



Universidade de São Paulo
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas
Departamento de Ciências Atmosféricas
DCA/IAG/USP

AGM5823 – Tópicos em química atmosférica

Águas de chuva – chuva ácida

Adalgiza Fornaro

Departamento de Ciências Atmosféricas, IAG/USP

<adalgiza.fornaro@iag.usp.br>

Processos de remoção atmosférica: deposição seca e úmida

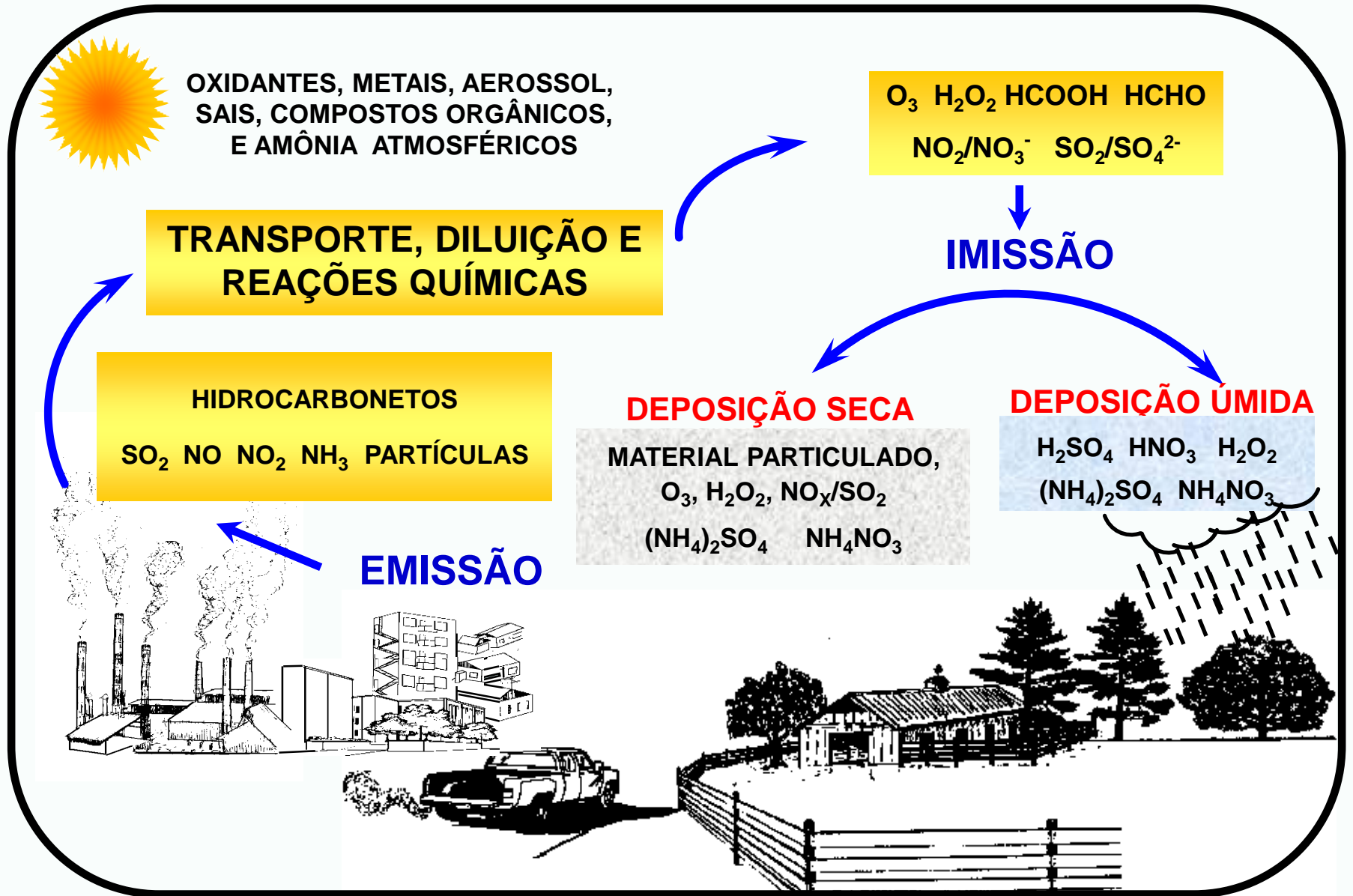
Deposição seca:

- Material particulado,
- gases

Deposição úmida:

- águas de chuva, neve, neblina
- dissolução de gases,
- reações heterogêneas (partículas, gases, filme líquido)

Processos e compostos envolvidos na poluição do ar.



ÁGUA

- 70% superfície da Terra é coberta por água

- Solvente natural

▪ líquido mais abundante

▪ constante dielétrica → solvente para substâncias iônicas

▪ dissolução de minerais, nutrientes para plantas

▪ transparente para luz visível e UV longo → permitindo fotossíntese para plantas aquáticas.

▪ Habilidade para conservar calor e a energia necessária para evaporação → mantém estrutura e temperatura dos corpos de água.

▪ alta capacidade calorífica ($4,19 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$).

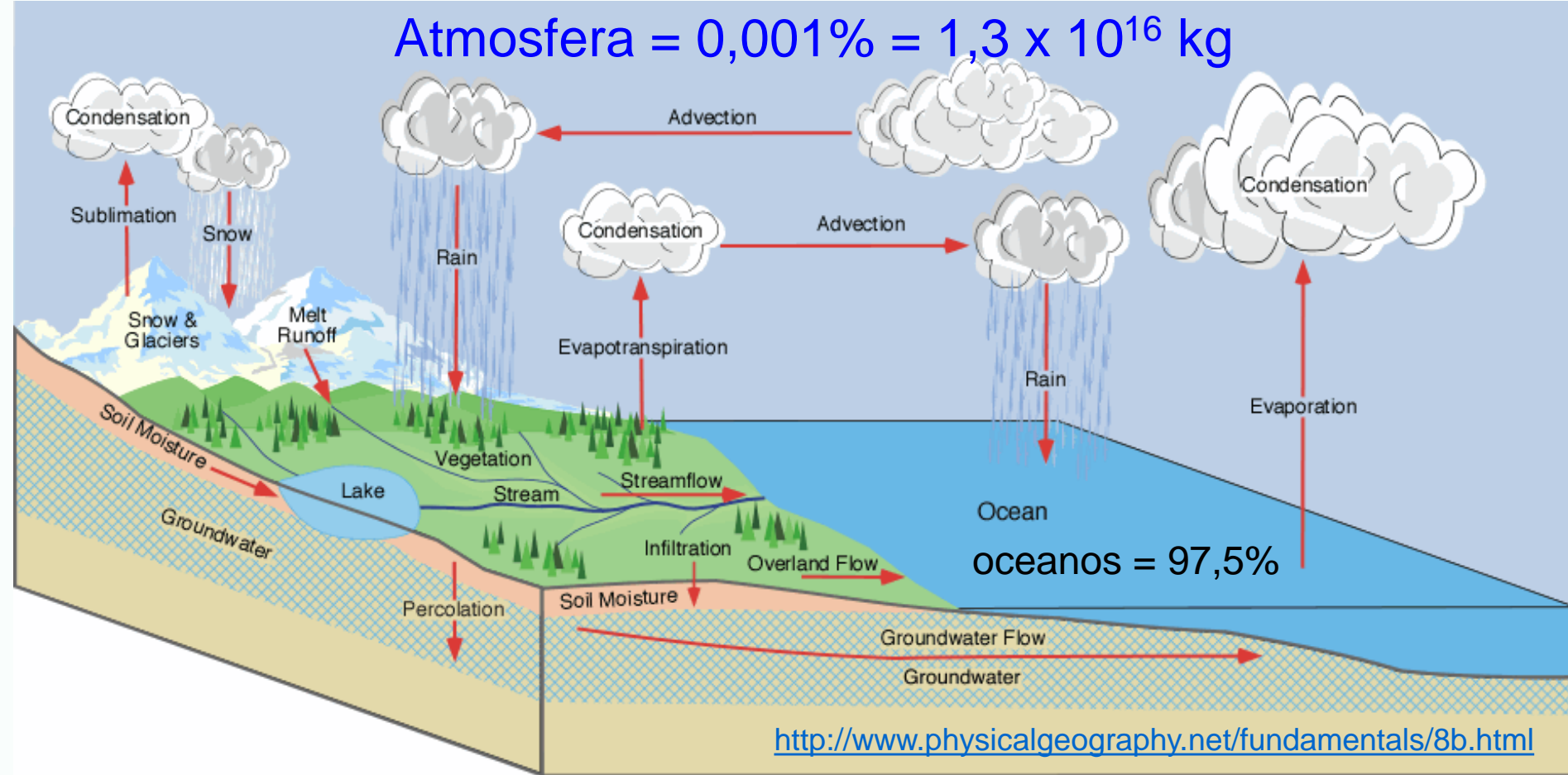
▪ Alto calor de vaporização (2260 kJ kg^{-1}) → limita sua vaporização, protegendo os organismos que vivem nela.

- Relação densidade-temperatura → densidade máxima $\sim 4^\circ\text{C}$ → gelo flutua prevenindo o congelamento total dos corpos de água.

- Tensão superficial → a mais alta de todos os líquidos ($\sim 73 \text{ mN m}^{-1}$) → controla o formato das gotas (águas de chuva, *spray* marinho, etc.)

Ciclo hidrológico

Atmosfera = 0,001% = $1,3 \times 10^{16}$ kg



Água doce = 2,5% do total da hidrosfera

- Geleiras = 1,8%
- Águas subterrâneas = 0,63%
- Lagos e rios = 0,01%
- Atmosfera = 0,001%

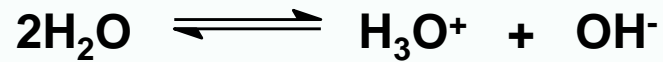
CHUVA ÁCIDA:

CONCEITO

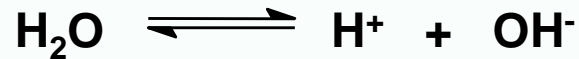
A precipitação ou chuva ácida pode ocorrer tanto como deposição seca ou úmida – ou seja não é um fato limitado pela presença de chuva. Portanto, atualmente o conceito adequado para o fenômeno da chuva ácida é **DEPOSIÇÃO ÁCIDA**.

Natureza química da água

A água pura é uma mistura com tres componentes principais: H_2O e seus produtos de dissociação, o íon hidrônio H_3O^+ e o íon hidroxila OH^-



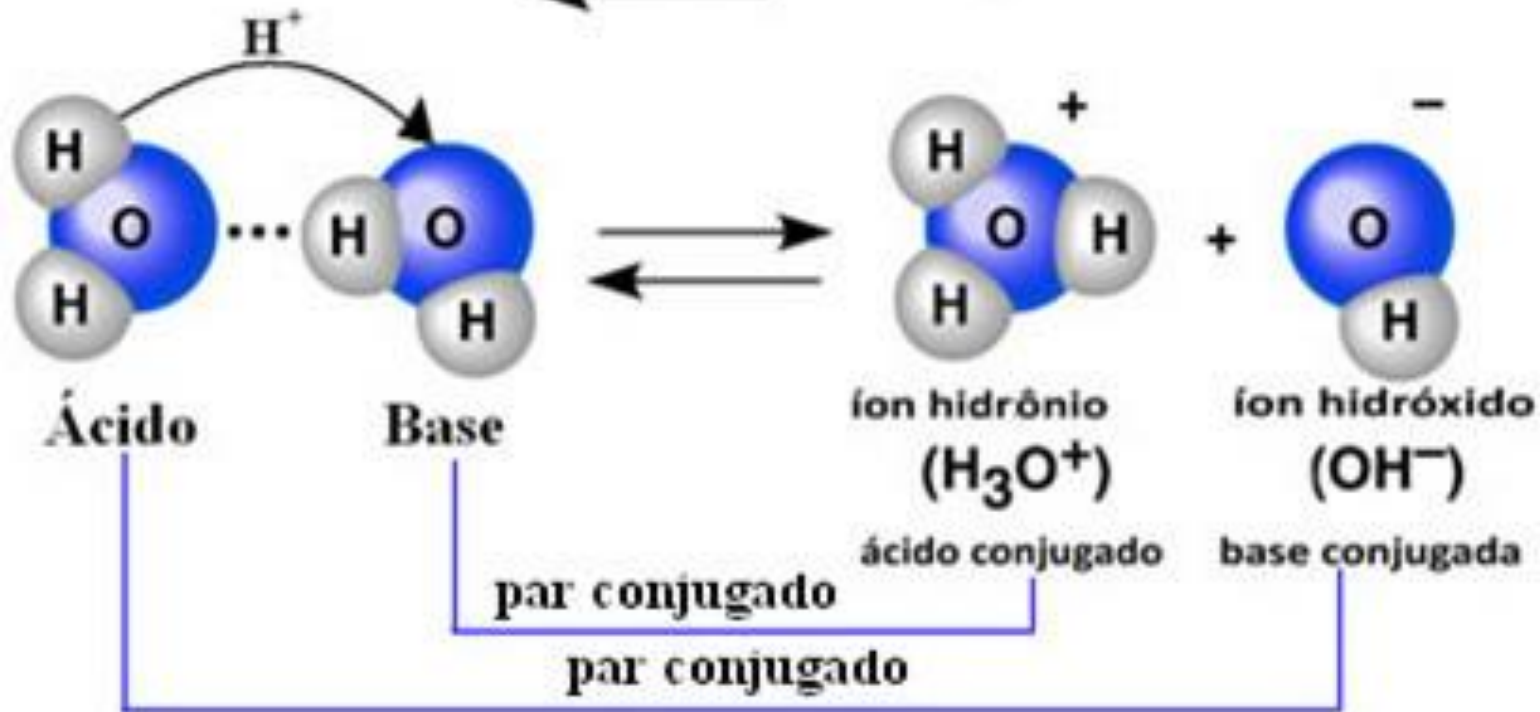
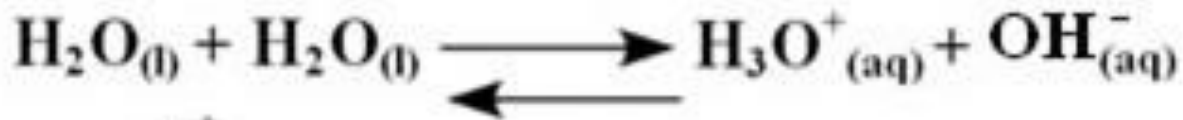
ou



A acidez da água

A acidez de qualquer solução aquosa é uma medida da concentração de íons hidrogênio em solução; ela é medida em termos de pH

$$\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}^+]$$



A equação,



representa duas reações ocorrendo ao mesmo tempo. A reação para frente é a quebra de H_2O em H^+ e OH^- . Ao mesmo tempo ocorre a reação reversa de combinação do H^+ com o OH^- , formando água.

Como isto representa um equilíbrio, a concentração de qualquer espécie em solução não pode ser alterada com o tempo. A extensão em que a água é dissociada é dada pela constante de equilíbrio, K (a 25 °C):

$$K = \frac{[\text{H}^+][\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]} = 1,8 \times 10^{-16}$$

A constante de equilíbrio dessa reação é muito pequena indicando que somente uma pequena proporção da água é ionizada. A concentração da água não dissociada ($[\text{H}_2\text{O}]$) deve ser pouco afetada pela dissociação.

A concentração da água = massa de 1 dm^3 dividido pela massa molar relativa de água, = $1000/18 = 55,56 \text{ mol L}^{-1}$.

$$K = \frac{[\text{H}^+][\text{OH}^-]}{55,56} = 1,8 \times 10^{-16}$$

Ou seja,

$$\begin{aligned}K_w &= [\text{H}^+][\text{OH}^-] = \\ &K \times 55,56 = \\ &1,8 \times 10^{-6} \times 55,56 = \\ K_w &= 1 \times 10^{-14} \text{ (mol L}^{-1}\text{)}^2\end{aligned}$$

A nova constante, **K_w** , é chamada **produto iônico da água**. Em água pura concentrações iguais de H^+ e OH^- são formadas a partir da dissociação da água – sendo essa solução descrita como neutra.

O produto iônico da água pode ser re-escrito em termos de pH e pOH:

Sendo, $K_w = [H^+][OH^-]$

$$\log K_w = \log[H^+] + \log[OH^-]$$

$$-\log K_w = -\log[H^+] - \log[OH^-]$$

$$\mathbf{pK_w = pH + pOH}$$

Se $pK_w = 14$

$$pOH = 14 - pH$$

Escala de pH

H⁺ conc.

10⁻¹

10⁻³

10⁻⁶

10⁻⁹

10⁻¹²

pH Scale

0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

OH⁻ conc.

10⁻¹³

10⁻¹¹

10⁻⁸

10⁻⁵

10⁻²

ácido

básico

neutro

Aumento do íon hidrogênio

Aumento do íon hidroxila



Critical pH Levels for Aquatic Organisms

<u>Animal</u>	<u>Critical pH Level</u>
Snails	6
Clams	6
Bass	5.5
Crayfish	5.5
Mayfly	5.5
Trout	5
Salamanders	5
Perch	4.5
Frogs	4

menos resistente

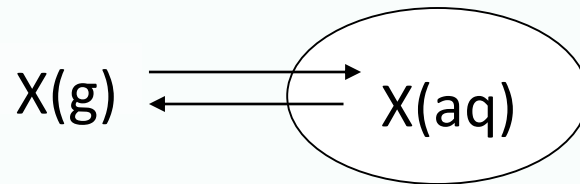
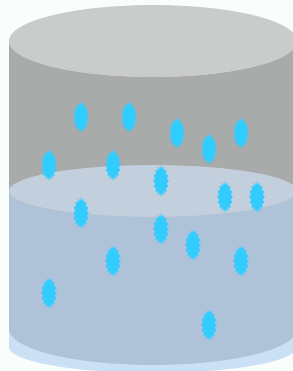


Esta figura ilustra o nível de pH em que alguns organismos-chave podem ser perdidos à medida que seu ambiente se torna mais ácido. Nem todos os peixes e mariscos, ou os insetos que eles comem, podem tolerar a mesma quantidade de ácido.

Qual o valor do pH de águas de chuva “naturais”?

O que é chuva ácida?

Equilíbrio gás / fase líquida: Lei de Henry



$$K_H = X_{(aq)} / X_{(g)} \qquad K_H = \frac{[X_{aq}]}{[X_g]} = \frac{[X_{aq}]}{p_{i_x}}$$

Atmosfera terrestre

Composição do ar seco ao nível do mar.

Gases majoritários

99,9999%



Gases traço

vapor de água - H₂O 0-5%

Gás		% volume
Nitrogênio	N ₂	78,084
Oxigênio	O ₂	20,948
Argônio	Ar	0,934
<u>Dióxido de carbono</u>	CO₂	0,04
Neônio	Ne	0,00182
Hidrogênio	H ₂	0,0010
Hélio	He	0,00052
Metano	CH ₄	0,0002
Criptônio	Kr	0,0001
Monóxido de carbono	CO	0,00001
Xenônio	Xe	0,000008
Ozônio	O ₃	0,000002
Amônia	NH ₃	0,000001
Dióxido de nitrogênio	NO ₂	0,0000001
Dióxido de enxofre	SO ₂	0,00000002
Óxido nitroso	N ₂ O	0,00003

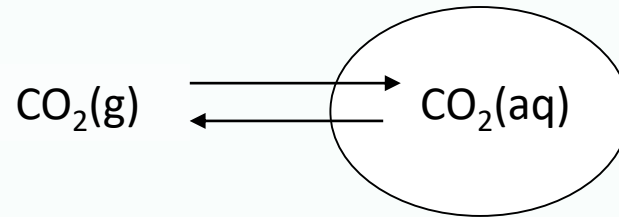
Equilíbrio gás / fase líquida: Lei de Henry

GÁS	CONSTANTE DA LEI DE HENRY (M /atm at 298 K)	
OXIGÊNIO	O ₂	1.3 x 10 ⁻³
OZÔNIO	O ₃	9.4 x 10 ⁻³
DIÓXIDO DE NITROGÊNIO	NO ₂	1.0 x 10 ⁻²
DIÓXIDO DE CARBONO	CO ₂	3.1 x 10 ⁻²
DIÓXIDO DE ENXOFRE	SO ₂	1.3
ÁCIDO NÍTRICO (efetivo)	HNO ₃	2.1 x 10 ⁵
PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO	H ₂ O ₂	9.7 x 10 ⁺⁴
RADICAL HIDROPEROXILA	HO ₂	9.0 x 10 ³
NITRATOS de ALQUILA	(RONO ₂)	1.3

$$K_H = \frac{[A_{aq}]}{[A_g]} = \frac{[A_{aq}]}{p_{i_A}}$$

Cálculo do valor de pH da água de chuva “natural”:

O pH da água de chuva é determinado pelo CO_2 ; a partição (dissolução) do CO_2 na água tem um valor constante de acordo com a Lei de Henry,



$$K_{\text{CO}_2} = [\text{CO}_2]_{\text{aq}} / P_{\text{CO}_2(\text{atm})}$$

A concentração encontrada na água de chuva depende da pressão parcial do CO_2 na atmosfera.

CO_2 aquoso (dissolvido) combina-se com água para formar ácido carbônico,



A maior parte do gás CO₂ na água está solvatado; mas a forma química usada na expressão de equilíbrio não altera o resultado,

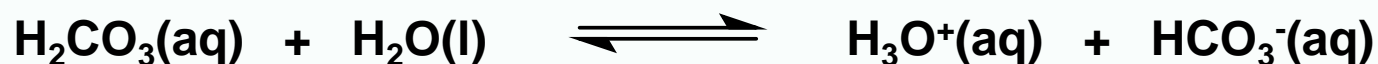
$$K_{\text{CO}_2} = [\text{H}_2\text{CO}_3]_{\text{aq}} / P_{\text{CO}_2(\text{atm})} \quad K_{\text{H}} = 0,031 \text{ mol L}^{-1} \text{ atm}^{-1}$$

$$K_{\text{CO}_2} \times P_{\text{CO}_2(\text{atm})} = [\text{H}_2\text{CO}_3]_{\text{aq}}$$

$$\text{At } 25^\circ, H_{\text{CO}_2} = 10^{-1.47} \text{ and } P_{\text{CO}_2} = 10^{-3.5} \text{ atm} = 350 \text{ ppm}$$

$$[\text{H}_2\text{CO}_3]_{\text{aq}} = 10^{-1.47} \times 10^{-3.5} = 10^{-4.97}$$

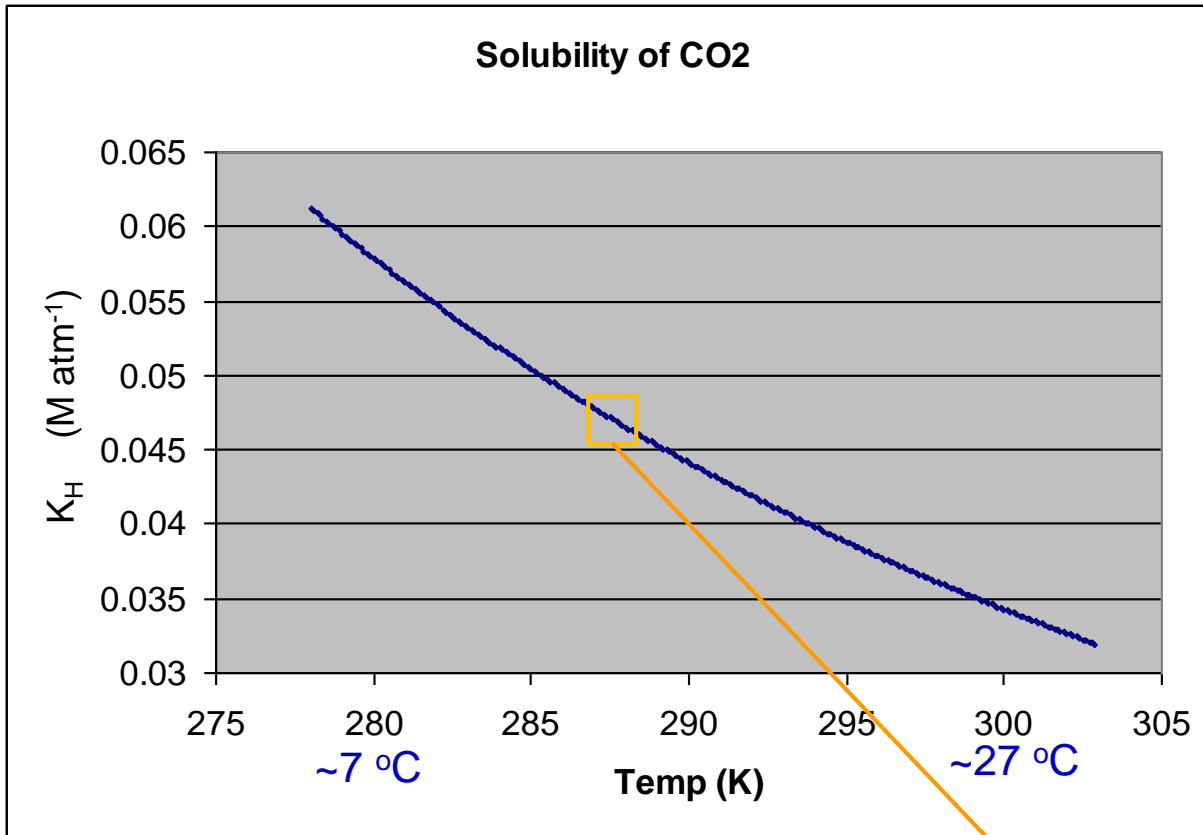
Ácido carbônico dissocia-se em água de acordo com o equilíbrio:



$$[\text{H}_3\text{O}^+] = [K_{\text{CO}_2} \times K_{\text{a}1} \times P_{\text{CO}_2}]^{1/2}$$

$$= [10^{-1.47} \times 10^{-6.37} \times 10^{-3.5}]^{1/2} = 10^{-5.68}$$

Portanto, pH = 5,68 em águas de chuva “limpas” saturadas com CO₂

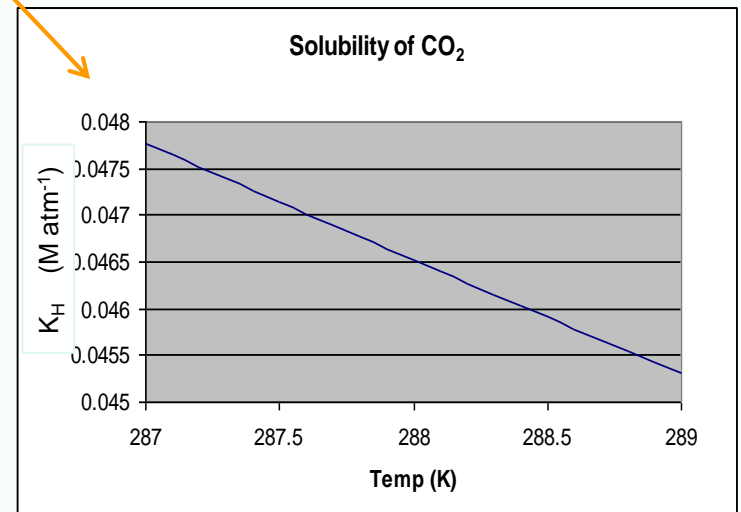


Efeito salinidade:
 K_H (20°C)

- água “fresca”
 = $3,91 \times 10^{-2}$ M atm⁻¹

- 35%
 = $3,32 \times 10^{-2}$ M atm⁻¹

Solubilidade do CO₂ = f(T)



O pH da água de chuva pode ser afetado por outros poluentes SO_2 , $\text{HNO}_3(\text{g})$ e $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{g})$; a chuva “arrasta” esses poluentes gasosos durante a formação das nuvens ou durante transporte das gotas para a superfície da terra.

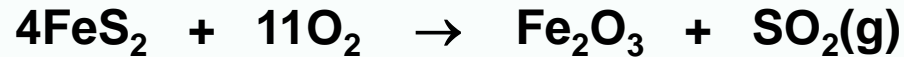
Água de chuva pode ser tamponada por carbonatos ($\text{HCO}_3^- / \text{CO}_3^{2-}$) e/ou amônia ($\text{NH}_3 / \text{NH}_4^+$) presentes na atmosfera como núcleos de condensação ou poeira absorvida por gotas de chuva.

Água de chuva pode ser fonte de muitos íons que servem como nutrientes para águas naturais ou solo (plantações, florestas), como o nitrato (NO_3^-), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), etc.

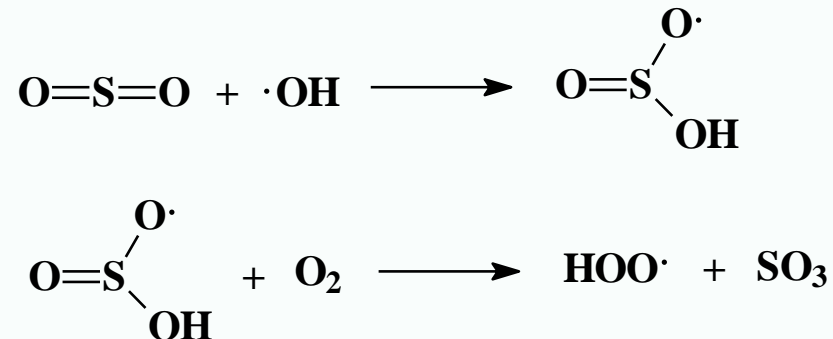
Dióxido de enxofre (SO₂) e chuva ácida

Estima-se que 67% de toda emissão de SO₂ na atmosfera ocorre devido geração de eletricidade

A principal fonte antrópica de SO₂ é a combustão de carvão contendo pirita (FeS₂)

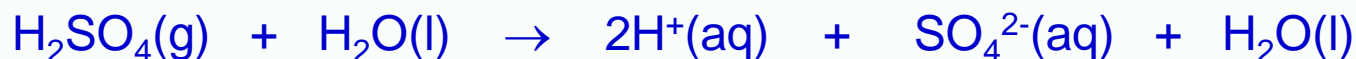


O SO₂ produzido na oxidação da pirita reage com o radical **hidroxila** na atmosfera.



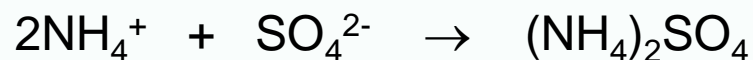
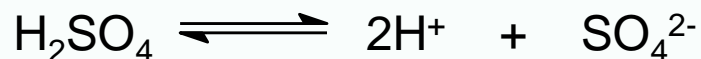
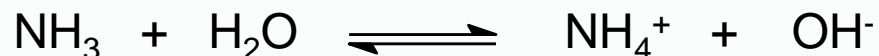
Nota: o radical hidroxila é uma das espécies mais reativas da atmosfera; liga-se a muitos compostos com duplas ligações, como o SO₂, e retira átomos de H de outros compostos sem múltiplas ligações.

O trióxido de enxofre (SO₃) combina-se com água produzindo ácido sulfúrico



SO₃ é “arrastado” pelas gotas de chuva formando a **chuva ácida**; valores de pH em gotas de chuva ácida podem estar abaixo de 2.

Se amônia está presente no ar, ácido sulfúrico pode reagir para formar partículas

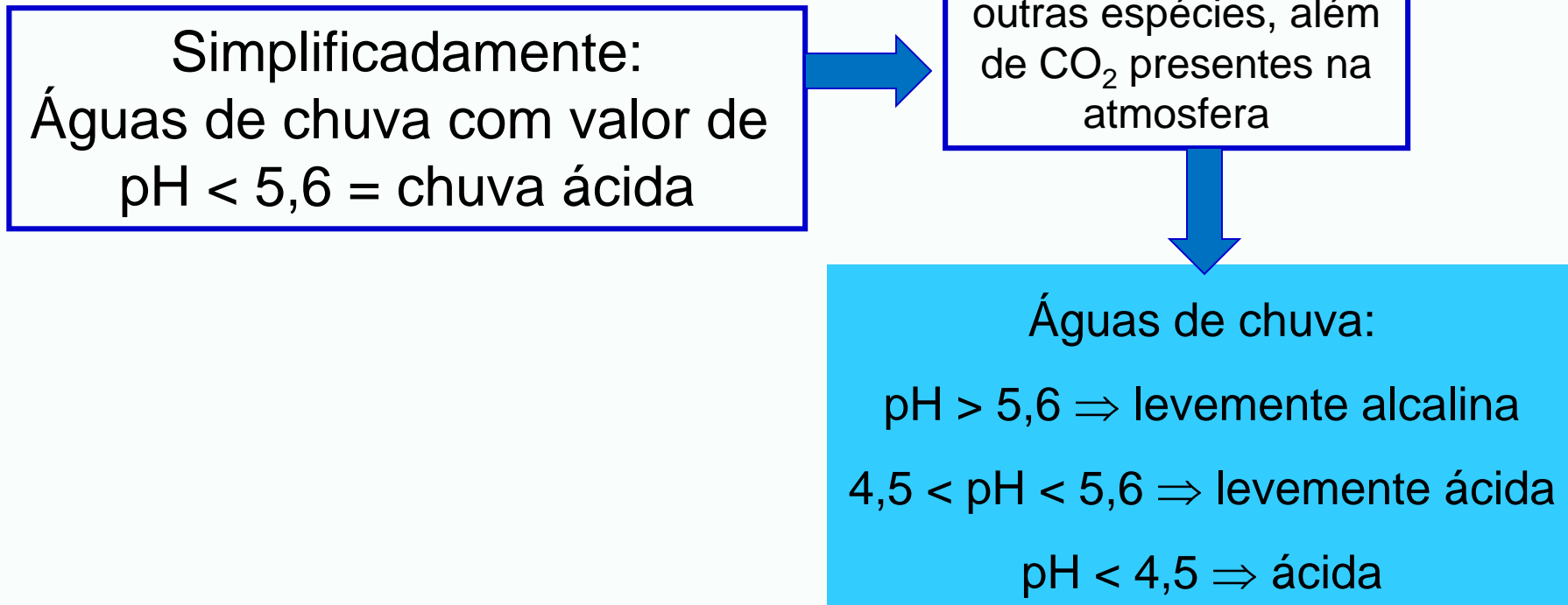


partículas de sulfato na atmosfera aumentam o albedo da luz solar; isto é muito importante quando ocorre erupção vulcânica que lança grandes quantidades de SO_2 na atmosfera.

Outras fontes de SO_2 na atmosfera incluem H_2S (sulfeto de hidrogênio) e $(\text{CH}_3)_2\text{S}$ (dimetilsulfeto) emitidos nos pântanos e oceanos.

CHUVA ÁCIDA:

CONCEITO: A precipitação ou chuva ácida pode ocorrer tanto como deposição seca ou úmida – ou seja não é um fato limitado pela presença de chuva. Portanto, atualmente o conceito adequado para o fenômeno da chuva ácida é **DEPOSIÇÃO ÁCIDA**.



QUÍMICA DA FASE AQUOSA

LEI DE HENRY

A massa de gás que dissolve em dada quantidade de um líquido em dada temperatura é diretamente proporcional à pressão parcial do gás acima do líquido. Esta lei não se aplica a gases que reagem ou ionizam-se no líquido.

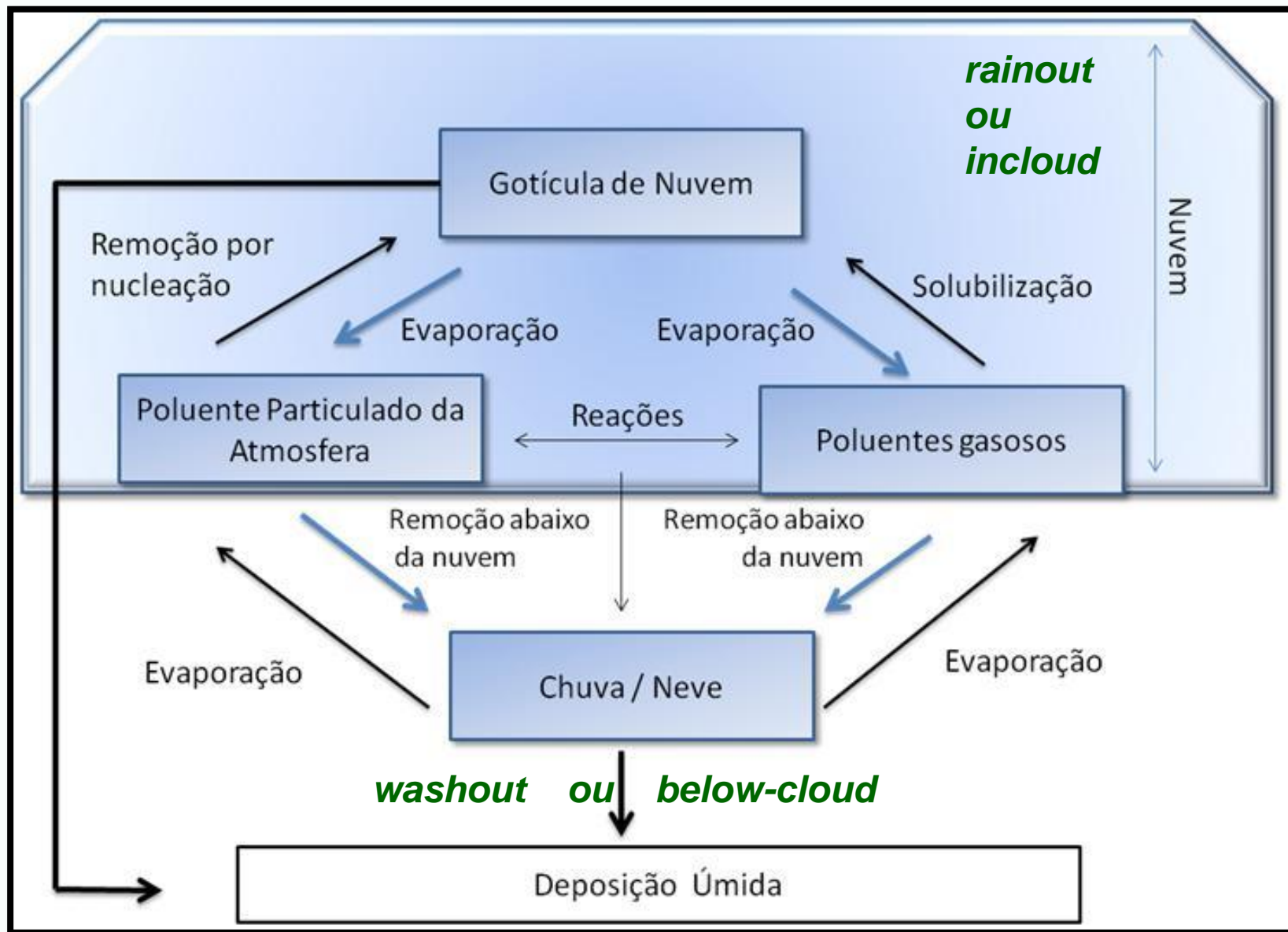
Finlayson p.151 ou Chameides, *J. Geophys. Res.*, 4739, 1984.

Veja também

www.mpch-mainz.mpg.de/~sander/res/henry.html

O caminho para a remoção úmida depende de múltiplos processos e compostos químicos, também envolvem diversas fases do estado da matéria, e é influenciado pelos fenômenos de uma variedade de escalas físicas (Seinfeld e Pandis, 1998).

Modelo conceitual dos processos de remoção úmida (Seinfeld e Pandis, 1998).



Características de gases, partículas de aerossol e partículas de hidrometeoros
(Atmospheric Pollution – M.Z. Jacobson, 2002).

	Diâmetro típico (μm)	Concentração (moléculas ou partículas cm^{-3})	Massa ($\mu\text{g m}^{-3}$)
gases	0,0005	$2,45 \times 10^{19}$	$1,2 \times 10^{-9}$
Aerossol			
Pequeno	< 0,2	$10^3 - 10^6$	< 1
Médio	0,2 - 2,0	$1 - 10^4$	< 250
grande	> 2,0	< 1 - 10	< 250
Hidrometeoros			
Gotas neblina	10 - 20	1 – 500	$10^4 - 10^6$
Gotas de nuvens	10 - 200	1 – 1000	$10^4 - 10^7$
garoa	2000 - 1000	0,01 – 1	$10^5 - 10^7$

Tamanho de gotas na atmosfera

Tamanho médio de gotas de chuva > 2000 μm (ou 2 mm)
Velocidade de queda: 4-5 m s^{-1}

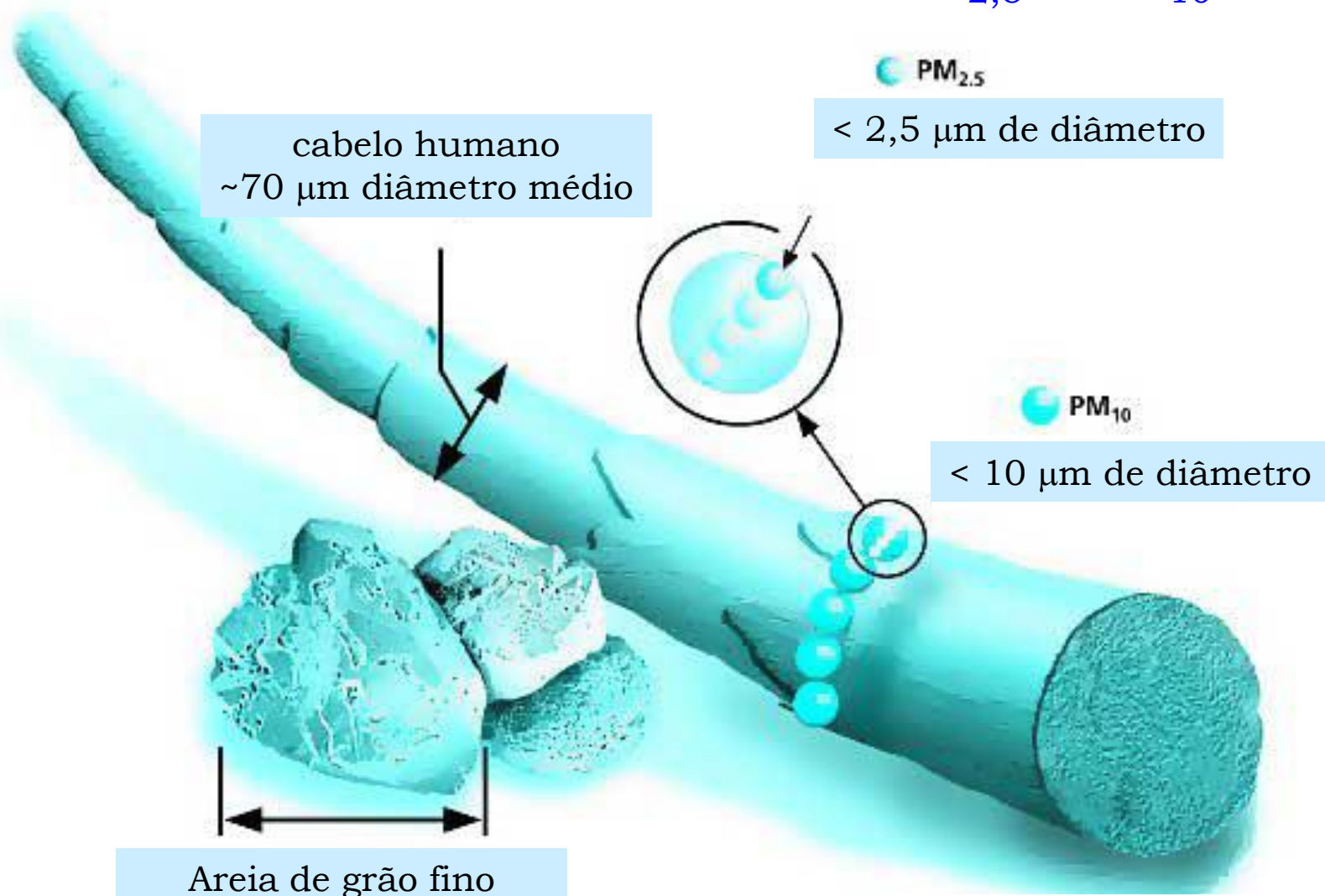
Tamanho médio de gotas de nuvem: 0,02 mm = 20 μm



Tamanho médio de núcleos de condensação: 0,0002 mm = 0,2 μm



Comparação dos diâmetros de um fio de cabelo humano e areia com $PM_{2,5}$ e PM_{10}

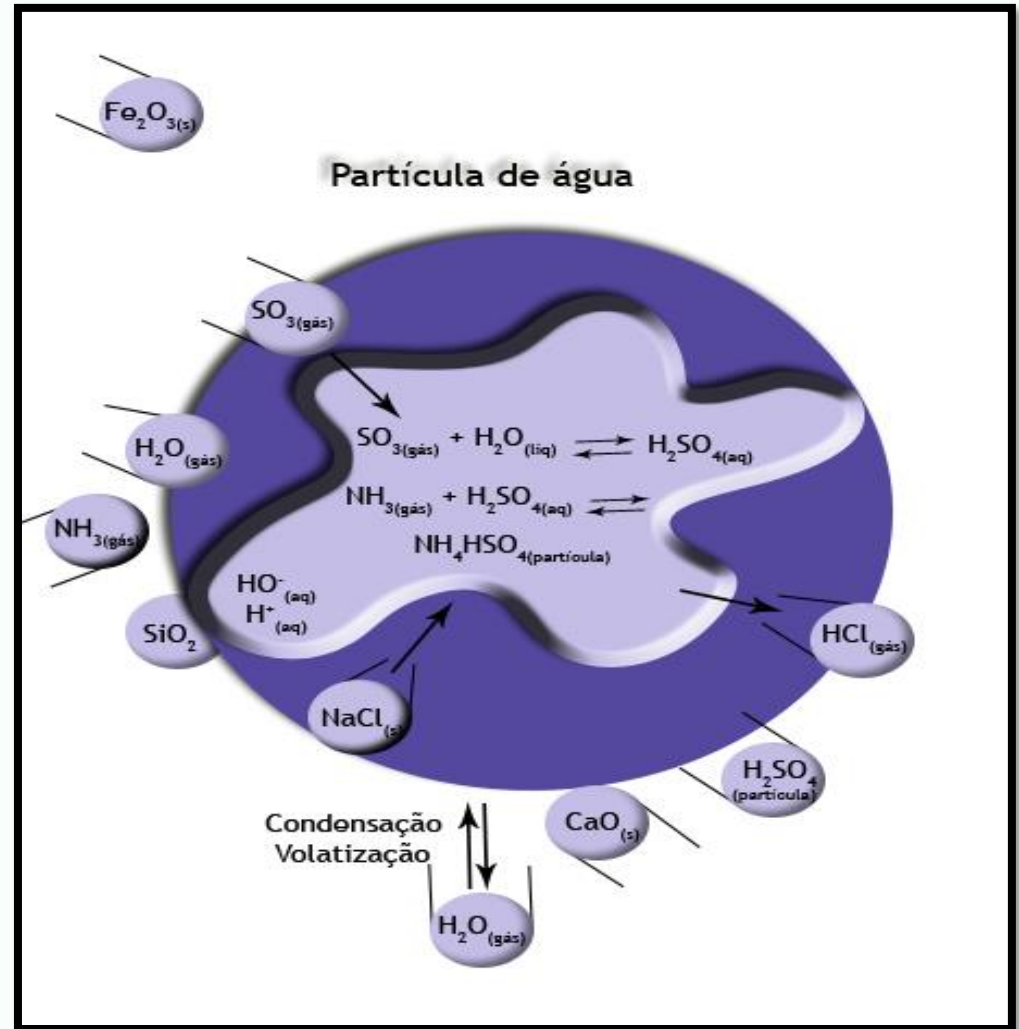


EPA, Office of Research and Development

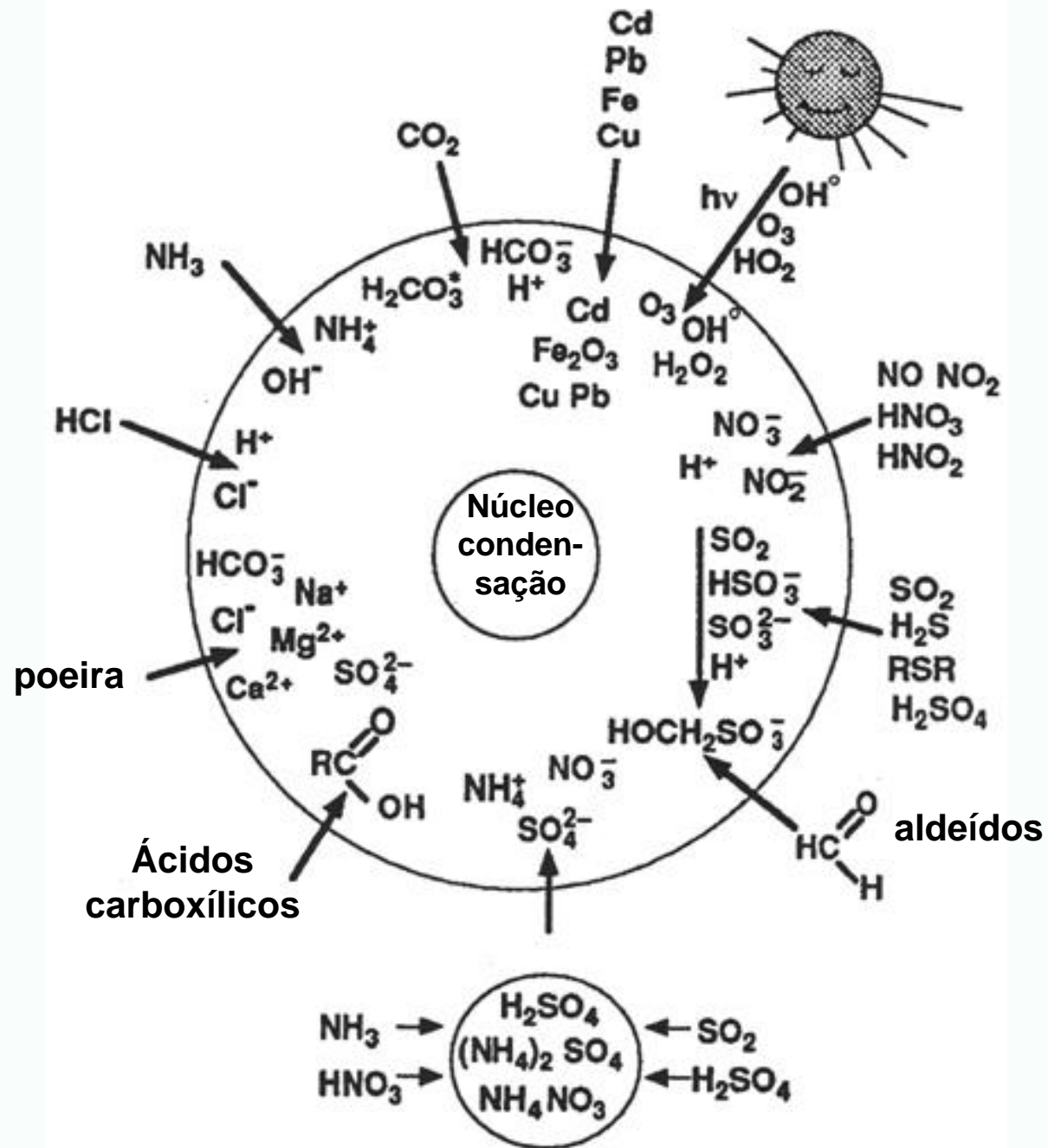
Representação de alguns processos que utilizam uma gotícula de água suspensa na atmosfera como meio de reação (Lenzi, e Favero, 2009).

➤ Processos gerais de incorporação de óxidos, amônia, partículas de sal e volatilização do vapor d'água.

➤ Este é um breve esquema da complexa interação físico-química entre poluentes e a atmosfera.



Interação gases, partículas e fase líquida na atmosfera – microfísica (gota de nuvem)



Composição química de águas de chuva:

- ❖ pH – conteúdo de H^+ livre
- ❖ Condutividade (conteúdo iônico total)
 - ❖ Cátions (Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+})
 - ❖ Ânions (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , ácidos carboxílicos)
 - ❖ Metais (Pb^{2+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} , etc)
 - ❖ Oxidantes (H_2O_2)

Amostragem de águas de chuva: somente deposição úmida (*wet only*) ou deposição total (*bulk deposition*)

Composição química:

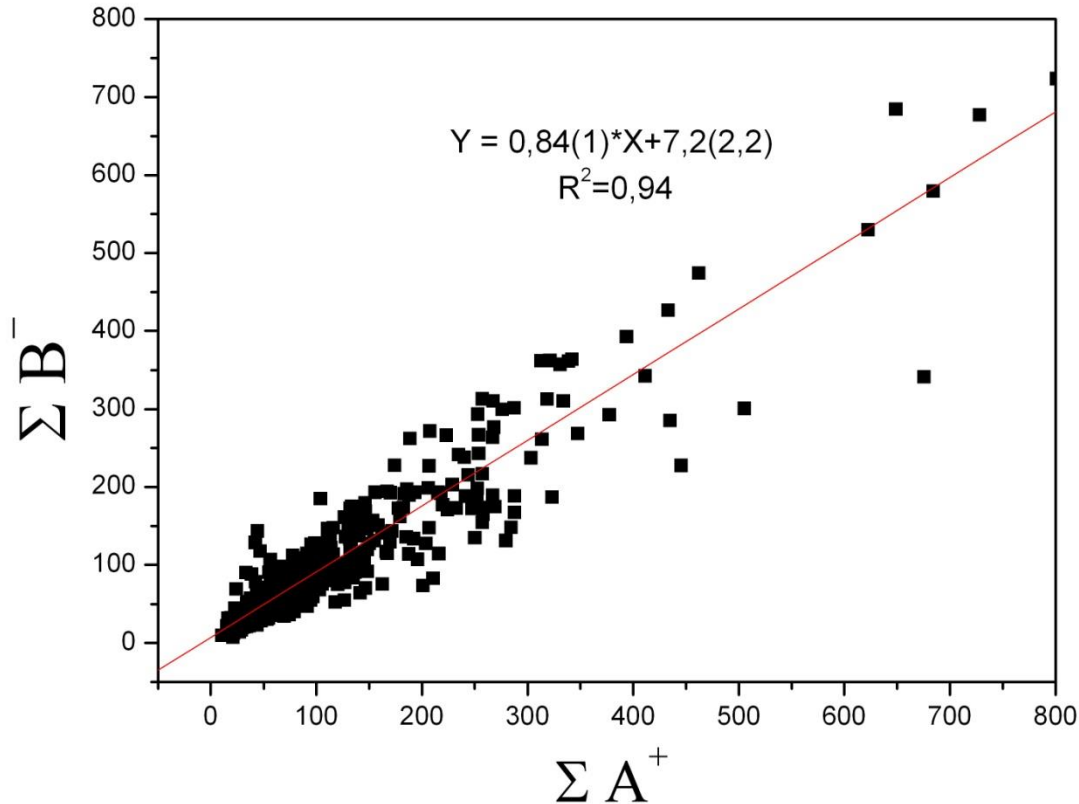
- Medidas de pH: íons H^+
 - Medidas de condutividade: conteúdo iônico total
 - **Cromatografia de íons (íons majoritários):**
 - ✓ **Ânions: cloreto (Cl^-), nitrato (NO_3^-), sulfato (SO_4^{2-})**
 - ✓ **Cátions: sódio (Na^+), potássio (K^+), amônio (NH_4^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+})**
- ânions de ácidos carboxílicos: acetato, formiato, glicolato, oxalato

Espécies traço:

metais (solúvel) em geral: ferro, cobre, chumbo, alumínio, cromo, níquel, zinco, etc

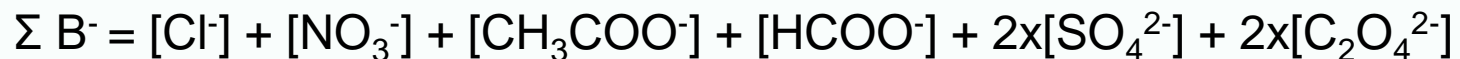
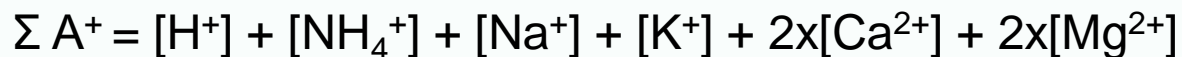
Outras espécies: peróxido de hidrogênio (H_2O_2), radicais hidroxila e hidroperóxila

VALIDAÇÃO DOS DADOS DE COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE ÁGUAS DE CHUVA



➤ O balanço iônico considera o produto das cargas pela concentração em unidades de ($\mu\text{eq L}^{-1}$). O balanço iônico foi estimado de acordo com as equações (Allan, 2004):

$\Sigma \text{Cátions} = \Sigma \hat{\text{Ânions}}$, onde:



Balanço carga massa e relação entre condutividades medidas e calculadas

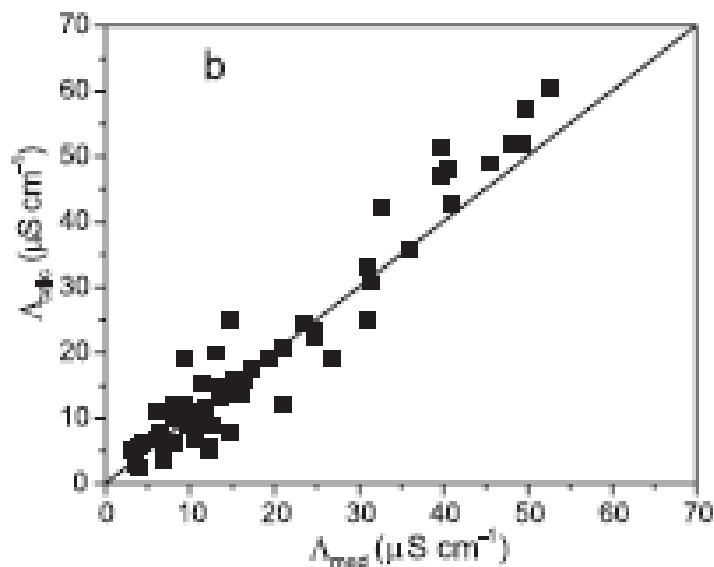
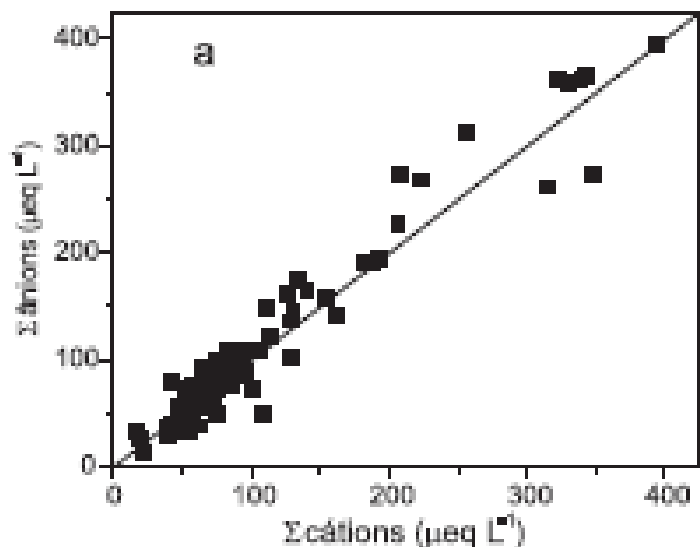
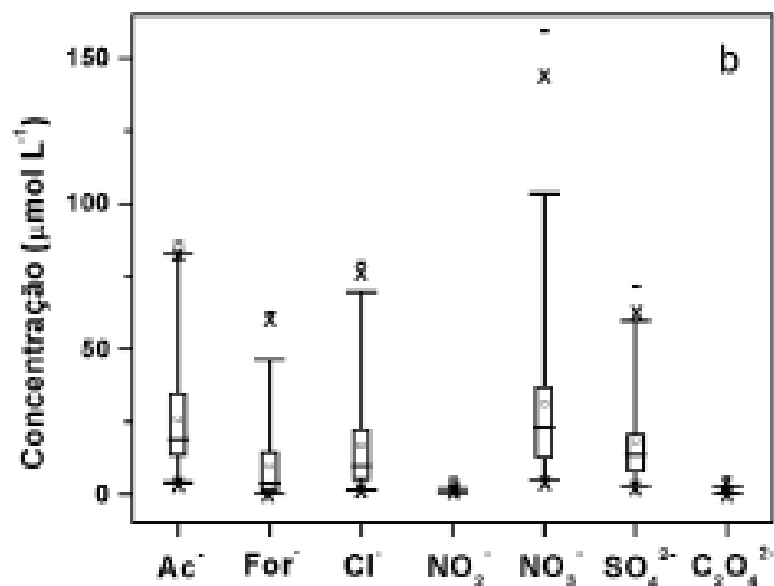
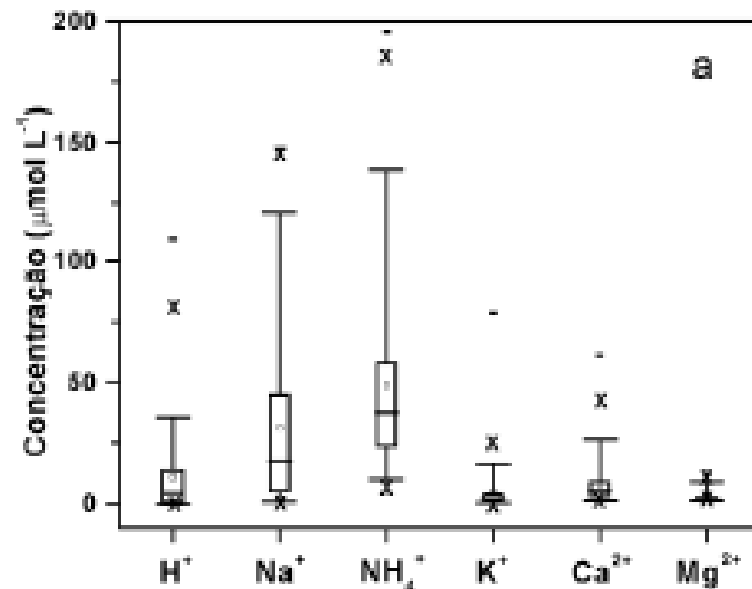


Gráfico tipo “box-whisker” das concentrações dos cátions (a) e dos ânions (b) em amostras de águas de chuva de São Paulo,



Deposição atmosférica total anual dos íons majoritários (Oak Forest, Walker Branch Watershed - 1986)

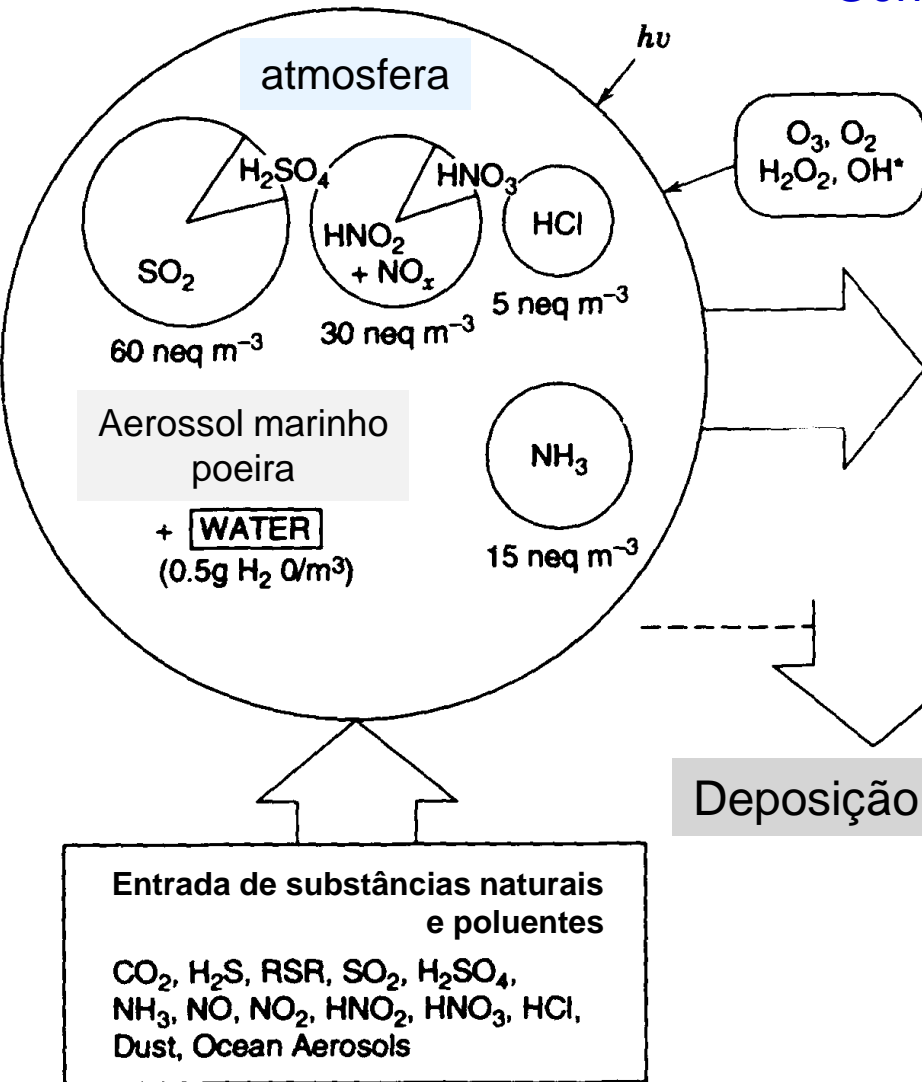
Process	Atmospheric Deposition (meq m ⁻² yr ⁻¹)					
	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	H ⁺	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺
Precipitation	70 ± 5	20 ± 2	69 ± 5	12 ± 1	12 ± 2	0.9 ± 0.1
Dry deposition						
Fine particles	7 ± 2	0.1 ± 0.02	2.0 ± 0.9	3.6 ± 1.3	1.0 ± 0.2	0.1 ± 0.05
Coarse particles	19 ± 2	8.3 ± 0.8	0.5 ± 0.2	0.8 ± 0.3	30 ± 3	1.2 ± 0.2
Vapors ^b	62 ± 7	26 ± 4	85 ± 8	1.3	0	0
Total deposition	160 ± 9	54 ± 4	160 ± 9	18 ± 2	43 ± 4	2.2 ± 0.3

^aValues are means ± standard errors for 2 years of data. Numbers of observations range from 15 (HNO₃) to 26 (particles) to 128 (precipitation) to 730(SO₂). In comparing these deposition rates it must be recalled that any such estimates are subject to considerable uncertainty. The standard errors given provide only a measure of uncertainty in the calculated sample means relative to the population means; hence additional uncertainties in analytical results, hydrologic measurements, scaling factors, and deposition velocities must be included. The overall uncertainty for wet deposition fluxes is about 20% and that for dry deposition fluxes is approximately 50% for SO₄²⁻, Ca²⁺, K⁺, NH₄⁺ and approximately 75% for NO₃⁻ and H⁺.

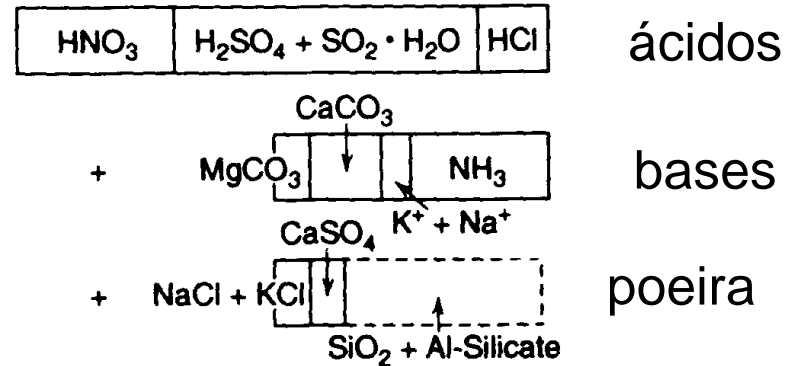
^bIncludes SO₂, HNO₃, and NH₃. Complete conversion of deposited SO₂ to H₂SO₄ and of NH₃ to NH₄⁺ was assumed in determining the vapor input of H⁺. NH₃ deposition was estimated from the literature.

Source: Lindberg et al. (1986).

Gêneses da chuva ácida - Exemplo: Zurich, Suíça



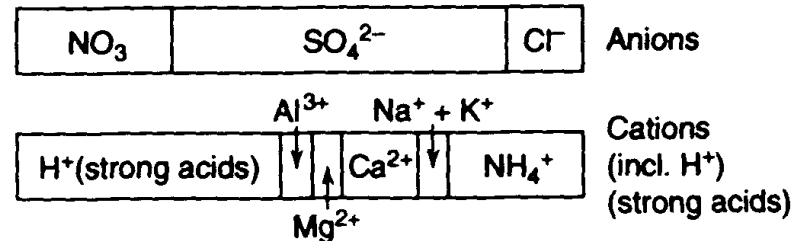
Reações ácido-base na atmosfera



Deposição seca

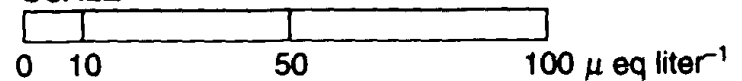
Água de chuva

Composição iônica resultante

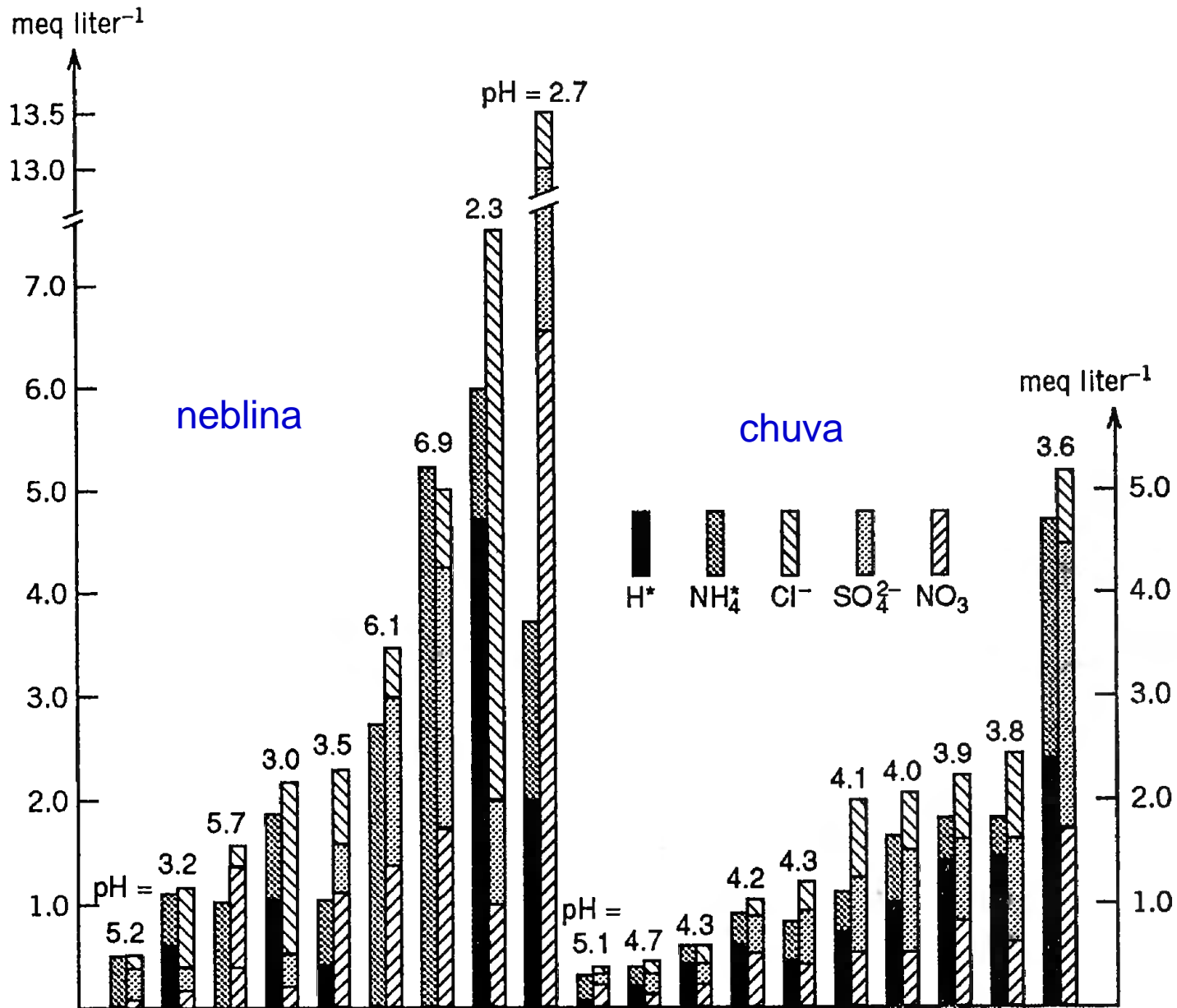


pH \approx 4.3

SCALE



Comparação da composição iônica de águas de neblina e chuva (Zurique, Suíça - 1994)



Composição química de águas de chuva de diferentes regiões.

Table 1

Major chemical species in rainwater at various locations, VWM concentrations (except column 1), with Cl^- and SO_4^{2-} corrected for non-sea-salt contribution only

Species	VWM ($\mu\text{mol l}^{-1}$), rural, forest and/or remote sites						VWM, urban sites		
	1 ^a	2	3	4	5	6	7	8	9
HCOO_t^-	6.8	2.2	6.6	2.9	5.1	5.5	12.4	1.2	17.1
$\text{CH}_3\text{COO}_t^-$	5.7	1.3	3.0	9.3	3.0	1.0	4.1	7.7	9.0
nss- Cl^-	1.9	3.0	0.9	4.6	4.0	1.6	(0)	21.4	0.9
NO_3^-	7.3	4.4	8.6	4.2	1.3	0.5	16.6	42.8	15.6
nss- SO_4^{2-}	3.3	7.0	5.3	1.0	1.6	0.6	9.6	26.2	8.6
Na^+	19	116	11.1	2.4	4.4	13.2	21.0	—	3.6
NH_4^+	7.1	2.8	—	3.0	4.7	0.6	16.8	—	27.9
K^+	1.8	0.9	2.0	0.8	1.8	0.4	1.6	—	3.7
Mg^{2+}	0.9	0.8	—	0.45	—	1.6	2.7	—	1.7
Ca^{2+}	5.1	2.5	4.6	1.2	—	0.6	4.2	—	5.5
H^+	1.6	13.1	18.1	17.0	8.4	10.9	15.4	4.5	16.9

^aArithmetic mean (VWM not available).

1: Post et al. (1991)—Barrington, Australia. 2: Galloway and Keene (1989)—Bermuda. 3: Lacaux et al. (1992)—Mayombé Forest Equatorial Africa. 4: Williams et al. (1997)—Central Amazonia, Brazil. 5: Andreae et al. (1990)—Central Amazonia, Brazil. 6: Galloway et al. (1996)—Torres del Paine National Park, Chile. 7: Sakugawa et al. (1993)—Los Angeles, USA. 8: Morales et al. (1998)—Maracaibo, Venezuela. 9: This work—São Paulo, Brazil.

Composição química de águas de chuva de diferentes regiões.

Table 1

Major chemical species in rainwater at various locations, VWM concentrations (except column 1), with Cl^- and SO_4^{2-} corrected for non-sea-salt contribution only

Species	VWM ($\mu\text{mol l}^{-1}$), rural, forest and/or remote sites						VWM, urban sites		
	1 ^a	2	3	4	5	6	7	8	9
HCOO_t^-	6.8	2.2	6.6	2.9	5.1	5.5	12.4	1.2	17.1
$\text{CH}_3\text{COO}_t^-$	5.7	1.3	3.0	9.3	3.0	1.0	4.1	7.7	9.0
nss- Cl^-	1.9	3.0	0.9	4.6	4.0	1.6	(0)	21.4	0.9
NO_3^-	7.3	4.4	8.6	4.2	1.3	0.5	16.6	42.8	15.6
nss- SO_4^{2-}	3.3	7.0	5.3	1.0	1.6	0.6	9.6	26.2	8.6
Na^+	19	116	11.1	2.4	4.4	13.2	21.0	—	3.6
NH_4^+	7.1	2.8	—	3.0	4.7	0.6	16.8	—	27.9
K^+	1.8	0.9	2.0	0.8	1.8	0.4	1.6	—	3.7
Mg^{2+}	0.9	0.8	—	0.45	—	1.6	2.7	—	1.7
Ca^{2+}	5.1	2.5	4.6	1.2	—	0.6	4.2	—	5.5
H^+	1.6	13.1	18.1	17.0	8.4	10.9	15.4	4.5	16.9

^aArithmetic mean (VWM not available).

1: Post et al. (1991)—Barrington, Australia. 2: Galloway and Keene (1989)—Bermuda. 3: Lacaux et al. (1992)—Mayombé Forest Equatorial Africa. 4: Williams et al. (1997)—Central Amazonia, Brazil. 5: Andreae et al. (1990)—Central Amazonia, Brazil. 6: Galloway et al. (1996)—Torres del Paine National Park, Chile. 7: Sakugawa et al. (1993)—Los Angeles, USA. 8: Morales et al. (1998)—Maracaibo, Venezuela. 9: This work—São Paulo, Brazil.

Contribuição relativa dos ácidos orgânicos e inorgânicos para a acidez livre potencial de águas de chuva de diferentes regiões

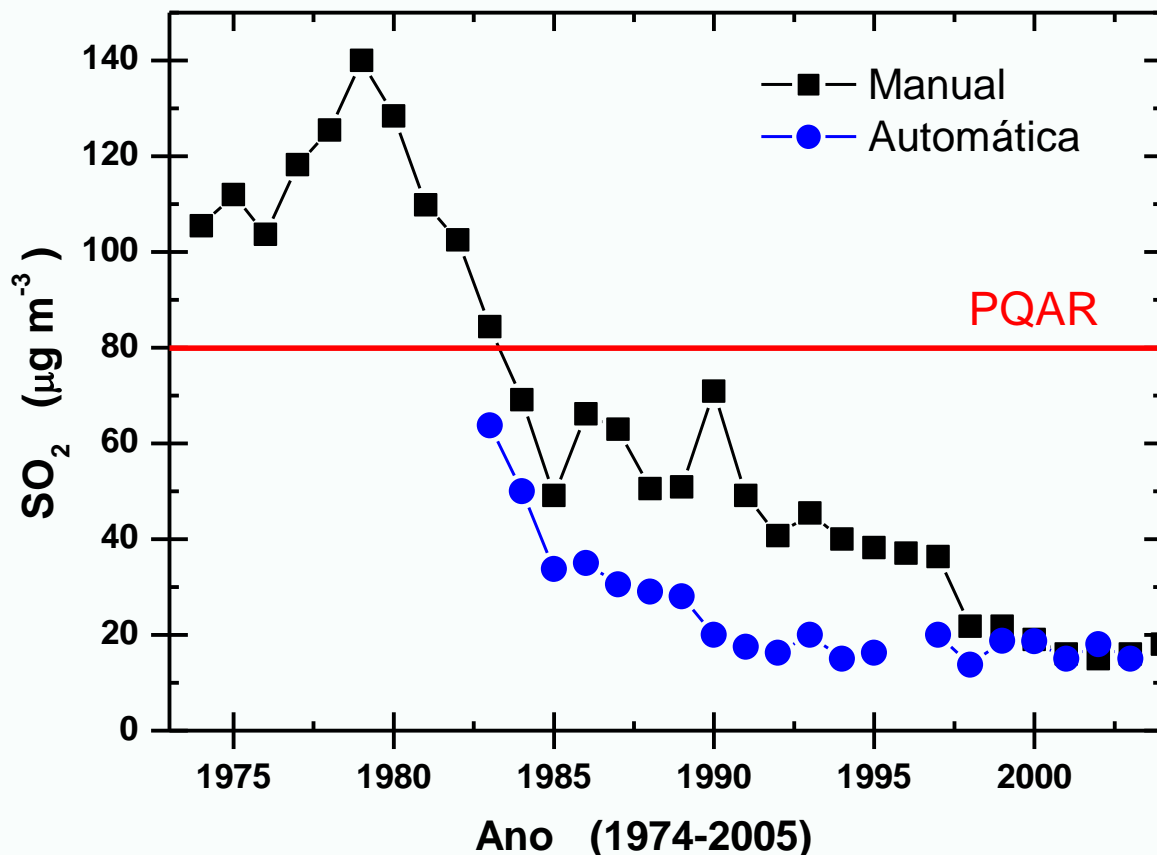
Table 2
Inorganic and organic acids contribution to the potential free-acidity (PFA) of the rainwater for the same sites of Table 1

Species	PFA (%) for rural, forest and/or remote sites						PFA (%), urban sites		
	1 ^a	2	3	4	5	6	7	8	9
HCOOH	24	9	22	13	31	56	23	1	29
CH ₃ COOH	20	5	10	40	18	10	7	6	15
HCl	7	12	3	20	24	17	—	17	1
HNO ₃	26	18	29	18	8	5	31	34	26
H ₂ SO ₄	23	56	36	9	19	12	39	42	29
Σ anions (μeq l ⁻¹)	28.0	24.9	29.7	23.0	16.6	9.8	52.3	126	59.8

^aFrom arithmetic mean (VWM not available).

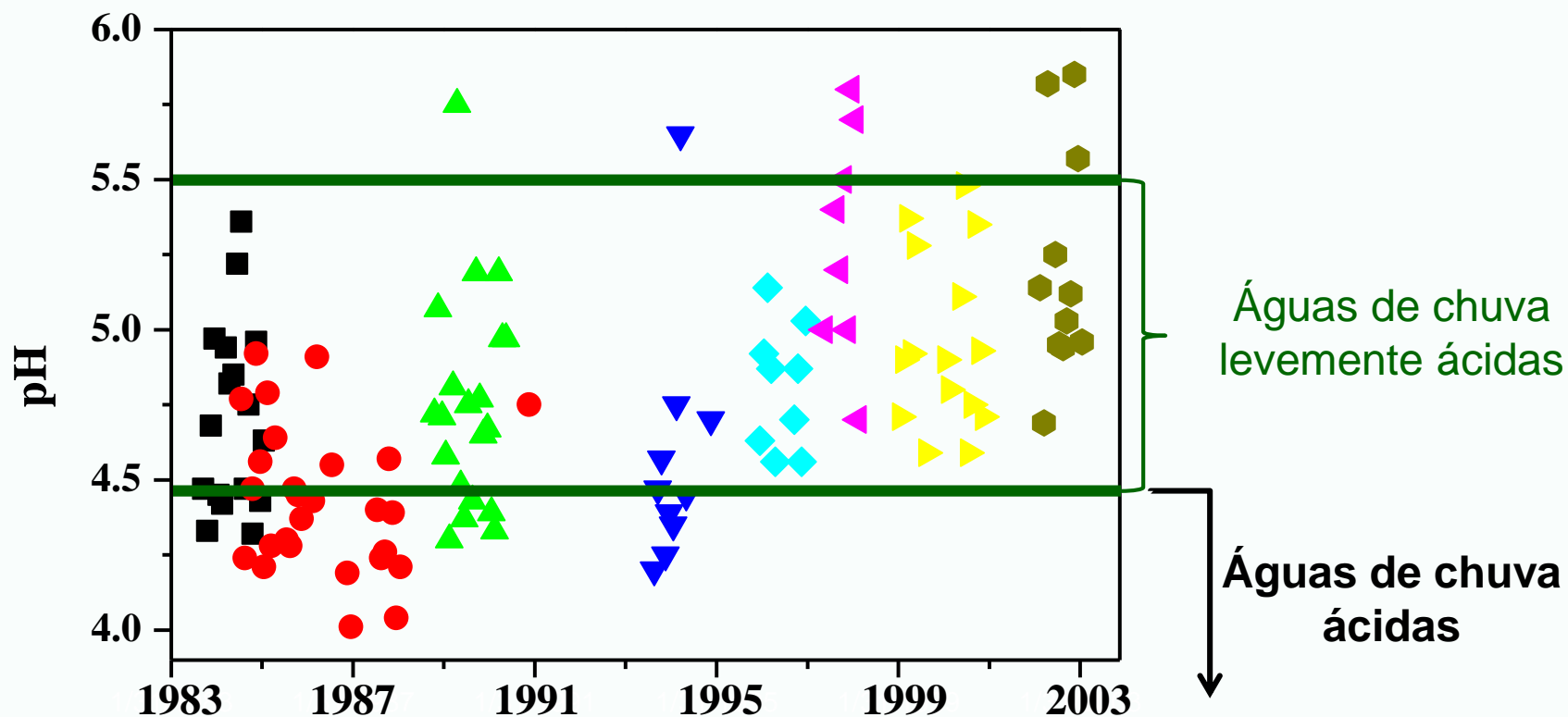
VWM concentrations, non-sea-salt only contributions for HCl and H₂SO₄, Σ anions of Eq. (2) given in last line.

Perfil da variação da concentração média anual de SO₂ na Região Metropolitana de São Paulo

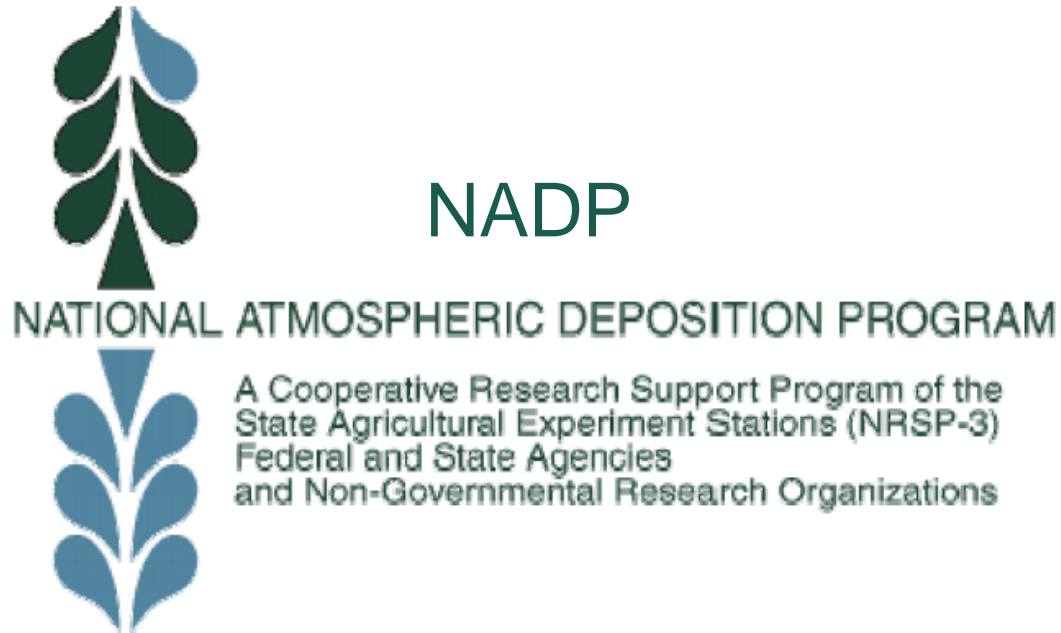


A rede manual tem poucos pontos de amostragem comparados com a rede automática e representa regiões de intensa emissão.

Perfil da variação do valor de pH médio mensal em águas de chuva na Região Metropolitana de São Paulo



Thirty Years Down and a Century to Go



NADAP mais de 300 pontos de monitoramento de águas de chuva

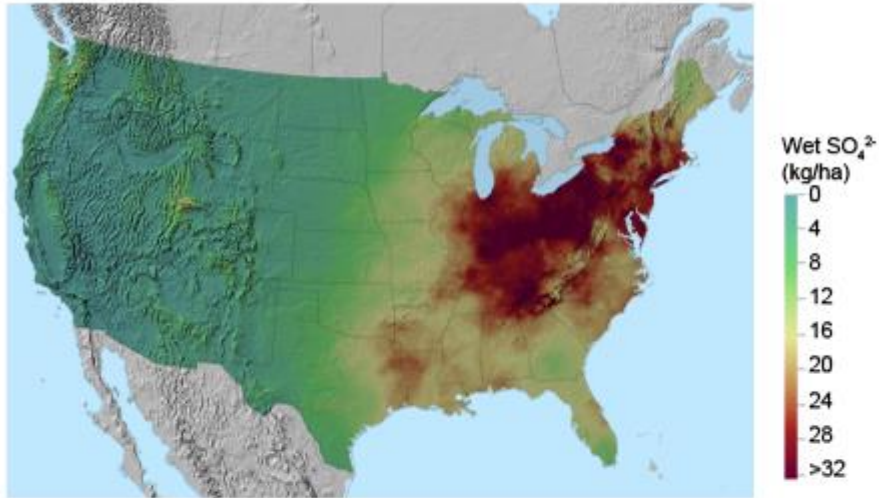


Figure 1. An atmospheric-deposition-monitoring site at Little Bighorn Battlefield National Monument in Montana.

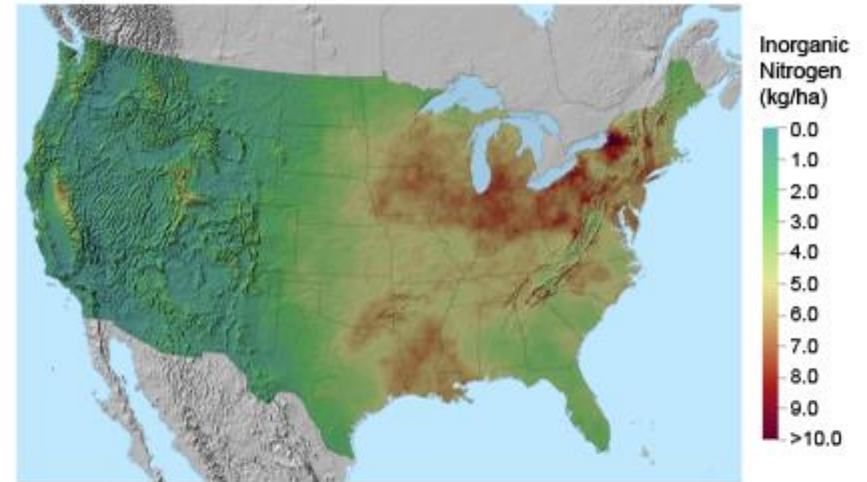
<http://bqs.usgs.gov/acidrain/>

Variação da deposição de sulfato e nitrato, EUA

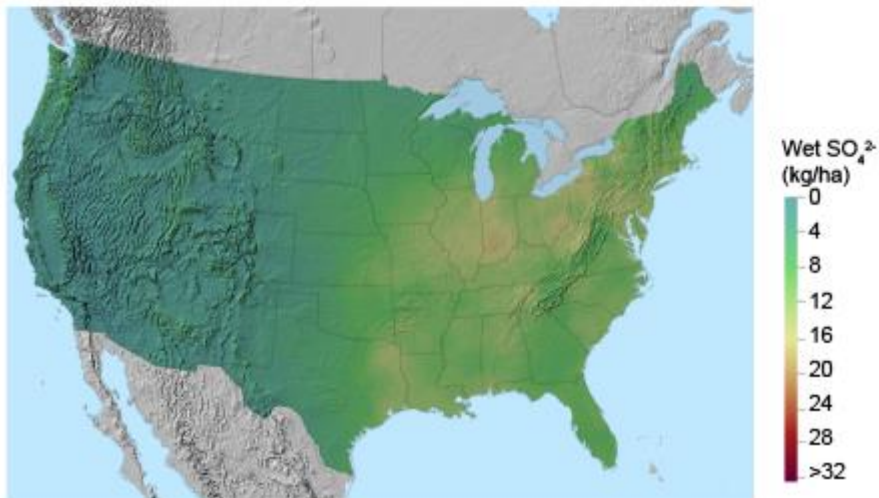
1989–1991



1989–1991



2008–2010



2008–2010



Acid Rain Conference

Columbus, Ohio, EUA

12-15 de maio de 1975 - Primeiro Simpósio Internacional em Precipitação Ácida e o Ecossistema de Florestas.

Os objetivos dessa reunião foram:

- avaliar o que era conhecido sobre acidez em precipitação e focar a atenção em seus efeitos ecológicos pelo mundo, e
- servir como um fórum de encontro entre diferentes grupos (acadêmico, industrial, governamental e público em geral) para discussão da magnitude, extensão, natureza, e consequências de precipitação ácida.

Histórico

1975 - Columbus, Ohio, EUA

1980 - Saderfjord, Noruega

1985 - Muskoka, Canadá

1990 - Glasgow, Reino Unido

1995 - Göteborg, Suécia

2000 - Tsukuba, Japão

2005 – Praga, República Tcheca

2011 - Beijing, China

2023 – Niigata, Japão

1995 - Göteborg, Suécia

ACID REIGN' 95

5th Conference on Acidic Deposition

Volume especial: Water, Air and Soil Pollution 85, 1995

Acid Rain 2000 -Tsukuba, Japão

6th Conference on Acidic Deposition

Looking back to the past and thinking of the future

Volume especial: Water, Air and Soil Pollution 130, 2001

Acid Rain 2005

7th International Conference on Acid Deposition



Air pollution, its effects and future



Acid Rain 2005 Praga

Air pollution, its effects and future

- marca a transição da visão da “chuva ácida” como um fenômeno isolado, para uma visão de sua inter-relação com os temas: mudanças climáticas, uso do solo, biodiversidade e saúde humana.

The 8th International Conference on Acid Deposition:

ACID RAIN 2011, Beijing, China, 2011

Acid Rain 2011 will place new emphasis on these areas and encourages contributions from scientists focusing on [biogeochemical cycling](#) and its implications for the wider [Earth system](#).



A deposição ácida apresenta muitos desafios científicos. À medida que o clima global e os modelos do sistema da Terra começam a incluir tratamentos cada vez mais detalhados da dinâmica da vegetação e as interações entre a vegetação, o solo e a atmosfera, há um renovado interesse pela deposição de nutrientes e poluentes que afetam a fisiologia das plantas e que podem influenciar o clima. Este interesse no ciclo biogeoquímico de oligoelementos, particularmente nitrogênio, enxofre e fósforo, apresenta novos desafios que precisam ser enfrentados na compreensão das implicações no clima futuro e mudança de uso do solo. Acid Rain 2011 colocará nova ênfase nessas áreas e incentivará contribuições de cientistas que se concentrem no [ciclo biogeoquímico e suas implicações para o sistema terrestre mais amplo](#).



The theme of Acid Rain 2015 is:

“Successes Achieved and the Challenges Ahead”.

"Sucessos alcançados e os desafios futuros". Registraram-se enormes progressos na Europa e América do Norte nas últimas três décadas na redução das emissões que formam chuva ácida, enquanto na Ásia as emissões podem estar apenas começando a diminuir. O monitoramento ambiental demonstrou que a recuperação de ecossistemas sensíveis fica claramente aquém do declínio das emissões e da deposição.

ACID RAIN
2020 NIIGATA
JAPAN

[Home](#) [Program](#) [Sponsors](#) [More](#)



The Future Environment and Role of Multiple Air Pollutants

10th International Conference
on Acid Deposition

© ACID RAIN 2020

ACID RAIN
2020 NIIGATA
JAPAN

Date: Monday - Friday, 17-21 April, 2023

<https://www.acidrain2020.org/>



O futuro do ambiente e o papel de vários poluentes atmosféricos

A próxima conferência é intitulada "ACID RAIN 2020: O futuro do ambiente e papel de vários poluentes atmosféricos", que abrange questões não apenas específicas da chuva ácida, mas também uma ampla gama de tópicos científicos relacionados a vários poluentes atmosféricos, incluindo ozônio, partículas.

Esperamos que o escopo mais amplo ative a conferência e também aprofunde a pesquisa sobre chuva ácida.

T1	Emissions and their Evaluation by Monitoring and Modeling
T2	Long-range Transport and Modeling
T3	Urban and regional air pollution by multiple pollutants in Asia
T4	Wet, Dry, and Occult Deposition
T5	Deposition of Air Pollutants and their toxicity
T6	Effects of Atmospheric Deposition and Multiple Pollutants on Terrestrial Ecosystems (including biodiversity, ecosystem functions, physiology, microbes, etc.)
T7	Effects of Atmospheric Deposition and Multiple Pollutants on Aquatic Ecosystems (including biodiversity, ecosystem functions, physiology, etc.)
T8	Status and Trends of Surface Water Chemistry
T9	Long-term trends of acidification and recovery
T10	Atmospheric Reactive Nitrogen Embedded in the Planetary Boundaries
T11	Recovery from Acidification and Altered Sulfur Dynamics in Ecosystems
T12	Biogeochemical Cycling and its relation to acidification in Ecosystems
T13	Acidification and Trace Elements
T14	Acid deposition impacts on urban ecosystems

T15	Effects of acid deposition on carbon cycle
T16	Ecosystem Management and Restoration in Response to Air Pollutant Impacts
T17	Environmental Isotopes in Acid Rain
T18	Effects of Air Pollutants on Climate Change
T19	Climate Change Impacts on Weathering and Critical Load (including chemical and biological processes of ecosystems)
T20	Critical load mapping and dynamic modeling
T21	Recovery from acidification and its modeling
T22	Linkages among Multiple Pollutants and Elements in the Environments
T23	Air Pollution and their Effects on Materials and Cultural Heritage
T24	Progress and Application of the Integrated Assessment Model in Europe, USA and Asia
T25	Towards Clean Air Policies and Its Human Health Effects
T26	Progress in Regional Transboundary Air Pollution Governance?

Sugestão de leitura

Fornaro, A., Gutz, I.G.R., Wet deposition and related atmospheric chemistry in the São Paulo metropolis, Brazil. Part 3: Trends in precipitation chemistry during 1983–2003, *Atmospheric Environment* , 40 (2006) 5893–5901.

Fornaro, A., Águas de chuva: conceitos e breve histórico. Há chuvas ácidas no Brasil? *REVISTA USP*, São Paulo, n.70, p. 78-87, junho/agosto 2006