamanhos variáveis
- dispersão da luz e aumento dos núcleos de condensação de nuvens (NCN)

Partículas de atividades tecnológicas e industriais

- Transportes, combustão de carvão, processamento de cimentos, metalurgia e incineração de resíduos.
- Impacto ambiental mais notável - objeto de regulamentações cada vez mais restritivas.

Partículas biogênicas

componentes vegetais (ceras cuticulares, fragmentos foliares, etc.), matéria húmica e partículas microbianas (bactérias, fungos, vírus, algas e esporos). Poucas informações de representatividade –

10-30% da distribuição numérica das partículas.

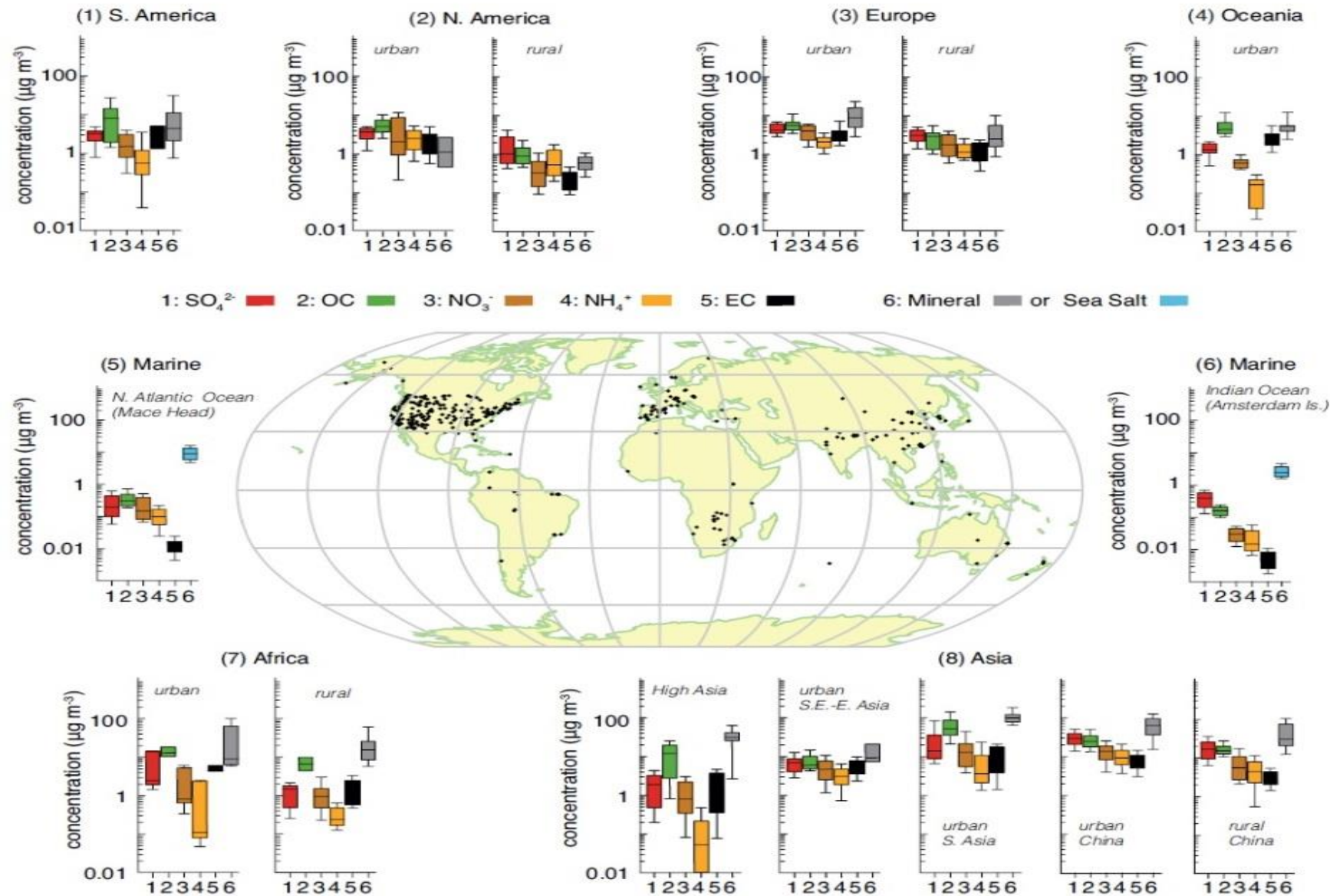
absorção da luz, particularmente na região UV-B, é potenciada com a presença de substâncias húmicas nos aerossóis.

atuam como núcleos de condensação de nuvens ou de gelo.

Alergias a pólenes e patogenicidade de alguns microrganismos

- Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (IPCC), 1990 – papel primário dos aerossóis (efeito na radiação) IPCC mais recentes papel secundário (Núcleo de formação de nuvens)
- relação entre concentrações de gases de efeito estufa e de aerossóis
- Política de redução de emissões
- curto tempo de vida
- atenuação da radiação solar que chega até a superfície - entre 0 e 4,5 watts por metro quadrado.

Aerossóis pelo mundo



Predominância da fração orgânica na América do Sul

Atenuação da radiação atmosférica pelas partículas

- Espalhamento é um processo que conserva a energia total, mas a direção que a radiação é propagada pode ser alterada
- Absorção é um processo que remove energia do campo eletromagnético e converte em outra forma
- Extinção ou atenuação é a soma de espalhamento e absorção

Single scattering albedo (albedo de espalhamento simples), w , is a measure of the fraction of aerosol extinction caused by scattering:

$$\omega = b_{\text{espalhamento}} / (b_{\text{espalhamento}} + b_{\text{absorção}})$$
$$\omega = b_{\text{espalhamento}} / (b_{\text{extinção}})$$

Aerosol optical depth (AOD), τ is a measure of the extinction caused by scattering and absorption:

$$I/I_0 = \exp(-b_{\text{ext}} x)$$
$$\tau = b_{\text{ext}} x$$

$$x = 2\pi r / \lambda$$

$$\tau = \int b_{\text{ext}}(z) dz \text{ (unitless)}$$

Quanto maior o valor de AOD maior a concentração de aerossóis

Angstrom exponent, a , is a measure of the size number distribution. the name of the exponent in the formula that describes the dependency of the aerosol optical thickness on wavelength. Fresh urban aerosols $a \sim 1.9$ for dust storms $a \sim 1.2$.

$$\frac{\tau_{\lambda}}{\tau_{\lambda_0}} = \left(\frac{\lambda}{\lambda_0} \right)^{-\alpha}$$

$$\alpha = - \frac{\ln \frac{\tau_{\lambda_1}}{\tau_{\lambda_2}}}{\ln \frac{\lambda_1}{\lambda_2}}$$

Optical Properties of Small Particles

$$m = n + ik$$

m = complex index of refraction

n = scattering (real part)

k = absorption (imaginary part)

The real part of the index of refraction is only a weak function of wavelength, while the imaginary part, ik , depends strongly on wavelength.

Refractive indices of aerosol particles at $\lambda = 589 \text{ nm}$

$m = n + ik$		
Substance	n	k
Water	1.333	10^{-8}
Ice	1.309	10^{-8}
NaCl	1.544	0
H ₂ SO ₄	1.426	0
NH ₄ HSO ₄	1.473	0
(NH ₄) ₂ SO ₄	1.521	0
SiO ₂	1.55	0
Black Carbon	1.96	0.66
Mineral dust	~1.53	~0.006

m = complex index of refraction
 n = scattering (real part)
 k = absorption (imaginary part)



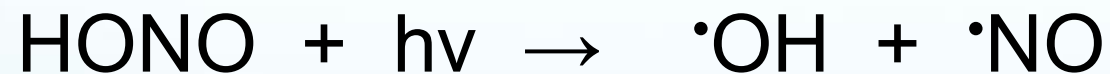
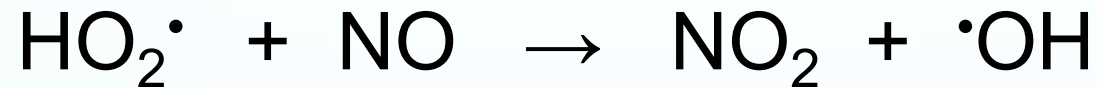
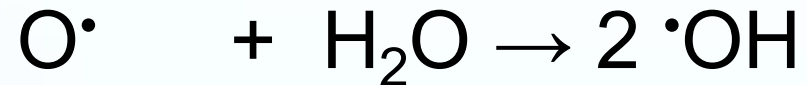
	HN	HS	Global	EI	ES
Matéria Orgânica (0-2 µm)					
Combustão de biomassa	28,3	26,0	54,3	45	80
Combustíveis fósseis	28,4	0,4	28,8	10	30
Carbono Negro (0-2 µm)					
Combustão de biomassa	2,9	2,7	5,6	5	9
Combustíveis fósseis	6,5	0,1	6,6	6	8
Aviação	0,005	0,0004	0,0006		
Poeiras industriais, etc.			100		
Partículas biogénicas (0-2 µm)			50	10	100
Sal marinho					
d _p <1 µm	23	31	24	18	100
d _p =1-16 µm	1420	1870	3290	1000	6000
Total	1440	1900	3340	1000	6000
Poeiras minerais/Solo					
d _p <1 µm	90	17	110		
d _p =1-2 µm	240	50	290		
d _p =2-20 µm	1470	282	1750		
Total	1800	349	2150	1000	3000

Estimativas das emissões primárias de partículas no ano 2000, em Tg ano⁻¹ (HN-Hemisfério Norte, HS-Hemisfério Sul, EI Estimativa Inferior, ES-Estimativa Superior, dp-Diâmetro das partículas)

	HN	HS	Global	LI	LS
Sulfato (como NH_4HSO_4)					
Antropogénico	116,0	16,5	132,6		
Biogénico	20,6	30,0	49,4		
Vulcânico	21,6	13,0	35,5		
Nitrato (como NO_3^-)					
Antropogénico	11,8	0,9	12,7		
Natural	2,4	0,4	2,9		
Compostos orgânicos					
COV antropogénicos			0,6		
COV biogénicos	8,2	7,4	15,6	8	40

Estimativas da produção de aerossol secundário, em Tg ano⁻¹ (HN-Hemisfério Norte, HS-Hemisfério Sul, EI-Estimativa Inferior, ES-Estimativa Superior)

Formação de $\cdot\text{OH}$



Reage com gases poluentes na atmosfera e torna estes gases mais solúveis em água (aumenta a polaridade destes gases)

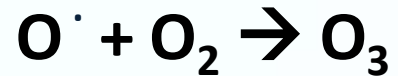
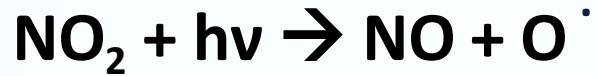
Formação de $\text{HO}_2^\bullet$

- $\square \text{HCHO} + \text{O}_2 + h\nu \rightarrow \text{HO}_2^\bullet + \text{CO}$
- $\square \text{CH}_3\text{CHO} + \text{O}_2 + h\nu \rightarrow \text{CH}_3\text{O}_2^\bullet + \text{HO}_2^\bullet + \text{CO}$
- $\square \text{H}_2\text{O}_2 + h\nu \rightarrow 2 \text{HO}_2^\bullet$

Na presença de NO:

- $\square \text{CH}_3\text{O}_2^\bullet + \text{NO} \rightarrow \text{CH}_3\text{O}^\bullet + \bullet\text{NO}_2$
- $\square \text{CH}_3\text{O}^\bullet + \text{O}_2 \rightarrow \text{HO}_2^\bullet + \text{HCHO}$

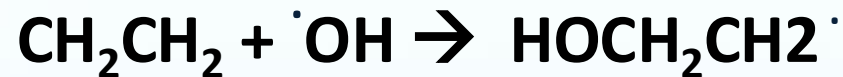
Formação de O₃ Troposférico Poluente

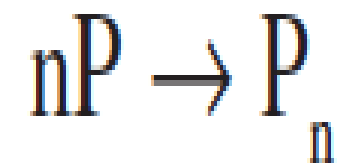
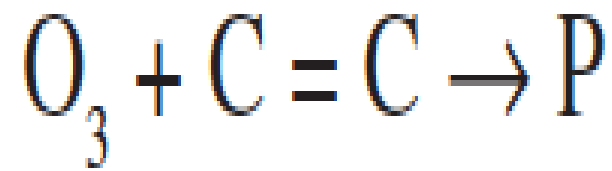
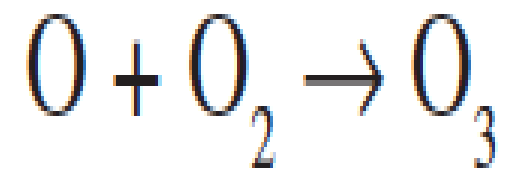
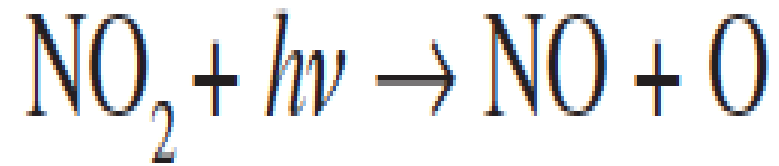


(Radical $\cdot\text{OH}$) + alcano



Radical $\cdot\text{OH}$ + alceno





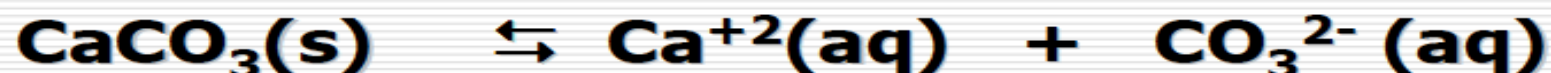
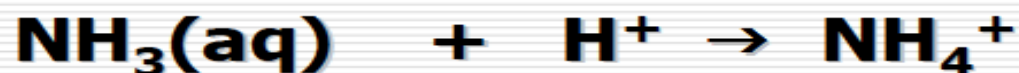
Composição Química das Precipitações

Chuva: água naturalmente acidificada

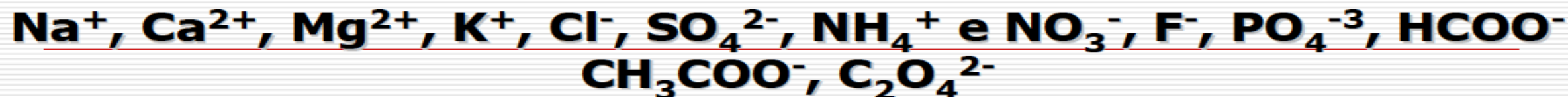


$$\text{pH} = 5.6$$

Balanco natural da acidez da água da chuva:



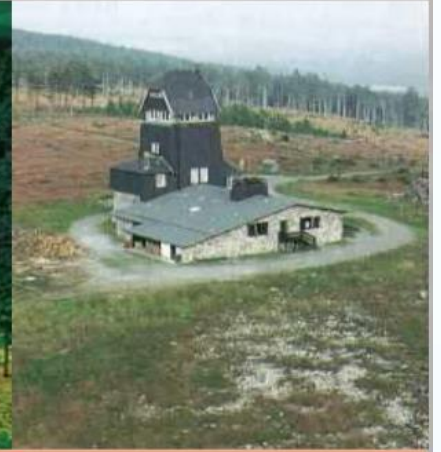
Composição química:



Danos da chuva ácida



C
o
n
s
t
r
u
ç
õ
e
s



Flora



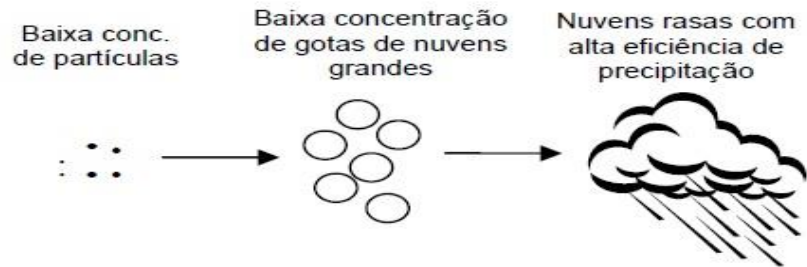
Rios e lagos → pH
entre 6,0 e 8,0

↓
5,0

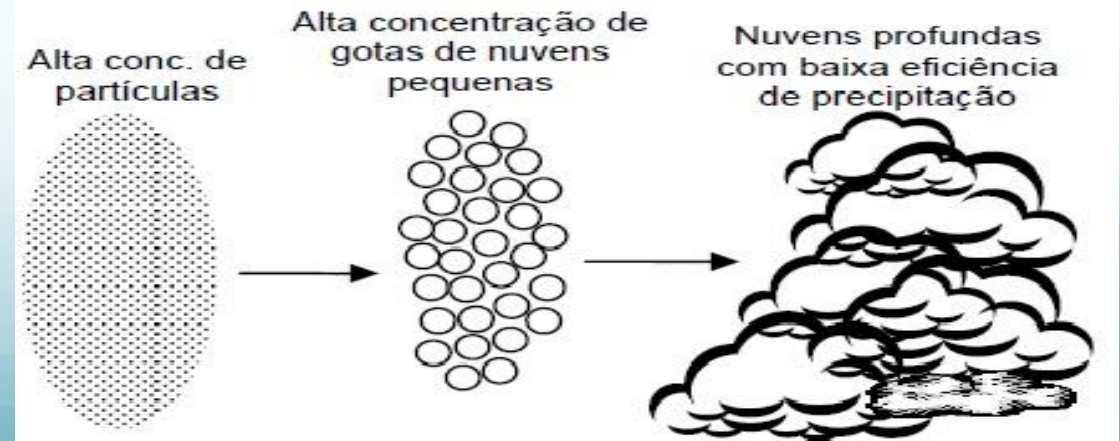
Fauna

- Período chuvoso (ZF2):
 - ❑ 220 partículas/cm³
 - ❑ PM 2,5: $1,3 \pm 0,7 \mu\text{g/cm}^3$

- “Green Ocean”



- Período seco (ZF2):
 - ❑ 2.200 partículas/cm³
 - ❑ PM 2,5: $3,4 \pm 2,0 \mu\text{g/cm}^3$



Efeito dos aerossóis sobre o clima

Direto

Espalhamento
(esfriamento)



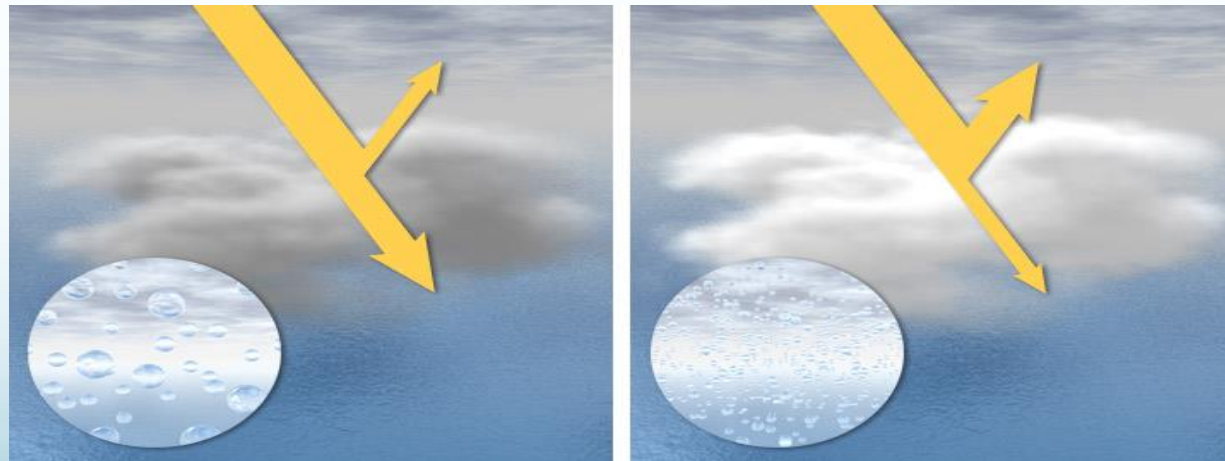
Absorção
(aquecimento)



Nuvens com menos
aerossóis (gotas
maiores):

- Transmissão da radiação solar
- Bloqueio da radiação termal terrestre

Indireto



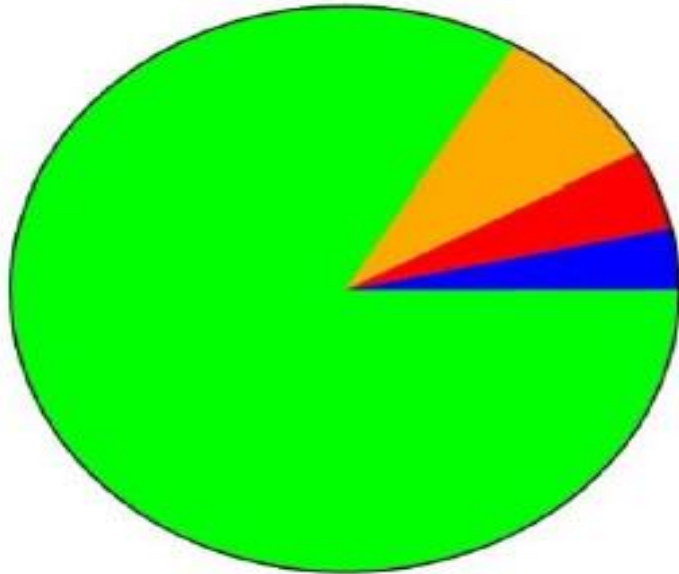
Nuvens com mais
aerossóis (gotas
menores):

- Maior reflexão da radiação solar de volta ao espaço



Resultados Preliminares

Estação seca →



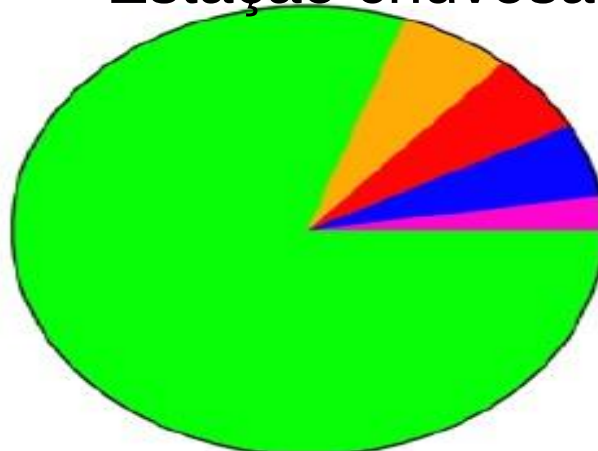
Org=83.44%
NH4=8.49%
SO4=4.53%
NO3=3.46%
Chl=0.05%
Avg. Total Loading: $2.79 \pm 1.83 \text{ (}\mu\text{g/m}^3\text{)}$

→ Dados de Julho a Dezembro de 2013 na ZF2:

- Predominância da fração orgânica

Dados de Fevereiro a Março de 2014 no ATTO, para comparação (o instrumento foi retirado da ZF2 e instalado no ATTO)

Estação chuvosa



Org=80.33%
NH4=6.18%
SO4=5.82%
NO3=5.23%
Chl=2.42%
Avg. Total Loading: $0.43 \pm 0.29 \text{ (}\mu\text{g/m}^3\text{)}$



nativa
news

OBSERVATÓRIO GIGANTE

Conheça a torre do projeto ATTO, usada para ciência atmosférica

O projeto é uma cooperação entre os governos do Brasil e da Alemanha

As torres do ATTO estão sendo instaladas em uma área da floresta amazônica a 150 km de Manaus

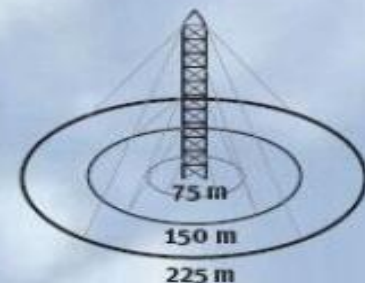


Custo total do projeto:

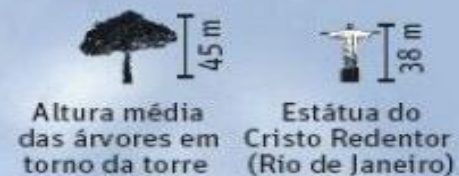
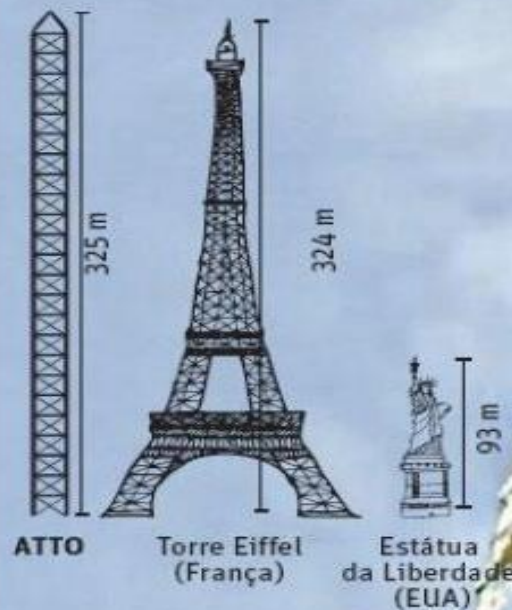
R\$ 23 mi

O objetivo da torre é estudar o clima da floresta tropical praticamente intocada em torno dela. A estrutura fornece informações sobre uma área de aproximadamente 100 quilômetros quadrados em torno da torre

A torre medirá os fluxos amazônicos de calor, água, gás carbônico, além de analisar padrões climáticos, (vento, umidade, formação de nuvens, etc)



Cabos tensionados predem diversos pontos da torre a fundações de concreto



Gigante na floresta

A maior torre de monitoramento da América do Sul analisará as mudanças climáticas na Amazônia em um raio de 300 km

A Atto será dividida em 6 níveis:

cada nível terá 54 m

Um elevador, 18 "andares" e uma plataforma com instrumentos de medição

Cada "andar" terá 3 metros de altura por 3 metros de largura

A torre terá raio de alcance de medição de 300 km

3m

3m

EQUIPAMENTOS

Mais de 40 instrumentos cuidam da coleta de dados sobre o ciclo do carbono e o papel dos gases de efeito estufa na floresta; confira os principais

Medidores de alta precisão da concentração de gases de efeito estufa, como o Picarro: série de instrumentos principais da torre coleta ar nos diferentes níveis e envia as informações para os laboratórios instalados na base; são responsáveis por analisar gases como dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, ozônio e monóxido de carbono

Lidar – medidor do perfil vertical da concentração de aerossóis (partículas muito pequenas suspensas no ar) e de vapor d'água a até 12 km de altura

Aethalômetro – analisa a absorção de radiação pelas partículas de aerossóis

Radar de apontamento vertical – mede a altura da base das nuvens

Piranômetros – capta e analisa a concentração de radiação do sol

Anemômetro 3D – mensura a velocidade, direção e temperatura do vento

Fotômetro – utiliza-se da irradiação do sol para calcular características das partículas na atmosfera e a concentração do vapor d'água

Entre os maiores do mundo

A torre da Amazônia é quase dez vezes mais alta que o Cristo Redentor



Fonte: Inpa

https://istoe.com.br/385614_UMA+TORRE+PARA+ESTUDAR+A+AMAZONIA/

PARTÍCULAS INALÁVEIS



PARTÍCULAS INALÁVEIS/ AEROSSÓIS

Origens e Consequências

- 1 Mistura complexa de líquidos ou sólidos, como poeira, fumaça, fuligem, pólen e partículas do solo
- 2 Tamanho das partículas está diretamente ligado ao seu potencial para causar problemas de saúde



PARTÍCULAS INALÁVEIS/ AEROSSÓIS

Origens e Consequências

3 Principais fontes de emissões antropogênicas de aerossóis

- Veículos a diesel (30%)
- Carros a gasolina (10%)
- Indústrias (10%)

4 Instalam-se nos pulmões, diminuindo a capacidade respiratória



Motivation

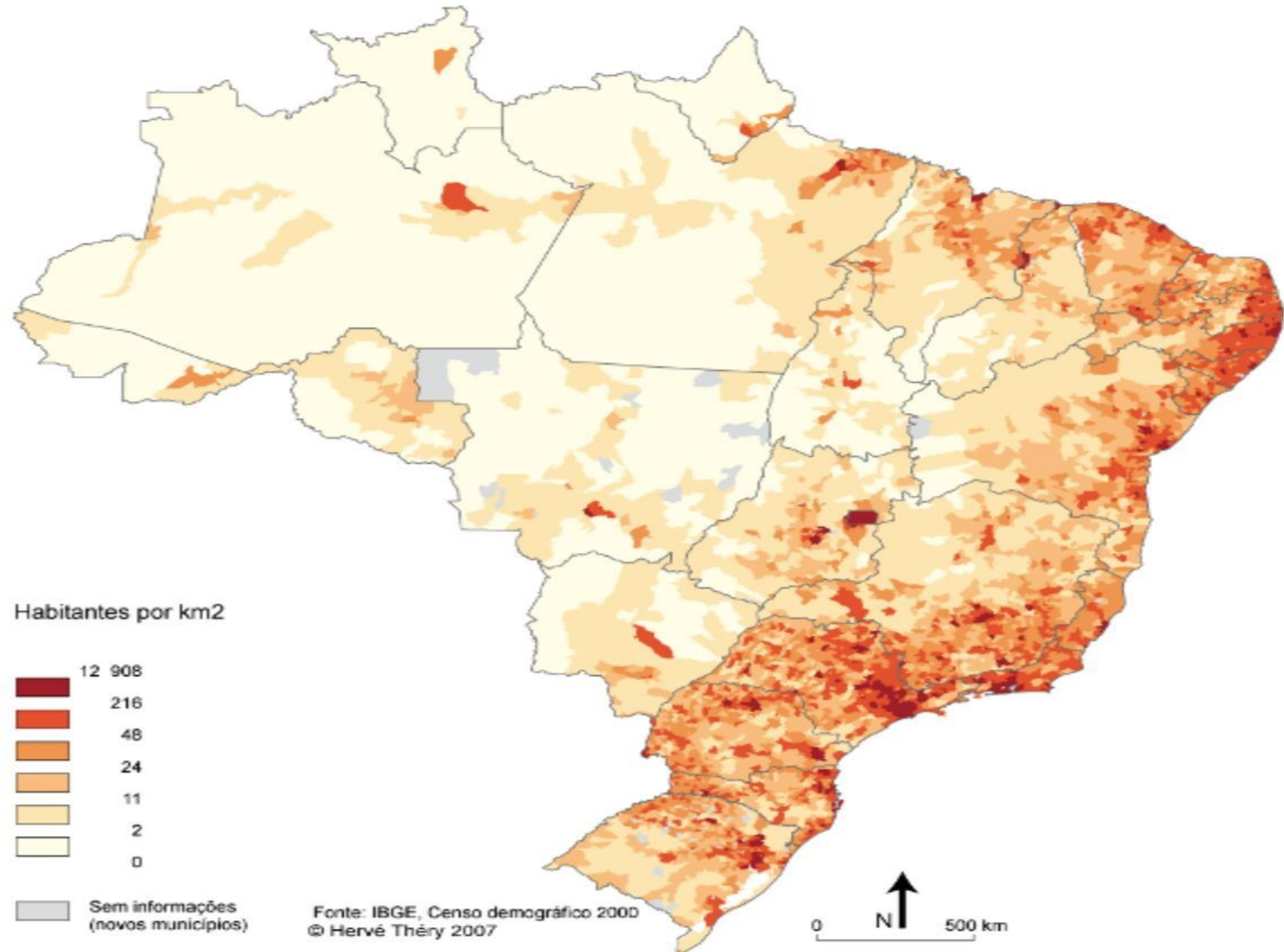
- Atmospheric aerosol is the most obvious problems of air pollution, and also play an important role in weather and climate change.

Brasil

- territorial extension of 8,514,876 km² - fifth largest country, only smaller than the territories of Russia, Canada, China and United States
- Population Brazil → 212 559 426 hab inhabitants
- Megacities → São Paulo → 21 571 281 hab inhabitants
- 13 131 590 hab
- Rio de Janeiro

Population Density of Brazil

The population density map below shows how many people per area.





Lightning in a thunderstorm in the city of São Paulo



Rio de Janeiro City

Model name		AOGCM				ESM				
		Atmos	Land Surface	Ocean	Sea-Ice	FC	Aerosol	Atmos Chem	Land Carbon	Ocean BGC
ACCESS1.0, ACCESS1.3	Australia									
BCC-CSM1.1, BCC-CSM1.1(m)	China									
BNU-ESM	China									
CanCM4	Canada									
CanESM2										
CCSM4	USA									
CESM1 (BGC)										
CESM1 (WACCM)		HT								
CESM1 (FASTCHEM)										
CESM1 (CAM5)	USA									
CESM1 (CAM5.1-FV2)										
CMCC-CM, CMCC-CMS	Italy	HT								
CMCC-CESM		HT								
CNRM-CM5	France									
CSIRO-Mk3.6.0	Australia									
EC-EARTH	Europe									
FGOALS-g2	China									
FGOALS-s2										
FIO-ESM v1.0	China									
GFDL-ESM2M, GFDL-ESM2G	USA									
GFDL-CM2.1										
GFDL-CM3		HT								
GISS-E2-R, GISS-E2-H	USA	HT					p2,p3*	p2, p3*		
GISS-E2-R-CC, GISS-E2-H-CC		HT					p2,p3*	p2, p3*		
HadGEM2-ES	UK	HT								
HadGEM2-CC										
HadCM3	Korea									
HadGEM2-AO										
INM-CM4	Russia									
IPSL-CM5A-LR / -CM5A-MR / -CM5B-LR	France	HT								
MIROC4h, MIROC5	Japan	HT								
MIROC-ESM		HT								
MIROC-ESM-CHEM		HT								
MPI-ESM-LR / -ESM-MR / -ESM-P	Germany	HT								
MRI-ESM1	Japan	HT								
MRI-CGCM3		HT								
NCEP-CFSv2	USA									
NorESM1-M	Norway									
NorESM1-ME										

‘semi-interactive’

‘fully-interactive’

39 models

30 aerosols

11 chemical

IPCC 2013

Example



Clean Day:

Visibility ~ ? km

PNC ~ 890 particles cm^{-3} BC ~

0.2 $\mu\text{g m}^{-3}$



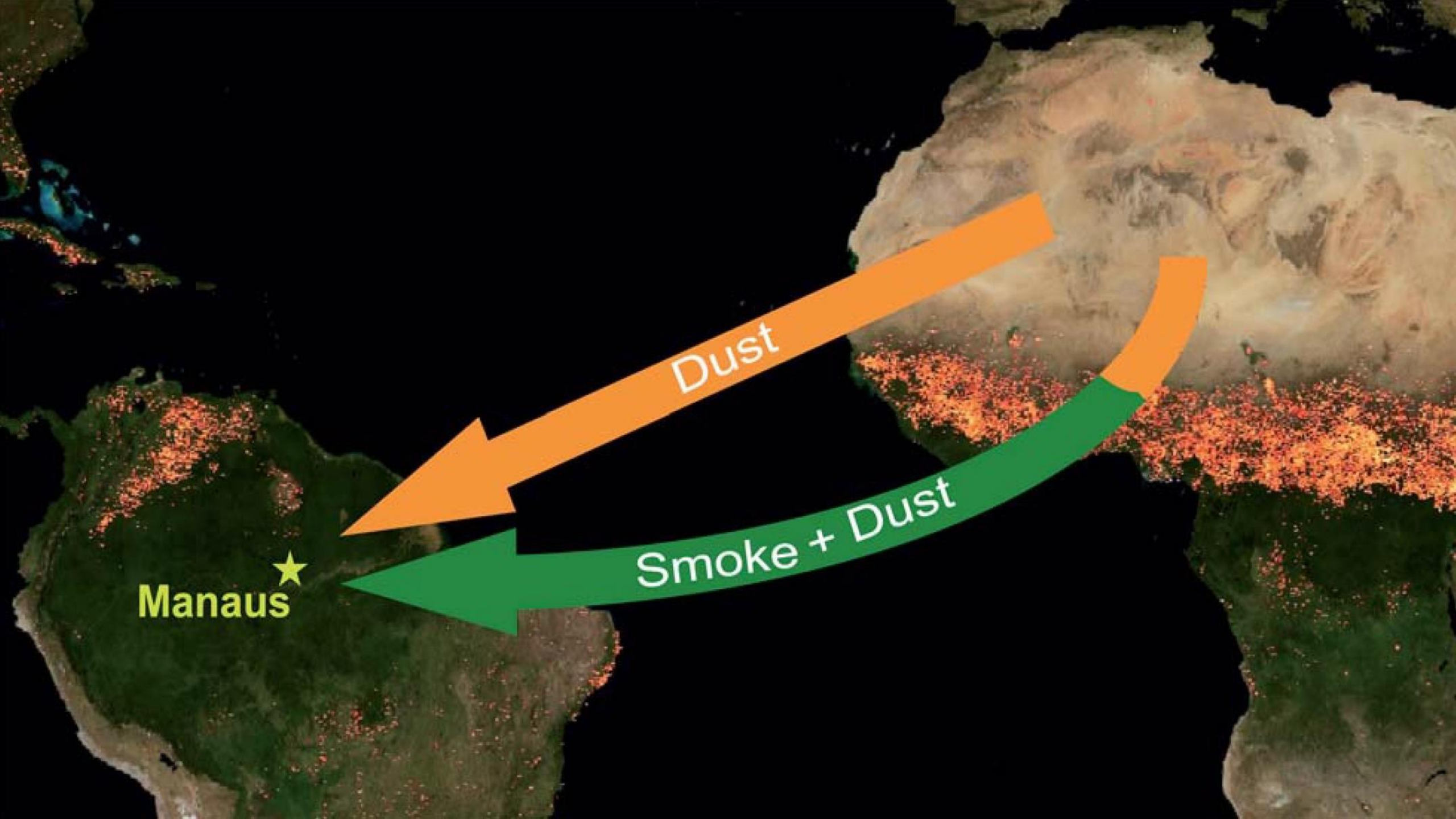
Polluted Day:

Visibility ~ 800 m

PNC ~ 8045 particles cm^{-3}

BC ~ 3,6 $\mu\text{g m}^{-3}$

Source: Artaxo, 2002.



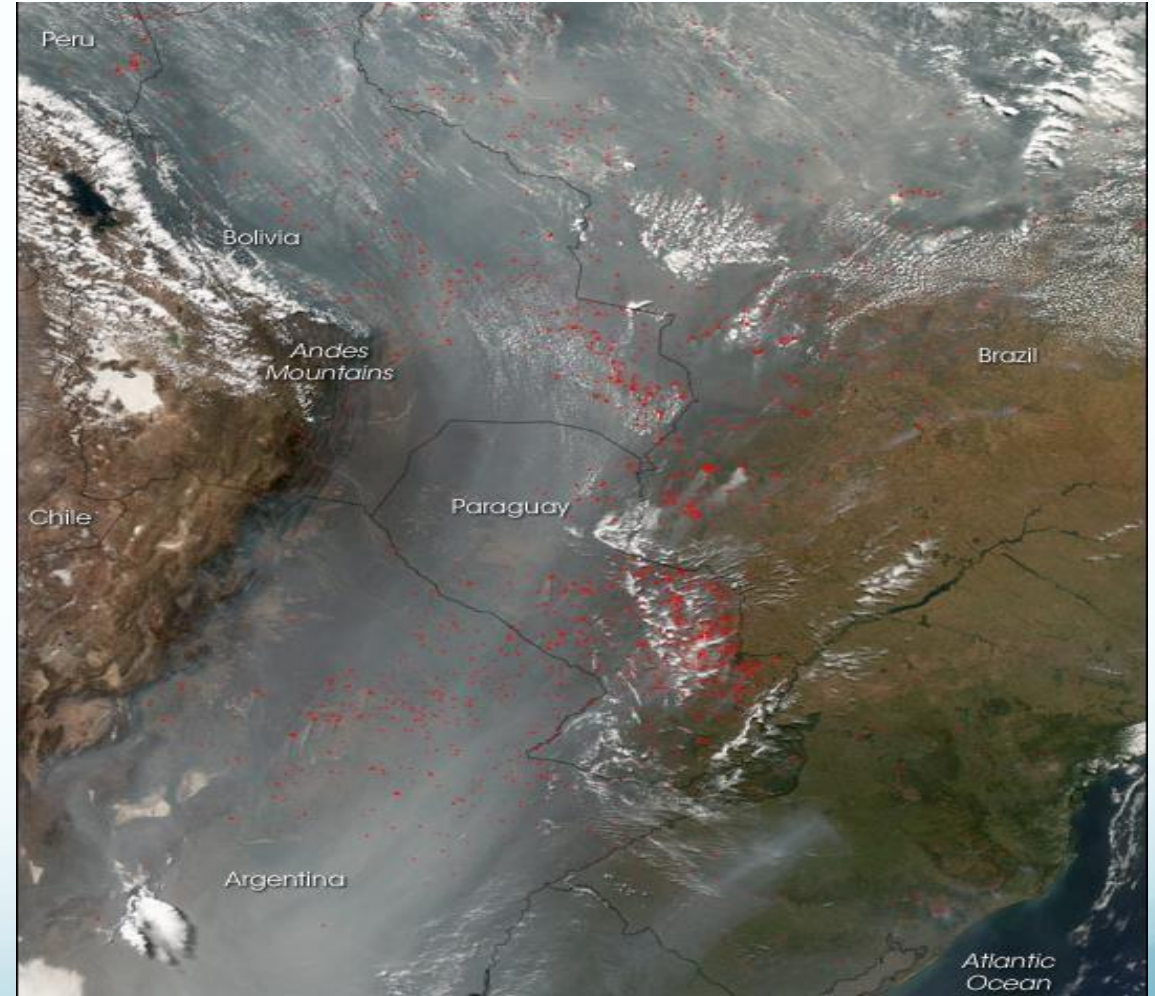
Dust

Smoke + Dust

Manaus★

Motivation

- The pollution (smoke + aerosols) resulting from the biomass burning in Brazil is "exported" to other countries of South America.
 - The circulation patterns (trade winds) carries these pollutants to west (Colombia and Peru) and to south (Bolivia, Paraguay and Argentina)



CASE STUDIES

[2]

Objective: to assess the performance of the two of the state-of-the-art global aerosol-chemistry models over [1] Brasil and [2] globally

- i. Modular Aerosol Model (MAM) from NCAR
- ii. Hamburg Aerosol Model (HAM) from MPI
- iii. Tropospheric and stratospheric Chemistry module in CAM-chem

Case study [1]

Simulations

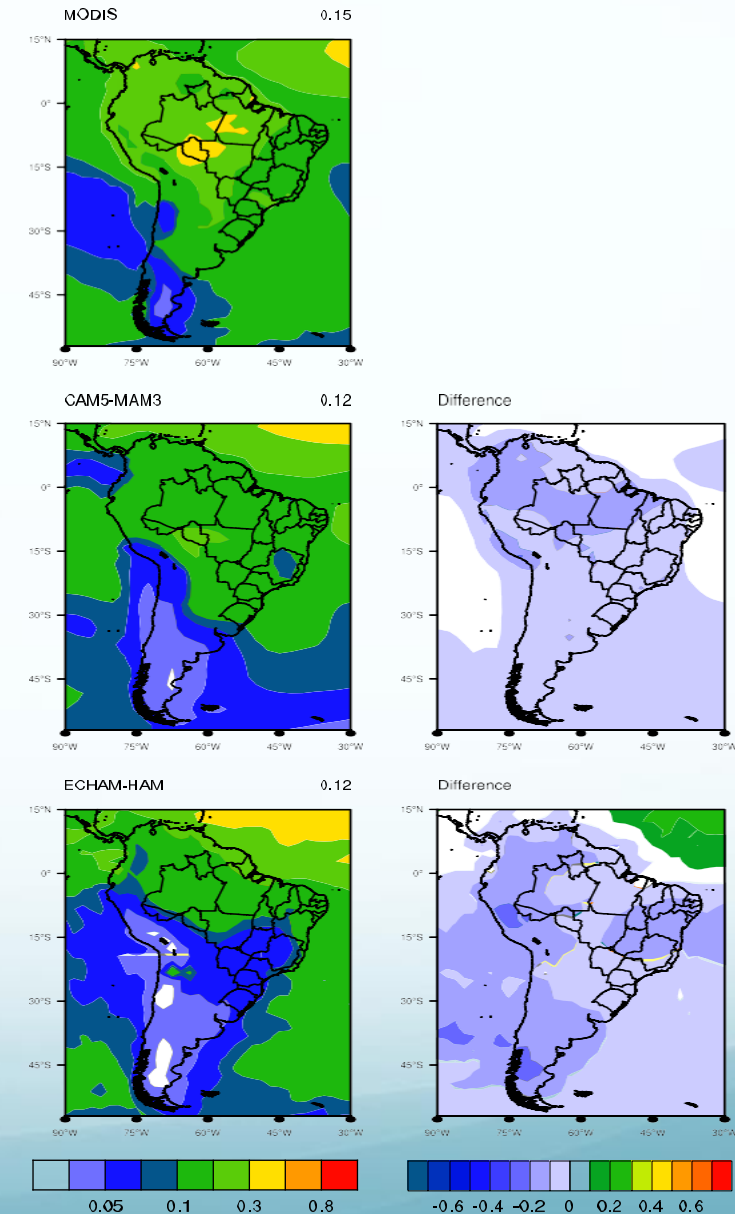
- Models: **ECHAM-HAM** & **CAM5-MAM3**
- Period of Simulation: 2001-2006
- Emission Inventory: **AEROCOM II –2000**
- Resolutions:
 - Horizontal: 1.9x2.5° (CAM5) & 1.8x2.5° (ECHAM6)
 - Vertical: 30 (CAM5) & 31 (ECHAM6)
- Sea Surface Temperature and Sea Ice Concentration: AMIP II (2001-2006)

Observations

AERONET - ground station measurements **MODIS** - satellite observations

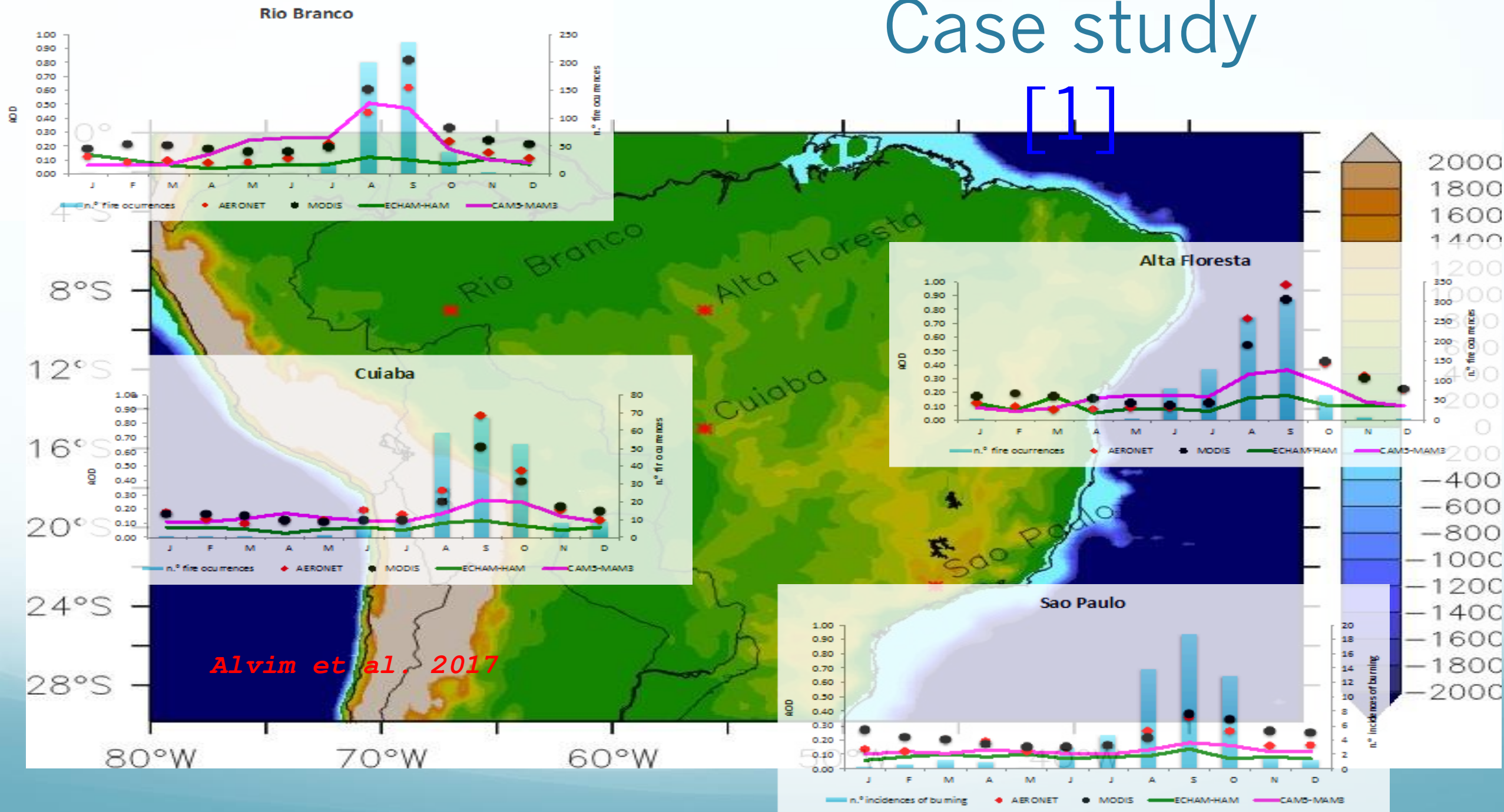
Alvim et al. 2017

Aerosol optical depth 550 nm - 2001-2006



Case study

[1]



Case study [1]

Main results:

- *show an underestimation of AOD values and an absence of seasonality during the dry season – confirmed by spatial AOD maps in comparison with satellite and terrestrial measurements products.*
- *CAM5-MAM3 model simulates the best AOD values – due to the vertical profile of emissions and particle numbers separated by accumulation and Aitken modes, in addition to the surface emission of aerosols and their precursors.*
- *ECHAM-HAM considers the surface emissions and vertical distribution emission only of black carbon from aircraft and BC, OC, and SO₂ from wildfire. While for all other emissions, such as the energy sector, domestic or industry, only surface emissions are considered.*

Coefficient of determination (R²) for AOD observed data from AERONET station and simulations with ECHAM-HAM and CAM5-MAM3 model.

	AOD AERONET x Models	
	ECHAM-HAM	CAM5-MAM3
São Paulo	0.41	0.72
Cuiabá	0.65	0.75
Rio Branco	0.15	0.72
Alta Floresta	0.47	0.74

Case study [2]

Evaluation of CAM-chem simulations with CO and aerosol satellite data and investigation of Fire Radiative Power with CO and AOD observations

An initial study with the CAM-chem model with **F_2000_MOZMAM_CN** and **F_2000_STRATMAM3_CN compset** was conducted.

We evaluated the carbon monoxide (CO) and aerosol optical depth (AOD) from both the simulations.

Observed Data Satellite: CO – MOPITT, FRP and AOD – MODIS Period of

Simulation: 2010 - 2014

Spatial Resolution: 1.9x2.5° horizontal grid (96x144 lat/lon grid) Vertical Resolution: 30 vertical levels from the surface to 10 hPa

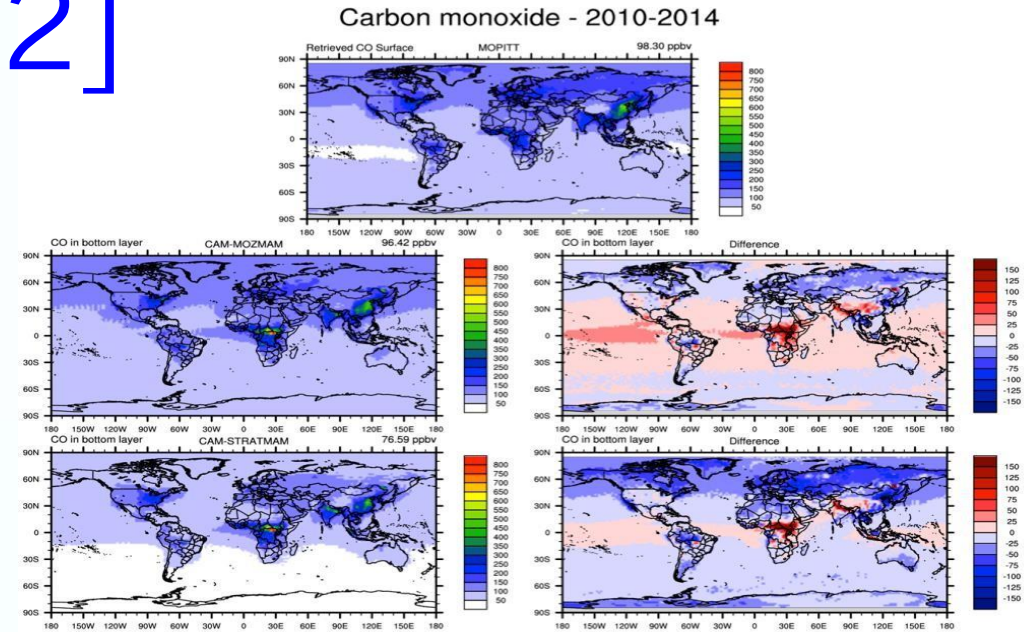
Debora et al. submitted

Case study [2]

Main results

for CO:

inclusion of stratospheric chemistry
→ decrease +ve
bias

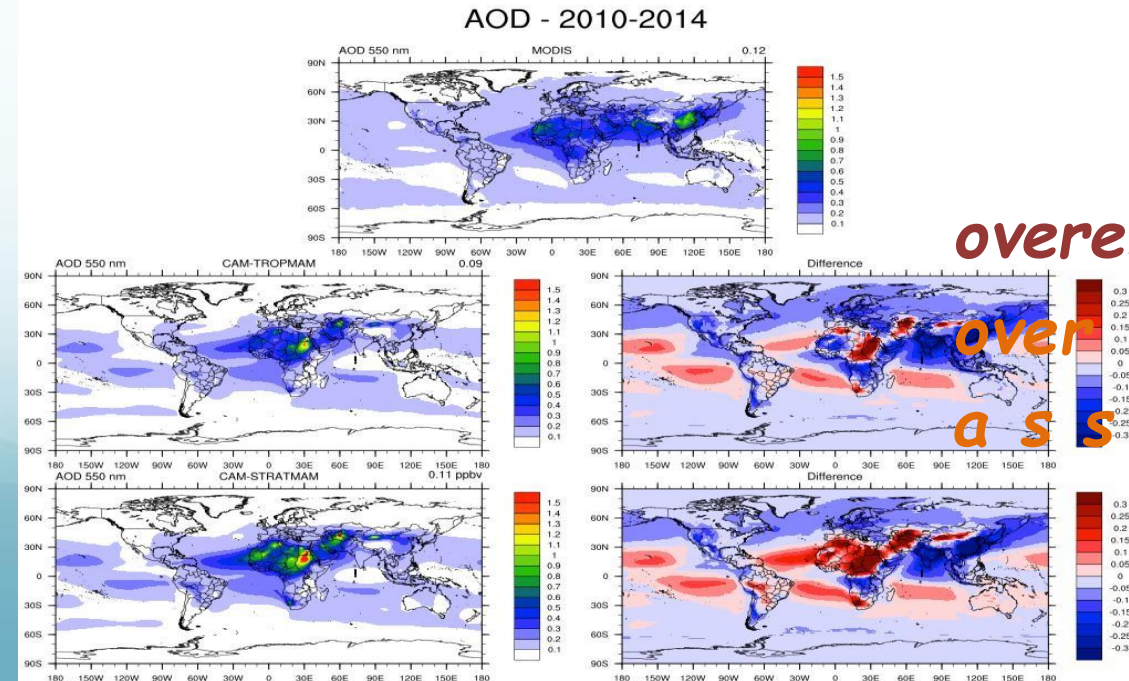


for AOD:

overestimation over deserts underestimation

over regions

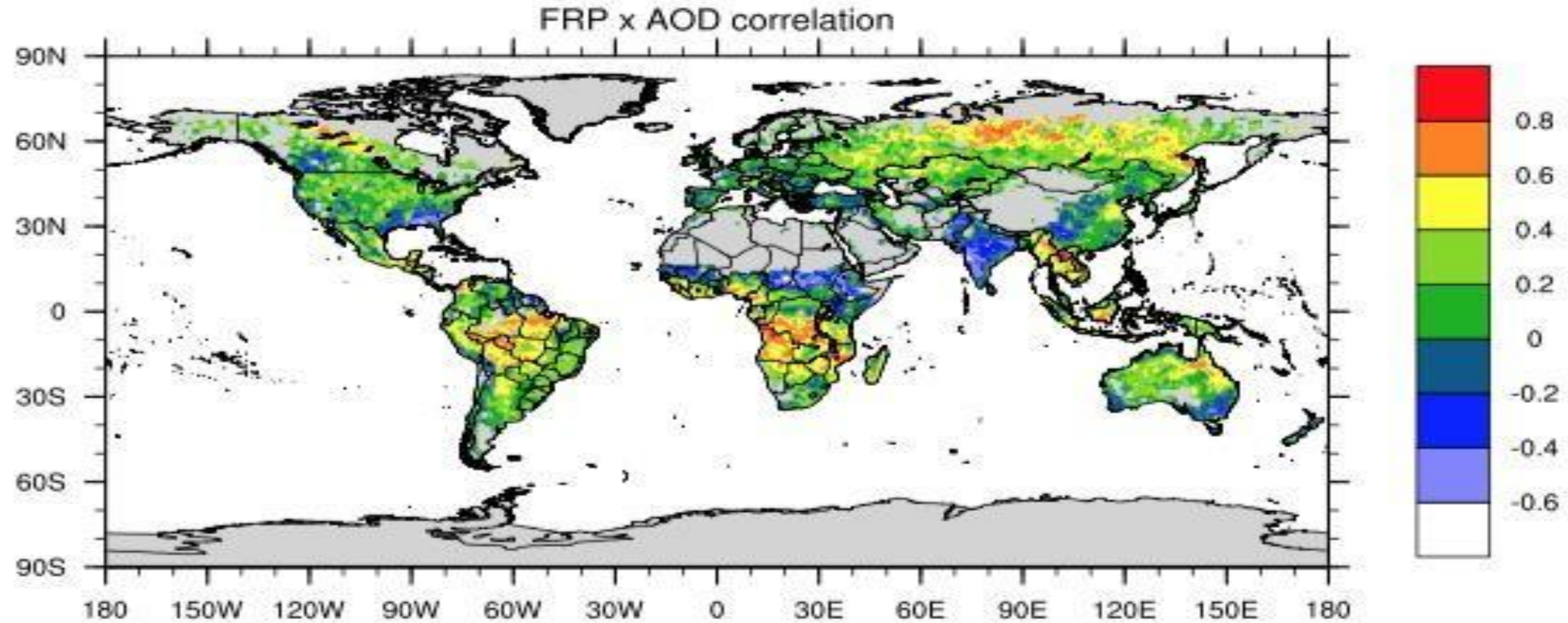
associated with anthropogenic
activities



Case study [2]

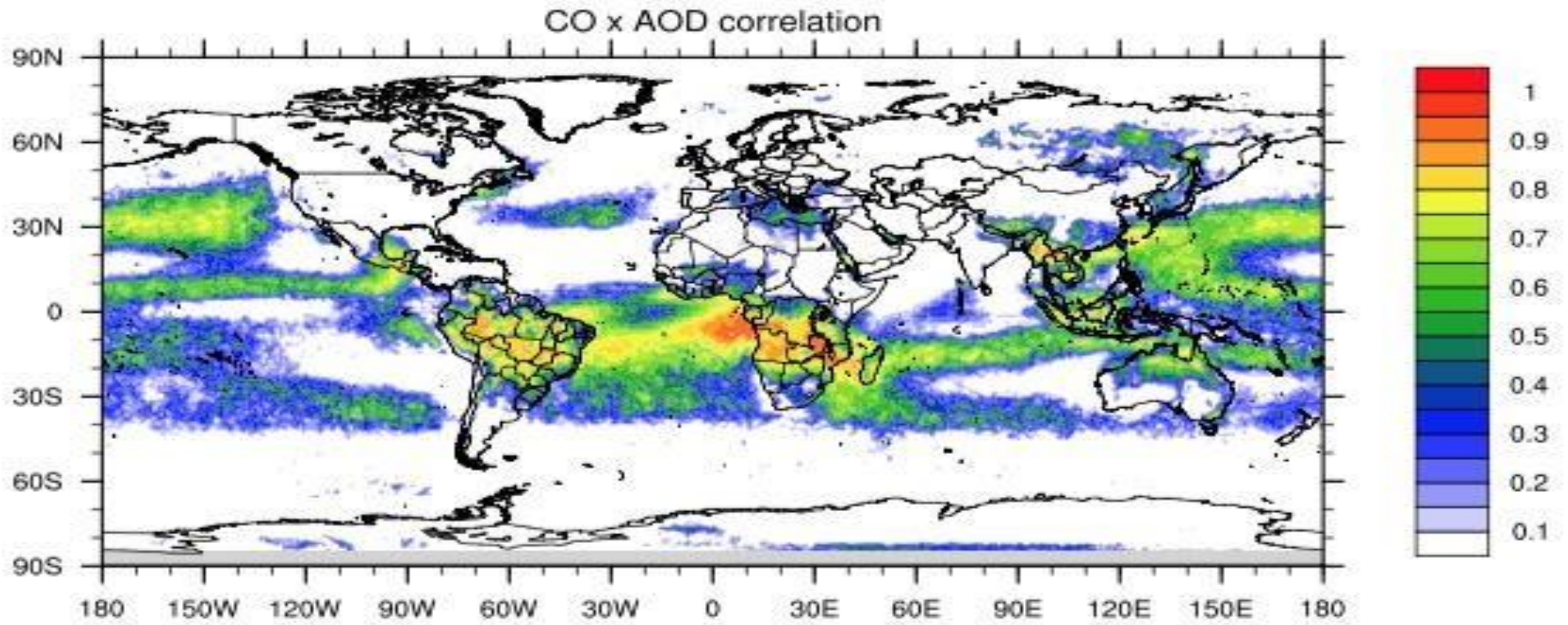
Fire Radiative Power x CO correlation (2010-2014)

Case study [2]



Fire Radiative Power x AOD correlation (2010-2014)

Case study [2]



CO x AOD correlation(2010-2014)

Case study [2]

- For CO, the inclusion of stratospheric chemistry showed profound impacts over the temperate and tropical regions (up to approx. 40 deg latitude) in both hemispheres covering Central China, Central Africa and equatorial regions of the Atlantic and Western Pacific with high positive BIAS.
- The results yielded a decrease in the positive BIAS in these regions, while varied impacts were observed over regions of higher latitudes.
- For AOD, both the experiments overestimate (intense +ve BIAS) over the desertic regions of Africa, Middle East and Asia, and underestimate (-ve BIAS) over Eastern China and Northern India for regions associated with anthropogenic activity.
- Strong correlation among the variables is observed over tropics and regions of low urbanization and/or lower population density over all latitudes. The results are consistent given that fires occur mostly in agricultural regions (anthropogenic activity) and in the wilderness (natural fires).

Aerosol Projects in Brazil

- Green Ocean Amazon (GOAmazon) – EUA x Brazil – Measurements of concentration of gases and particulate matter, training and development of clouds, streams of solar radiation and atmospheric, meteorological variables such as temperature, wind speed and direction, humidity, precipitation, atmospheric pressure, speed, flow of carbon dioxide, latent heat and sensible, among others

Aerosol Projects in Brazil

GoAmazon

- The first intensive campaign of measures, the IARA (Intensive Airborne Experiment in Amazonia), which is part of the GoAmazon Program, was held at the beginning of the year, with the participation of the plane Gulfstream-1 (G-1)

Aerosol Projects in Brazil

- ACRIDICON(Aerosol, Cloud, Precipitation, and Radiation Interactions and Dynamics of Convective Cloud Systems) → Brazil, Germany and USA

In Aug and Sep 2014 1 German Jet (HALLO) measured the chemical composition and physical characteristics of clouds in 14 flights on Amazon

Aerosol Projects in Brazil

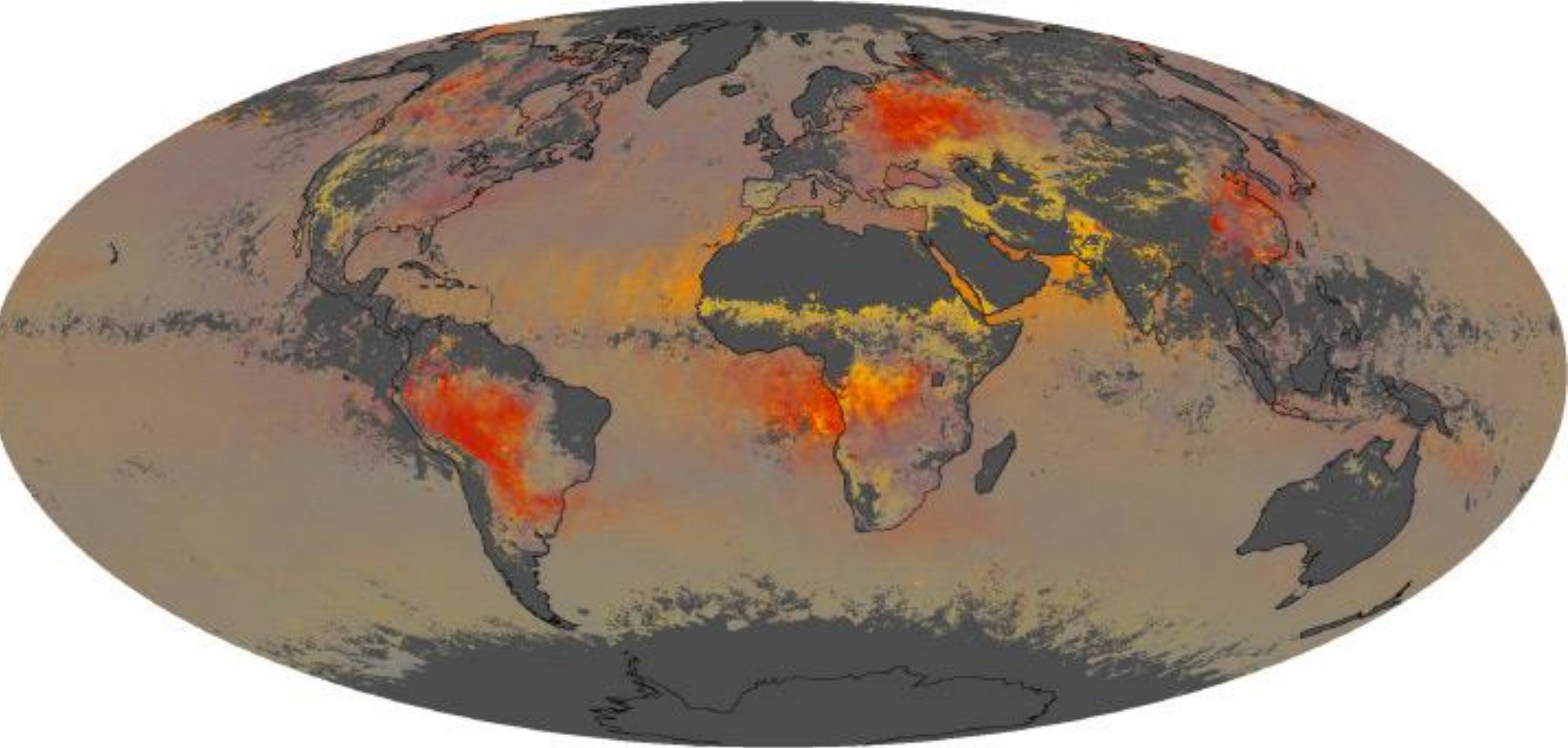
SAMMBA

South Biomass Burning Analysis → USP, INPE, the University of Manchester and the British meteorological service (UK Met Office)



**FAAM BAe146 aircraft
(Facility for Airborne
Atmospheric Measurements)**



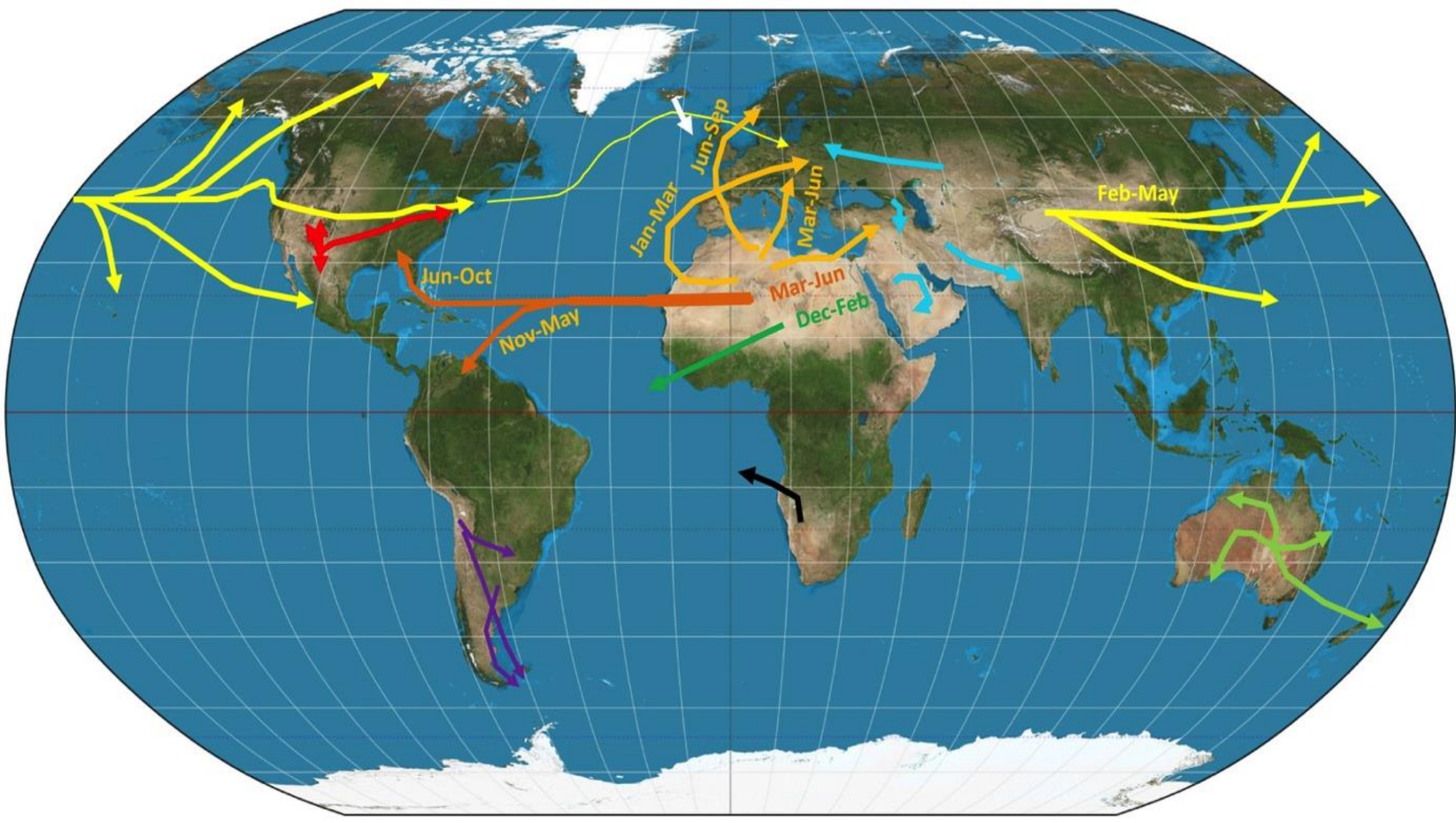


Aerosol Optical Thickness



coarse

fine



A composite image showing a view of Earth from space, with the Americas visible, and the Moon in the foreground at the bottom. The Earth is blue with white clouds and green landmasses. The Moon is grey and covered in craters. The background is the blackness of space with some distant stars.

Thank you for the opportunity!!!
Débora Alvim