

2100106

SISTEMA OCEANO – Poli Naval

## *Composição química da água do mar*



<https://br.freepik.com>



<https://pt.dreamstime.com>

*Profa. Rosalinda Carmela Montone*  
*IOUSP*



# Quais elementos estão presentes na água do mar?

## 18 grupos – 118 elementos

	1											13	14	15	16	17	18	
1	1,00784 <b>H</b> Hidrogênio																	4,0026 <b>He</b> Hélio
2	6,941(4) <b>Li</b> Lítio	9,0122 <b>Be</b> Berílio											10,811(3) <b>B</b> Boro	12,011 <b>C</b> Carbono	14,007 <b>N</b> Nitrogênio	15,999 <b>O</b> Oxigênio	18,998 <b>F</b> Fluor	20,180 <b>Ne</b> Neônio
3	22,990 <b>Na</b> Sódio	24,305 <b>Mg</b> Magnésio	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	26,982 <b>Al</b> Alumínio	28,086 <b>Si</b> Silício	30,974 <b>P</b> Fósforo	32,06(6) <b>S</b> Enxofre	35,45 <b>Cl</b> Cloro	39,948 <b>Ar</b> Argônio
4	39,098 <b>K</b> Potássio	40,078(4) <b>Ca</b> Cálcio	44,956 <b>Sc</b> Escândio	47,867 <b>Ti</b> Titânio	50,942 <b>V</b> Vanádio	51,996 <b>Cr</b> Cromo	54,938 <b>Mn</b> Manganês	55,845(3) <b>Fe</b> Ferro	58,933 <b>Co</b> Cobalto	58,693 <b>Ni</b> Níquel	63,546(3) <b>Cu</b> Cobre	65,39(2) <b>Zn</b> Zinco	69,723 <b>Ga</b> Gálio	72,61(2) <b>Ge</b> Germano	74,91(2) <b>As</b> Arsênio	78,96(3) <b>Se</b> Selênio	79,904 <b>Br</b> Bromo	83,80 <b>Kr</b> Criptônio
5	85,093 <b>Rb</b> Rubídio	87,62 <b>Sr</b> Estrôncio	88,906 <b>Y</b> Ítrio	91,224(2) <b>Zr</b> Zircônio	92,906 <b>Nb</b> Níobio	95,94 <b>Mo</b> Molibdênio	98,906 <b>Tc</b> Técnetio	101,07(2) <b>Ru</b> Rúbio	102,91 <b>Rh</b> Ródio	106,37 <b>Pd</b> Paládio	107,87 <b>Ag</b> Prata	112,41 <b>Cd</b> Cádmio	114,82 <b>In</b> Índio	118,71 <b>Sn</b> Estanho	121,76 <b>Sb</b> Antimônio	127,60 <b>Te</b> Telúrio	126,90 <b>I</b> Iodo	131,29(2) <b>Xe</b> Xenônio
6	132,91 <b>Cs</b> Césio	137,33 <b>Ba</b> Bário	178,49(2) <b>Hf</b> Háfnio	180,90 <b>Ta</b> Tântalo	183,84 <b>W</b> Tungstênio	186,21 <b>Re</b> Rênio	190,23(3) <b>Os</b> Ósmio	192,22 <b>Ir</b> Írídio	196,08(3) <b>Pt</b> Platina	196,97 <b>Au</b> Ouro	200,59(2) <b>Hg</b> Mercúrio	204,38 <b>Tl</b> Tálio	207,96 <b>Pb</b> Chumbo	208,98 <b>Bi</b> Bismuto	209,99 <b>Po</b> Polônio	209,99 <b>At</b> Astato	222,02 <b>Rn</b> Radônio	
7	223,02 <b>Fr</b> Frâncio	226,03 <b>Ra</b> Rádio	261 <b>Rf</b> Rutherfordio	261 <b>Db</b> Dáubio	261 <b>Sg</b> Seabórgio	267 <b>Bh</b> Bório	277 <b>Hs</b> Hássio	286 <b>Mt</b> Moscúvio	286 <b>Ds</b> Darmstádio	272 <b>Rg</b> Roentgênio	285 <b>Cn</b> Copernício	286 <b>Nh</b> Nhélio	286 <b>Fl</b> Florívio	286 <b>Mc</b> Moscóvio	289 <b>Lv</b> Livermório	294 <b>Ts</b> Tenessino	294 <b>Og</b> Oganessônio	
	LANTANÍDEOS		138,91 <b>La</b> Lantânio	140,12 <b>Ce</b> Cério	140,91 <b>Pr</b> Praseodímio	144,24(2) <b>Nd</b> Néodímio	146,92 <b>Pm</b> Promécio	150,36(3) <b>Sm</b> Samarítio	151,96 <b>Eu</b> Európio	157,25(3) <b>Gd</b> Gadolínio	158,93 <b>Tb</b> Térbio	162,50(3) <b>Dy</b> Dísprosio	164,93 <b>Ho</b> Hólio	167,26(3) <b>Er</b> Érbio	168,93 <b>Tm</b> Tulio	172,94(3) <b>Yb</b> Ítrio	174,95 <b>Lu</b> Lutécio	
	ACTINÍDEOS		227,03 <b>Ac</b> Actínio	232,04 <b>Th</b> Tório	231,04 <b>Pa</b> Protactínio	238,03 <b>U</b> Urânio	237,05 <b>Np</b> Néptúlio	239,05 <b>Pu</b> Plutônio	241,06 <b>Am</b> Americônio	244,06 <b>Cm</b> Cúrio	247,07 <b>Bk</b> Berquílio	252,08 <b>Cf</b> Califórnio	252,08 <b>Es</b> Einsteinio	257,10 <b>Fm</b> Férmio	260,10 <b>Md</b> Mendelevio	266,10 <b>No</b> Nobelônio	262,11 <b>Lr</b> Lawrêncio	

# Quais elementos estão presentes na água do mar?

Elementos naturais:  $z < 92$  (U)

Elementos artificiais:  $z > 92$  (U)

Elementos transférmios:  $z > 100$  (Fm)

Tabela Periódica dos Elementos

Element	Atomic weight	ppm	Element	Atomic weight	ppm
Hydrogen H <sub>2</sub> O	1.0079	110,000	Molybdenum Mo	0,09594	0.01
Oxygen H <sub>2</sub> O	15.999	883,000	Ruthenium Ru	101.07	0.0000007
Sodium NaCl	22.989	10,800	Rhodium Rh	102.905	.
Chlorine NaCl	35.453	19,400	Palladium Pd	106.4	.
Magnesium Mg	24.312	1,290	Argentum (silver) Ag	107.870	0.00028
Sulfur S	32.064	904	Cadmium Cd	112.4	0.00011
Potassium K	39.102	392	Indium In	114.82	.
Calcium Ca	10.080	411	Stannum (tin) Sn	118.69	0.00081
Bromine Br	79.909	67.3	Antimony Sb	121.75	0.00033
Helium He	4.0026	0.0000072	Tellurium Te	127.6	.
Lithium Li	6.94	0.170	Iodine I	166.904	0.064
Beryllium Be	9.0133	0.0000006	Xenon Xe	131.30	0.000047
Boron B	10.811	4,450	Cesium Cs	132.905	0.0003
Carbon C	12.011	28.0	Barium Ba	137.34	0.021
Nitrogen ion	14.007	15.5	Lanthanum La	138.91	0.0000029
Fluorine F	18.998	13	Cerium Ce	140.12	0.0000012
Neon Ne	20.183	0.00012	Praesodymium Pr	140.907	0.00000064
Aluminium Al	26.982	0.001	Neodymium Nd	144.24	0.0000028
Silicon Si	28.086	2.9	Samarium Sm	150.35	0.00000045
Phosphorus P	30.974	0.088	Europium Eu	151.96	0.0000013
Argon Ar	39.948	0.450	Gadolinium Gd	157.25	0.0000007
Scandium Sc	44.956	<0.0000004	Terbium Tb	158.924	0.00000014
Titanium Ti	47.900	0.001	Dysprosium Dy	162.50	0.00000091
Vanadium V	50.942	0.0019	Holmium Ho	164.930	0.00000022
Chromium Cr	51.996	0.0002	Erbium Er	167.26	0.00000087
Manganese Mn	54.938	0.0004	Thulium Tm	168.934	0.00000017
Ferrum (Iron) Fe	55.847	0.0034	Ytterbium Yb	173.04	0.00000082
Cobalt Co	58.933	0.00039	Lutetium Lu	174.97	0.00000015
Nickel Ni	58.710	0.0066	Hafnium Hf	178.49	<0.000008
Copper Cu	63.54	0.0009	Tantalum Ta	180.948	<0.0000025
Zinc Zn	65.37	0.005	Tungsten W	183.85	<0.000001
Gallium Ga	69.72	0.00003	Rhenium Re	186.2	0.00000084
Germanium Ge	72.59	0.00006	Osmium Os	190.2	.
Arsenic As	74.922	0.0026	Iridium Ir	192.22	.
Selenium Se	78.96	0.0009	Aurum (gold) Au	196.967	0.000011
Krypton Kr	83.80	0.00021	Mercury Hg	200.59	0.00015
Rubidium Rb	85.47	0.120	Thallium Tl	204.37	.
Strontium Sr	87.62	8.1	Lead Pb	207.19	0.00003
Yttrium Y	88.905	0.000013	Bismuth Bi	208.980	0.00002
Zirconium Zr	91.22	0.000026	Thorium Th	232.04	0.0000004
Niobium Nb	92.906	0.000015	Uranium U	238.03	0.0033
			Plutonium Pu	(244)	

# Tem ouro na água do mar?

vários registros de pesquisas para extração de ouro na água do mar

Em 1918, Fritz Haber (inventor alemão) fez pesquisas sobre a extração de ouro da água do mar em um esforço para ajudar a pagar as indenizações da Alemanha após a Primeira Guerra Mundial. Com base nos valores publicados de **2 a 64 ppb de ouro** na água do mar, uma extração comercialmente bem-sucedida parecia possível.

Após a análise de **4.000 amostras de água** produzindo uma média de **0,004 ppb**, ficou claro para Haber que a extração não seria possível, e ele interrompeu o projeto.

**20 milhões toneladas ouro/  
1,3 bilhão de quilômetros cúbicos água do mar.**



Au

# Classificação dos elementos na água do mar

existem várias classificações

definição operacional ( $\varnothing \geq 0,45 \mu\text{m}$ )

- Materiais sólidos ou particulados
- Materiais dissolvidos



# Materiais sólidos ou particulados

Material  $\varnothing \geq 0,45 \mu\text{m}$

inorgânicos  
(quartzo, feldspato, argila e  $\text{CaCO}_3$ )

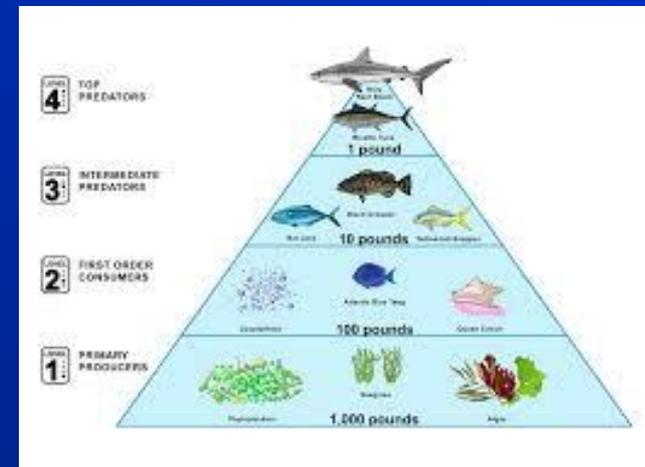
orgânicos  
(plâncton, detritos e produtos de excreção)



é formado por organismos (maioria microscópica) que flutuam com pouca capacidade de locomoção nos oceanos.

<https://pt.wikipedia.org/wiki/Pl%C3%A2ncton>

é a base da cadeia alimentar do ecossistema aquático



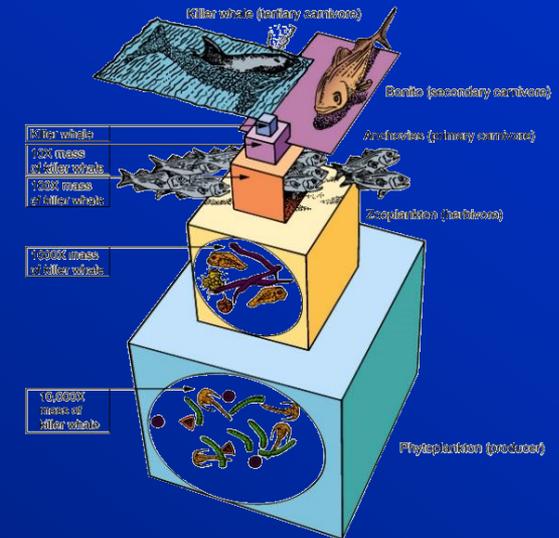
# Materials sólidos ou particulados

Material  $\varnothing \geq 0,45 \mu\text{m}$

[particulado] é variável no oceano

Águas costeiras = 10 – 200 mg.L<sup>-1</sup>

Águas oceânicas = 0,5 a 250  $\mu\text{g.L}^{-1}$



# Fontes de materiais particulados para o oceano

## rios

(carregam partículas em suspensão para o mar e depositadas como areias, siltes e argilas)

## poeira

Transportado pelos ventos (ex: finas partículas de quartzo, minerais argilosos e óxido de ferro, material derivado de micrometeorito, etc.)

A maioria atinge o fundo oceânico rapidamente devido à densidade na faixa de  $2-3 \text{ g.cm}^{-3}$

## biogênico

Partículas resultantes da produção biológica (produtos de excreção, detritos, pelotas fecais)

A maioria tem  $\varnothing \geq 100 \mu\text{m}$  e deposita com relativa rapidez.

Partículas  $< 10 \mu\text{m}$  depositam devagar

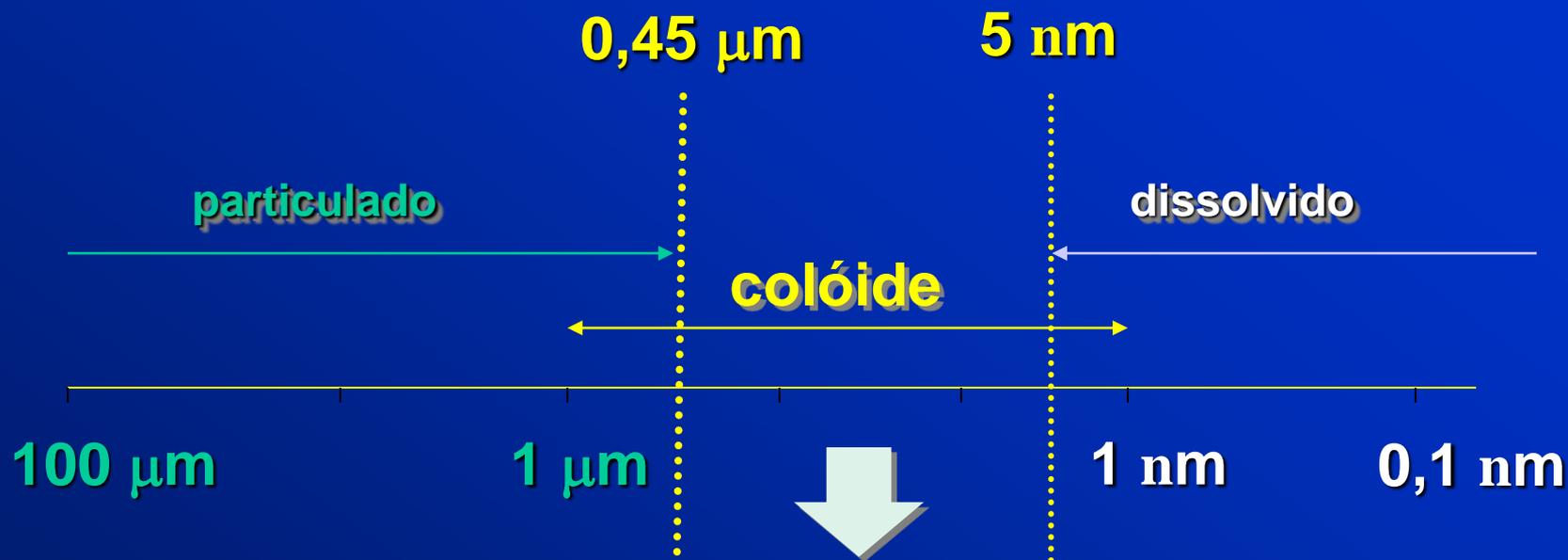
# Materiais dissolvidos

Constituídos por quase todos os elementos da tabela periódica

Incluindo os gases como  $O_2$ ,  $N_2$ , Ar, Xe,  $CO_2$

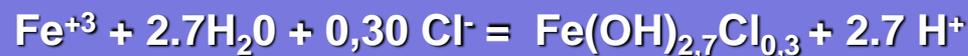
Também podem conter os colóides ( $\varnothing = 0,001 - 1 \mu m$ )

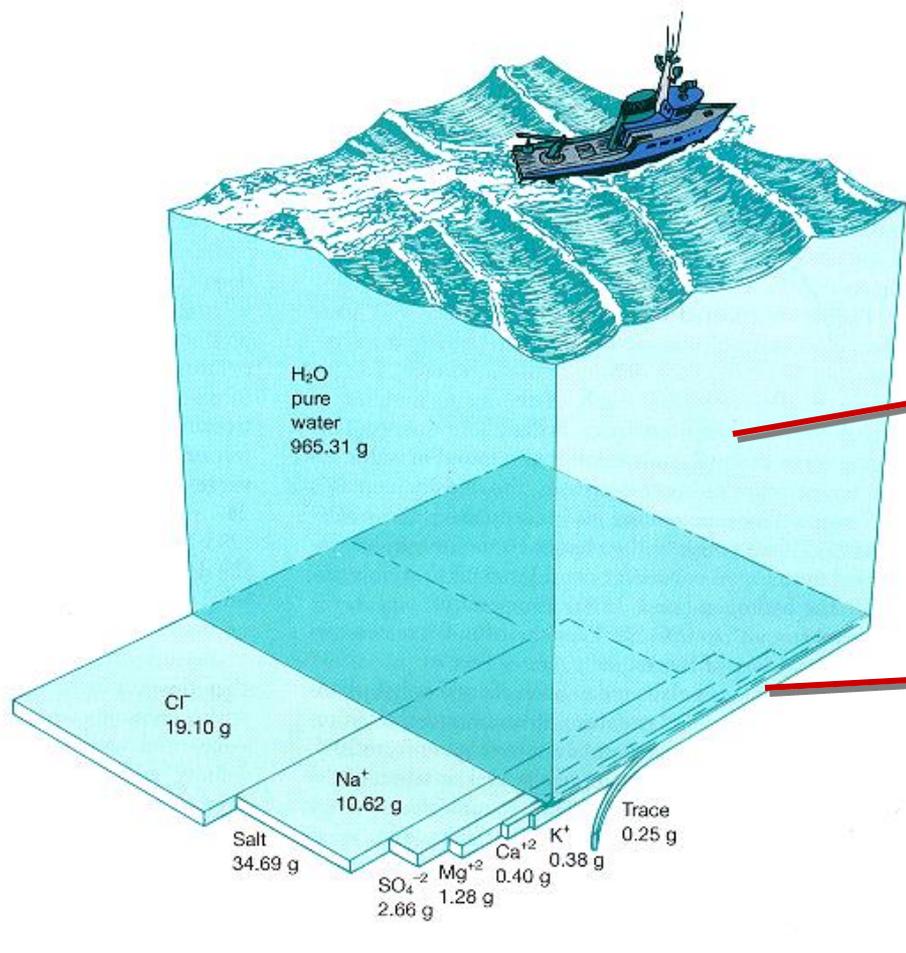
# Colóides



São partículas que atravessam o filtro ( $\varnothing = 0,45 \mu\text{m}$ )  
mas não são dissolvidas

Alguns íons polivalentes como  $\text{Fe}^{+3}$  e  $\text{Al}^{+3}$  hidrolizados  
são convertidos em complexos coloidais de hidróxidos





96,5 % H<sub>2</sub>O

3,5 % mat. disuoluidos

1 Kg { 965,31 g H<sub>2</sub>O  
34,69 g mat. disuoluidos

# **Materiais dissolvidos**

**Podem ser divididos em:**

**elementos maiores**

**$> 1 \text{ mg.L}^{-1}$  ~ 99,98% do total dissolvido**

**elementos menores**

**$< 1 \text{ mg.L}^{-1}$  ~ 0,02% do total dissolvido**

# Quais são os elementos maiores?

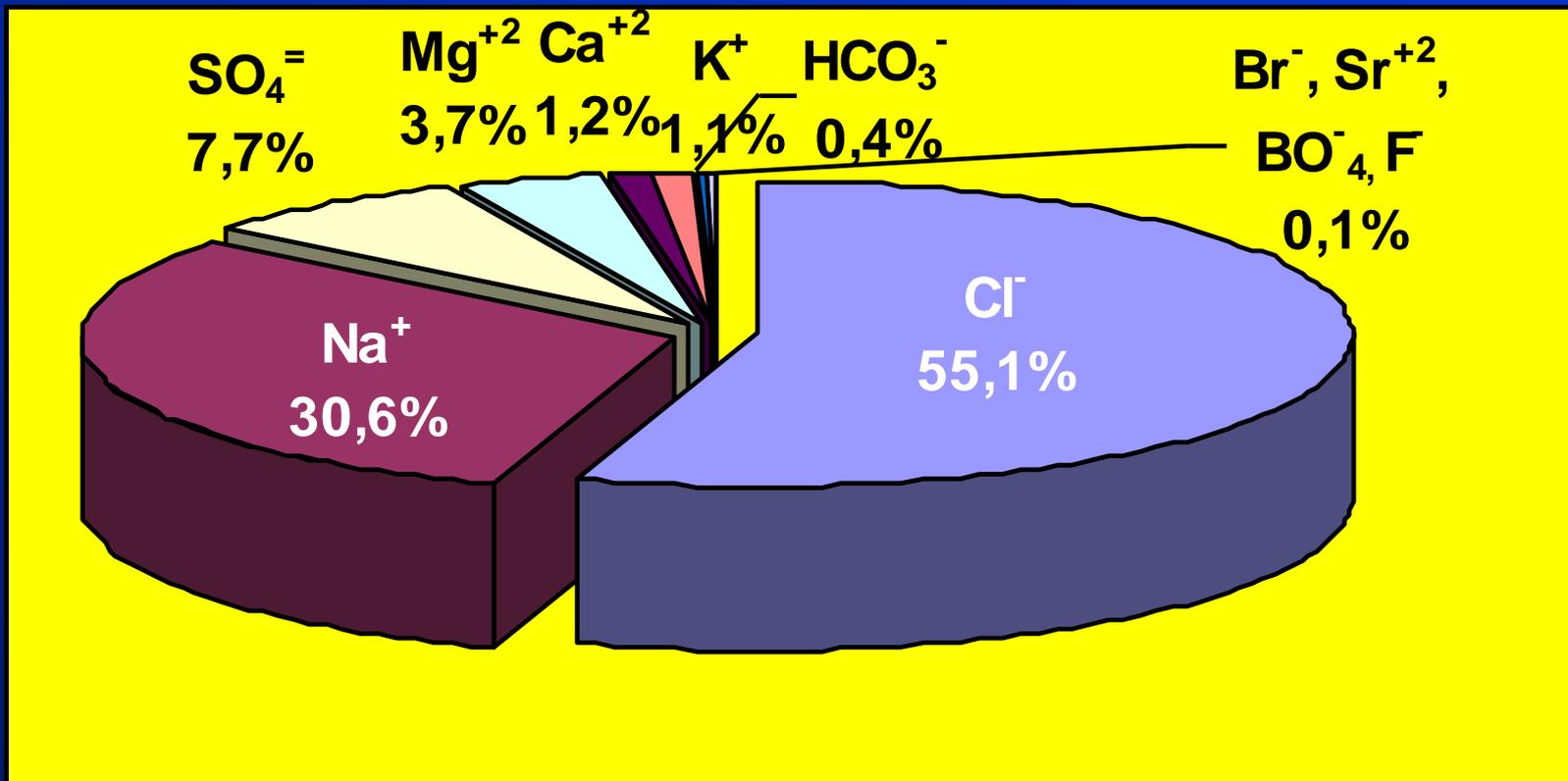
Cl – Na – S – Mg – Ca – K – C – Br – Sr – B - F

1	Cl – Na – S – Mg – Ca – K – C – Br – Sr – B - F																18
1,00794 1																	4,0026 2
1 H Hidrogênio	2											13	14	15	16	17	18 He Hélio
6,941(4) 3 Li Lítio	9,0122 4 Be Berílio											10,811(3) 5 B Boro	12,011 6 C Carbono	14,007 7 N Nitrogênio	15,999 8 O Oxigênio	18,998 9 F Fluor	20,180 10 Ne Neônio
22,990 11 Na Sódio	24,305 12 Mg Magnésio	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	26,982 13 Al Alumínio	28,086 14 Si Silício	30,974 15 P Fósforo	32,06(6) 16 S Enxofre	35,453 17 Cl Cloro	39,948 18 Ar Argônio
39,098 19 K Potássio	40,078(4) 20 Ca Cálcio	44,956 21 Sc Escândio	47,867 22 Ti Titânio	50,942 23 V Vanádio	51,996 24 Cr Cromo	54,938 25 Mn Manganês	55,845(3) 26 Fe Ferro	58,933 27 Co Cobalto	58,693 28 Ni Níquel	63,546(3) 29 Cu Cobre	65,39(2) 30 Zn Zinco	69,723 31 Ga Gálio	72,61(2) 32 Ge Germano	74,91(2) 33 As Arsênio	78,96(3) 34 Se Selênio	79,904 35 Br Bromo	83,80 36 Kr Criptônio
85,468 37 Rb Rubídio	87,62 38 Sr Estrôncio	88,906 39 Y Ítrio	91,224(2) 40 Zr Zircônio	92,906 41 Nb Níbio	95,94 42 Mo Molibdênio	98,906 43 Tc Técnetio	101,07(2) 44 Ru Rútenio	102,91 45 Rh Ródio	106,87 46 Pd Paládio	107,87 47 Ag Prata	112,41 48 Cd Cádmio	114,82 49 In Índio	118,71 50 Sn Estanho	121,76 51 Sb Antimônio	127,60 52 Te Telúrio	126,90 53 I Iodo	131,29(2) 54 Xe Xenônio
132,91 55 Cs Césio	137,33 56 Ba Bário	* 57	178,48(2) 72 Hf Háfnio	180,95 73 Ta Tântalo	183,84 74 W Tungstênio	186,21 75 Re Rênio	190,23(3) 76 Os Ósmio	192,22 77 Ir Írídio	195,08(3) 78 Pt Platina	196,97 79 Au Ouro	200,59(2) 80 Hg Mercúrio	204,38 81 Tl Tálio	207,96 82 Pb Chumbo	208,98 83 Bi Bismuto	209,98 84 Po Polônio	209,96 85 At Astato	222,02 86 Rn Radônio
223,02 87 Fr Francio	226,03 88 Ra Rádio	* 89	261 104 Rf Rutherfordio	262 105 Db Dubnio	266 106 Sg Seabórgio	267 107 Bh Bório	277 108 Hs Háscio	286 109 Mt Moscúvio	289 110 Ds Darmstádio	272 111 Rg Roentgênio	285 112 Cn Copernício	286 113 Nh Nihônio	289 114 Fl Flórvio	289 115 Mc Moscóvio	293 116 Lv Livermório	294 117 Ts Tenessino	294 118 Og Oganessônio
LANTANÍDEOS		138,91 57 La Lantânio	140,91 58 Ce Cério	140,91 59 Pr Praseodímio	144,24(2) 60 Nd Néodímio	146,91 61 Pm Promécio	150,36(3) 62 Sm Samaritônio	151,96 63 Eu Európio	157,25(3) 64 Gd Gadolínio	158,93 65 Tb Térbio	162,50(2) 66 Dy Dísprio	164,93 67 Ho Hólio	167,26(2) 68 Er Érbio	168,93 69 Tm Tulio	172,94(3) 70 Yb Ítrio	174,95 71 Lu Lutécio	
ACTINÍDEOS		227,03 89 Ac Actínio	232,04 90 Th Tório	231,04 91 Pa Protactínio	238,03 92 U Urânio	237,03 93 Np Neptúmio	239,05 94 Pu Plutônio	241,06 95 Am Americônio	244,06 96 Cm Cúrio	248,08 97 Bk Bérguio	252,08 98 Cf Califórnio	252,08 99 Es Einstatnio	257,10 100 Fm Férmio	258,10 101 Md Mendelívio	259,10 102 No Nobelônio	262,11 103 Lr Lawrêncio	

# Quais são os elementos maiores? 11/118

1																	18																		
1,00794	1																	4,0026	2																
1	H																	He																	
	Hidrogênio																	Helio																	
6,941(4)	3	9,0122	4													6,941(9)	5	12,011	6	14,007	7	16,005	8	18,998	9	20,180	10								
2	Li	Be													B	C	N	O	F	Ne															
	Lítio	Béριο													Boro	Carbono	Nitrogênio	Oxigênio	Fluor	Neônio															
22,990	11	24,305	12													26,982	13	28,086	14	30,974	15	32,06	16	35,45	17	39,948	18								
3	Na	Mg													Al	Si	P	S	Cl	Ar															
	Sódio	Magnésio													Alumínio	Silício	Fósforo	Enxofre	Cloro	Argônio															
39,098	19	40,078	20	44,956	21	47,867	22	50,942	23	51,996	24	54,938	25	55,845(3)	26	58,933	27	58,693	28	63,546(3)	29	65,39(2)	30	69,723	31	72,61(2)	32	74,91(2)	33	78,96(3)	34	79,904	35	83,80	36
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr																	
	Potássio	Cálcio	Escândio	Titânio	Vanádio	Cromo	Manganês	Ferro	Cobalto	Níquel	Cobre	Zinco	Gálio	germânio	Ársenio	Selênio	Bromo	Criptônio																	
85,468	37	87,62	38	88,906	39	91,224(2)	40	92,906	41	95,94	42	98,906	43	101,07(2)	44	102,91	45	106,07	46	107,07	47	112,41	48	114,82	49	118,71	50	121,76	51	127,6	52	126,90	53	131,29(2)	54
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe																	
	Rubídio	Estrôncio	Ítrio	Zircônio	Niobio	Molibdênio	Técnetio	Rúteno	Ródio	Paládio	Prata	Cádmio	Índio	Estanho	Antimônio	Telúrio	Iodo	Xenônio																	
132,91	55	137,33	56	178,48(2)	72	180,95	73	183,84	74	186,21	75	190,23(3)	76	192,22	77	195,08(3)	78	196,97	79	200,59(2)	80	204,38	81	207,96	82	208,98	83	209	84	209,98	85	222,02	86		
6	Cs	Ba	*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn																	
	Césio	Bário		Háfnio	Tântalo	Tungstênio	Rênio	Osmínio	Írídio	Platina	Ouro	Mercurio	Tlânio	Chumbo	Bismuto	Polônio	Astato	Rádônio																	
223,02	87	226,03	88	261	104	265	105	266	106	267	107	277	108	286	109	289	110	292	111	295	112	296	113	299	114	299	115	295	116	294	117	294	118		
7	Fr	Ra	☉	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og																	
	Frâncio	Rádio		Rutherfordio	Dubnio	Sérgio	Bório	Háseo	Moscúvio	Darmstádio	Roentgênio	Copernício	Nihônio	Fleróvio	Moscóvio	Livermório	Tennessio	Ognessônio																	
138,91	57	140,12	58	140,91	59	144,24(2)	60	146,92	61	150,36(3)	62	151,96	63	157,25(3)	64	158,93	65	162,50(3)	66	164,93	67	167,26(3)	68	168,93	69	172,94(3)	70	174,95	71						
	LANTANÍDEOS	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu																			
		Lantânio	Cério	Praseodímio	Néodímio	Praseolímio	Samário	Europio	Gadolínio	Térbio	Díproso	Hólio	Érbio	Tulio	Ítrio	Lúcio																			
227,03	89	232,04	90	231,04	91	238,03	92	237,05	93	238,05	94	241,06	95	244,06	96	246,06	97	252,08	98	252,08	99	257,10	100	259,10	101	259,10	102	262,11	103						
	ACTINÍDEOS	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr																			
		Actínio	Tório	Protactínio	Urânio	Neptúmio	Plutônio	Americio	Curcio	Berquélio	Califórnio	Einsteinio	Férmio	Mendelevio	Nobelio	Laurêncio																			

# elementos maiores



99,98%

Composição média da água do mar

# elementos maiores

íon	% relativa	mg.L <sup>-1</sup>
Cl <sup>-</sup>	55,07	19.355
Na <sup>+</sup>	30,61	10.760
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	7,72	2.712
Mg <sup>+2</sup>	3,68	1,294
Ca <sup>+2</sup>	1,18	413
K <sup>+</sup>	1,10	387
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,40	142
Br <sup>-</sup>	0,19	67
Sr <sup>+2</sup>	0,02	8
BO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0,01	4
F <sup>-</sup>	0,003	1,3

**99,983 %**

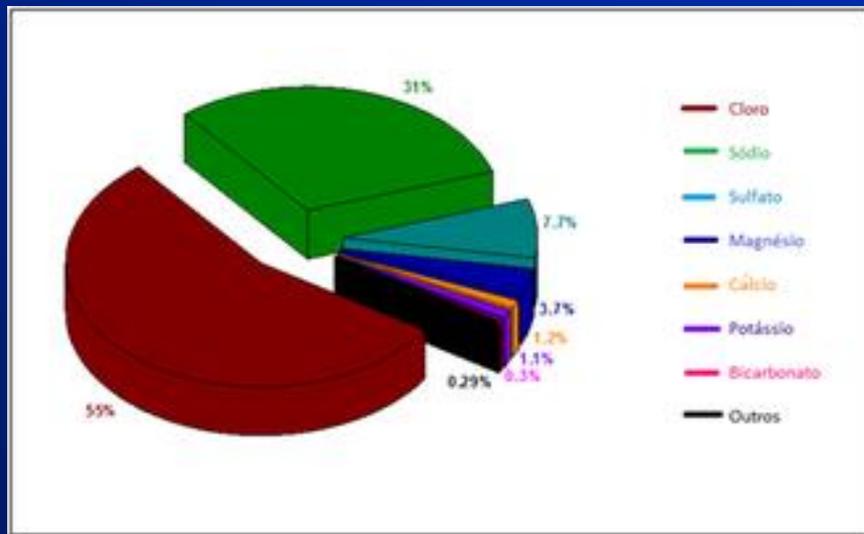
**35.143**

**~ 35 g (salinidade)**

# elementos maiores

Ocorrem em concentrações maiores que um miligrama por litro (1 mg/L)  
mantendo suas proporções constantes

**são elementos conservativos**



# elementos maiores

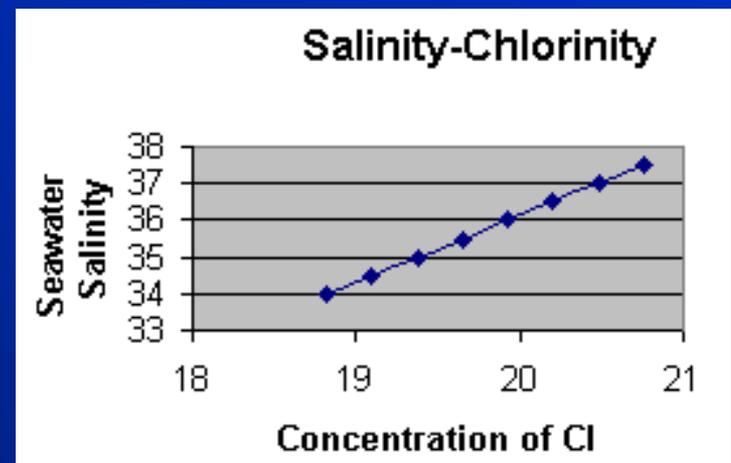
A composição relativa dos constituintes é constante

$$K_{Cl} = \frac{35}{19,353} = \frac{34}{18,800} = 1,8085$$

Princípio de Marcet

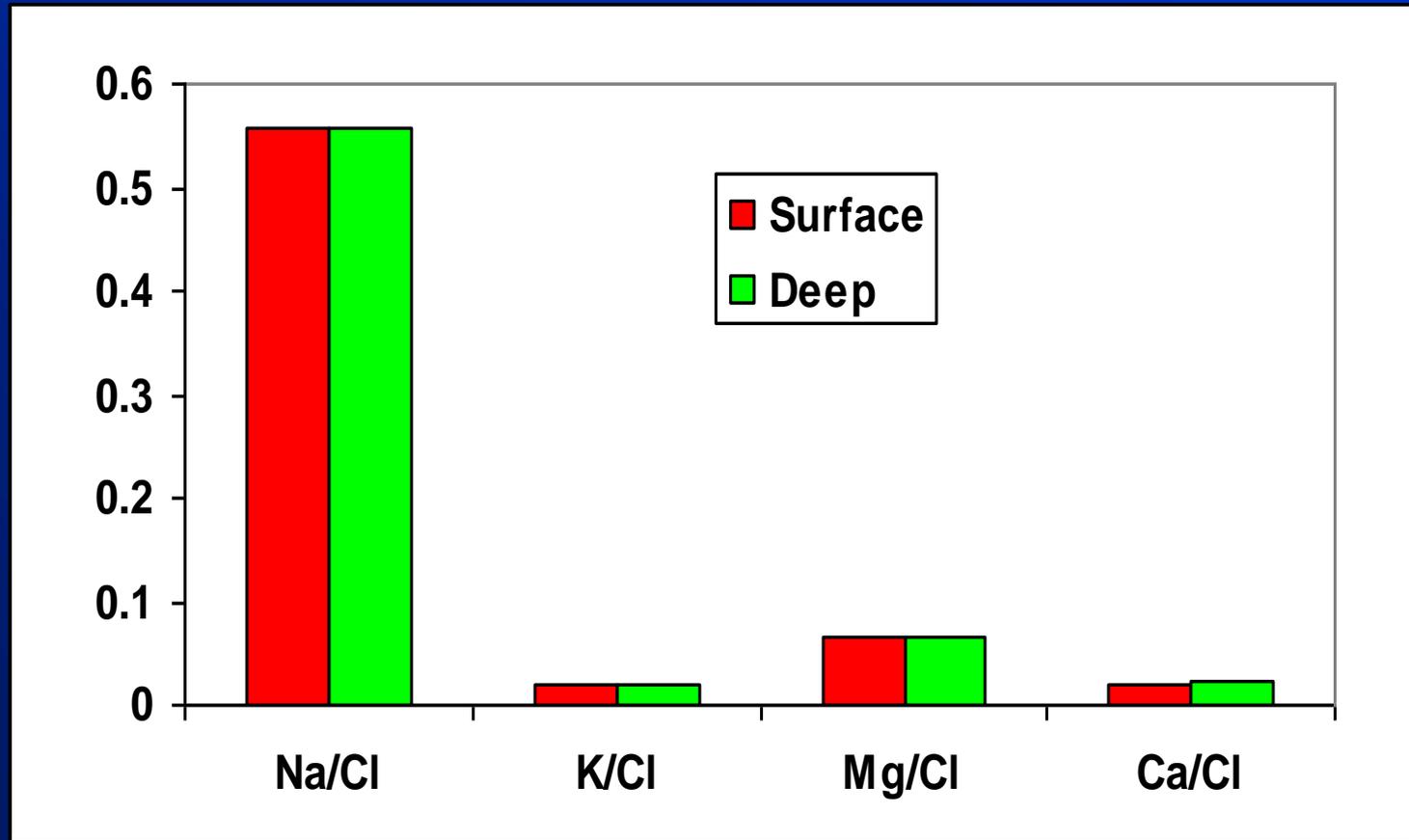
“regra das proporções relativas”

$$K = S/[X]$$



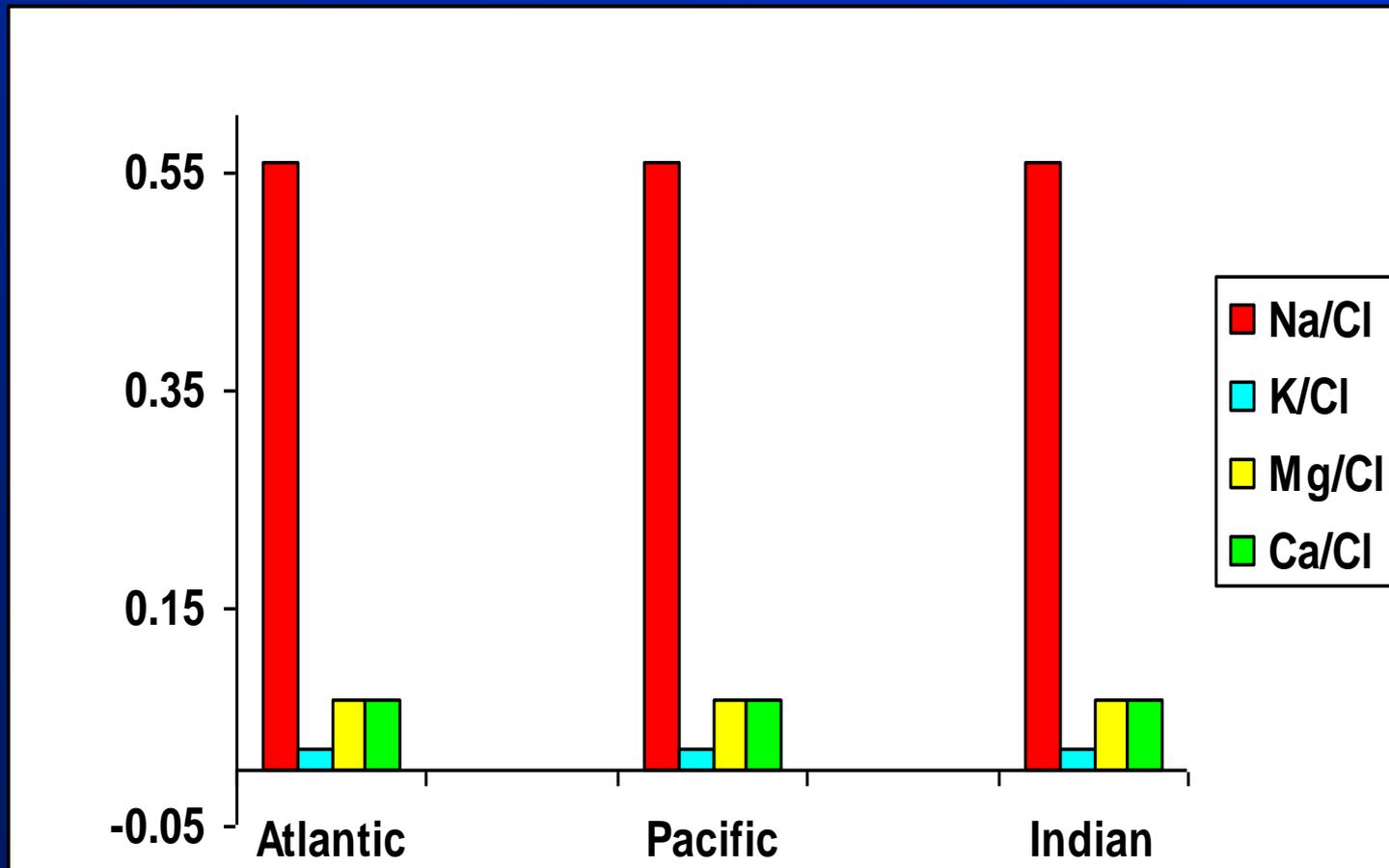
# elementos maiores

Tabela de K para vários elementos (cátions)



# elementos maiores

Tabela de K para vários elementos



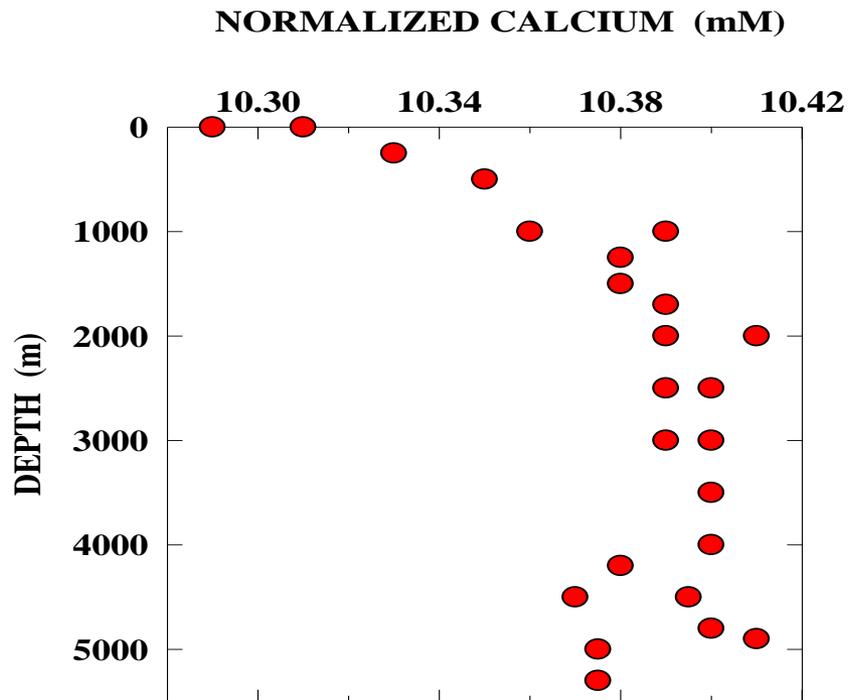
# elementos maiores

composição relativa dos elementos em águas oceânicas

$g_i/Cl(\text{‰})$

Cátion	superf	fundo	% variação
Na	0,5566	0,5568	$0,14 \pm 0.13$
Mg	0,06666	0,06667	$0,01 \pm 0.08$
K	0,0206	0,0206	$0,00 \pm 0.48$
Ca	0,02123	0,02133	<b><math>0,47 \pm 0.23</math></b>
Sr	0,00041	0,000415	$0,012 \pm 4.7$

# [Ca] no Oceano Pacífico



## Exceção: Cálcio

O cálcio pode ser retirado da água do mar em quantidades suficientes para alterar sua concentração

# elementos maiores

## Controle da distribuição

Como as taxas de reações químicas são relativamente lentas  
A distribuição é controlada principalmente pelos **processos físicos**:

- Evaporação
- Precipitação
- Congelamento
- Descongelamento
- Advecção (transporte horizontal) de massas d' água
- Difusão molecular
- Misturas turbulentas entre massas d' água c/ diferentes salinidades

# elementos maiores

condições onde os elementos maiores não são conservativos

## Estuários e mares internos

**Salinidade** ↓ → Influência das águas dos rios é considerável

Ex: Estuário Rio da Prata, Rio Amazonas, Mar Báltico

**Salinidade** ↑ → A evaporação da água é muito maior que a sua reposição

Ex: Mar Negro

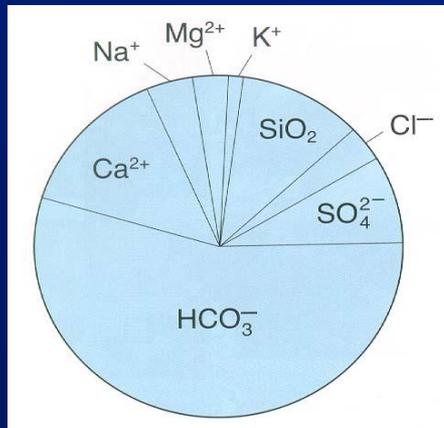
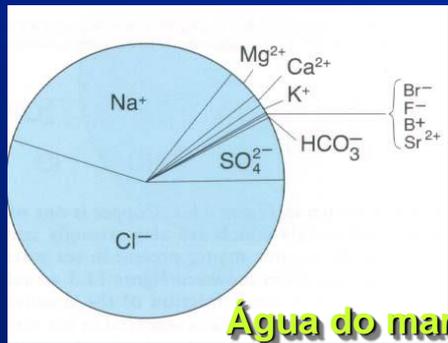
( Há contribuição do Rio Jordão e outros rios)



# elementos maiores

## Composição da água de mares e rios

Geralmente  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$   $\text{HCO}_3^-/\text{Cl}^-$   $\text{K}^+/\text{Na}^+$   $\text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$   $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$  são muito maiores nas águas dos rios que nas águas do mar



<i>elemento</i>	<i>água de mar</i> <i>moles/L</i>	<i>água de rio</i> <i>moles/L</i>	<u><i>água de mar</i></u> <u><i>água de rio</i></u>
<i>Na</i>	$5,0 \times 10^{-1}$	$1,0 \times 10^{-4}$	5000,0
<i>K</i>	$1,0 \times 10^{-1}$	$5,0 \times 10^{-5}$	200,0
<i>Mg</i>	$5,0 \times 10^{-2}$	$5,0 \times 10^{-5}$	1000,0
<i>Ca</i>	$1,0 \times 10^{-2}$	$2,5 \times 10^{-4}$	40,0
<i>Cl</i>	$5,0 \times 10^{-1}$	-	-
<i>S</i>	$3,0 \times 10^{-2}$	$6,0 \times 10^{-4}$	50,0
<i>O</i>	$2,0 \times 10^{-3}$	$3,0 \times 10^{-4}$	6,7
<i>N</i>	$3,0 \times 10^{-5}$	-	-
<i>P</i>	$2,0 \times 10^{-6}$	$4,0 \times 10^{-7}$	5,0
<i>Si</i>	$2,0 \times 10^{-4}$	$4,0 \times 10^{-4}$	0,5
<i>U</i>	$1,5 \times 10^{-8}$	$8,0 \times 10^{-10}$	18,8
<i>Br</i>	$1,0 \times 10^{-7}$	$2,0 \times 10^{-7}$	0,5

# condições onde os elementos maiores não são conservativos

Cl<sup>-</sup>

Na<sup>+</sup>

SO<sub>4</sub><sup>=</sup>

Mg<sup>+2</sup>

Ca<sup>+2</sup>

K<sup>+</sup>

HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>

Br<sup>-</sup>

Sr<sup>+2</sup>

BO<sub>4</sub><sup>-</sup>

F<sup>-</sup>

congelamento da água do mar

A concentração dos sais aumenta devido ao congelamento da água do mar

SO<sub>4</sub><sup>=</sup>/Cl<sup>-</sup> ↓

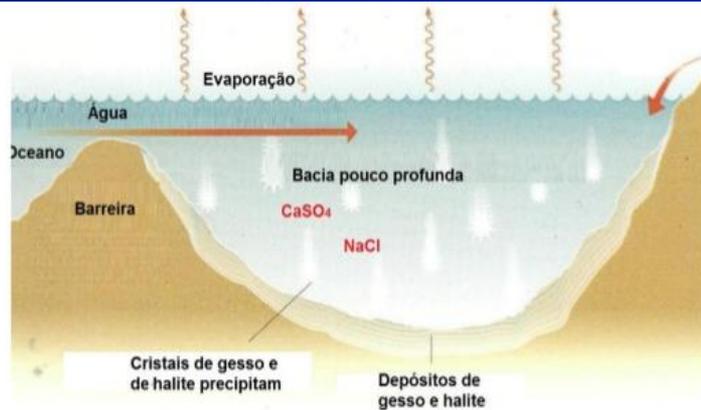
Incorporado na água do mar congelada



**condições onde os elementos maiores não são conservativos**

## Formação de evaporitos ( ou depósito salino)

A evaporação em águas rasas favorece a formação de evaporitos



**taxas diferentes de deposição**

$\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{Mg}$  sais

# condições onde os elementos maiores não são conservativos

dissolução e precipitação de carbonatos de cálcio

O cálcio pode ser retirado da água do mar em quantidades suficientes para alterar a relação  $\text{Ca}^{++}/\text{Cl}^-$

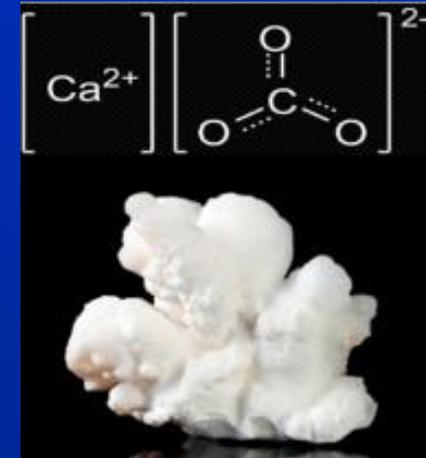
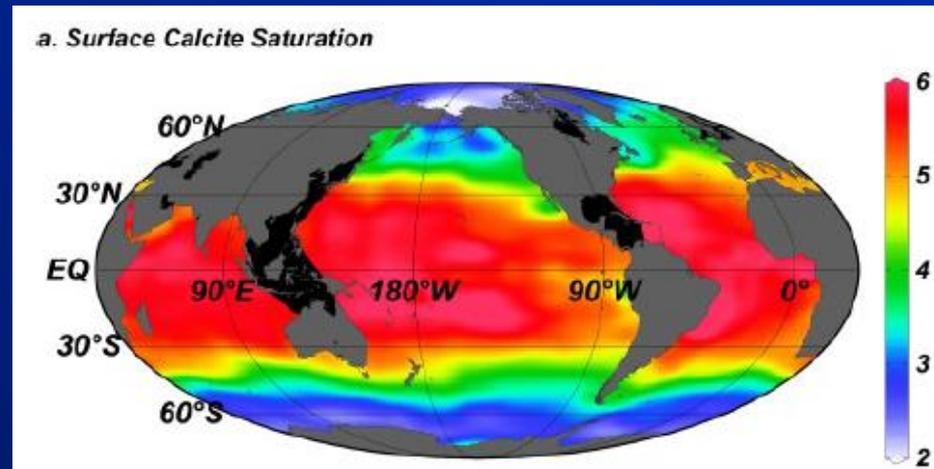
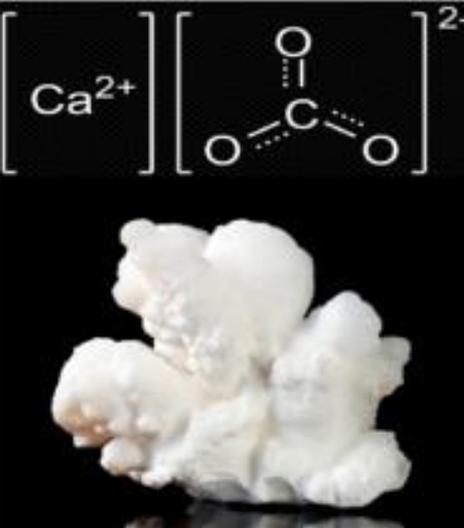
(Temperatura  $\uparrow$  solubilidade do  $\text{CaCO}_3$   $\downarrow$ )

águas quentes

$\text{Ca}^{++}/\text{Cl}^- \downarrow$

águas frias

$\text{Ca}^{++}/\text{Cl}^- \uparrow$



# condições onde os elementos maiores não são conservativos

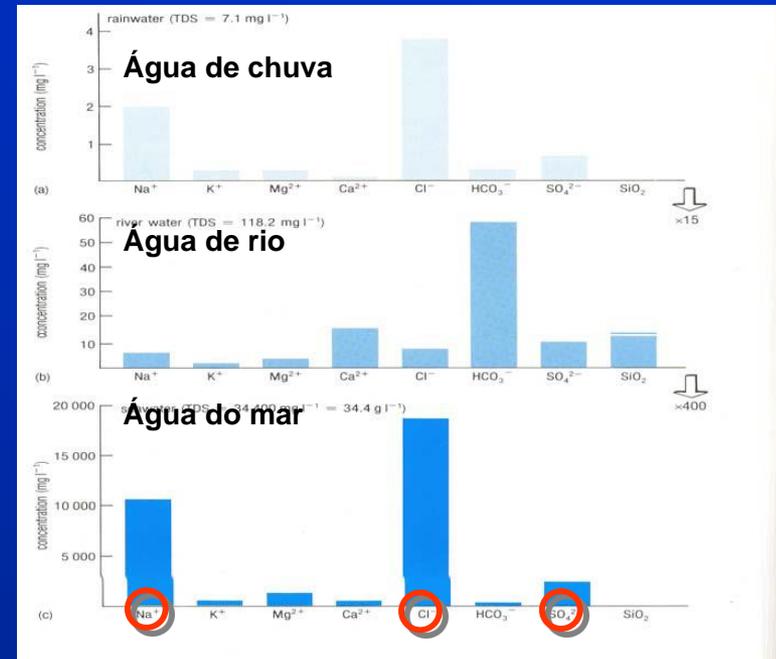
processos de troca c/ a atmosfera

Liberação de íons para a atmosfera na forma de aerossol.

~  $10 \times 10^9$  ton íons/ano para a atmosfera

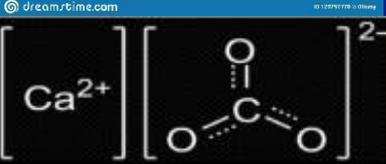
Os principais são:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$

Importância: nucleação de nuvens



processos de troca com sedimentos

A  $[Mg^{++}]$  em águas intersticiais de sedimento diminuí pela reação com o  $CaCO_3$  formando a dolomita  $CaMg(CO_3)_2$



# condições onde os elementos maiores não são conservativos

## processos de troca com sedimentos

A  $[K^+]$  tende a aumentar um pouco com a hidrólise dos feldspatos



Feldspato

mica



+ 2 H<sup>+</sup>



kaolinita



Ação das argilas – membrana permeável para certos íons

# condições onde os elementos maiores não são conservativos

Cl<sup>-</sup>

Na<sup>+</sup>

SO<sub>4</sub><sup>=</sup>

Mg<sup>+2</sup>

Ca<sup>+2</sup>

K<sup>+</sup>

HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>

Br<sup>-</sup>

Sr<sup>+2</sup>

BO<sub>4</sub><sup>-</sup>

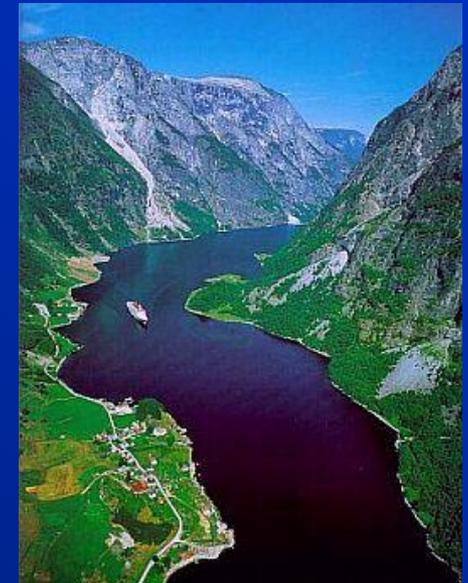
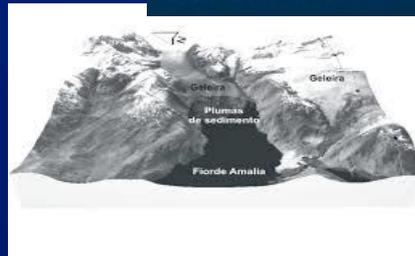
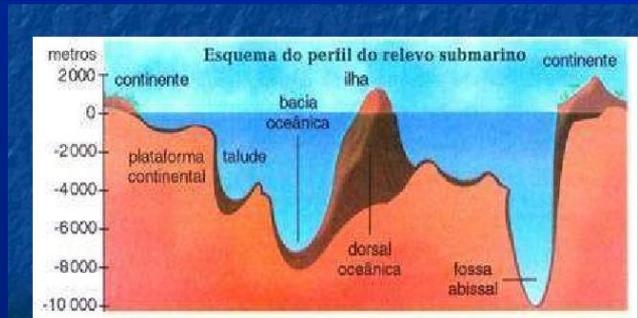
F<sup>-</sup>

## bacias anóxicas

A decomposição de matéria orgânica reduz a [O<sub>2</sub>] e pEH favorecendo o desenvolvimento das bactérias redutoras de sulfato.



Ex: fiordes (Noruega, Groenlândia, Chile e Nova Zelândia)



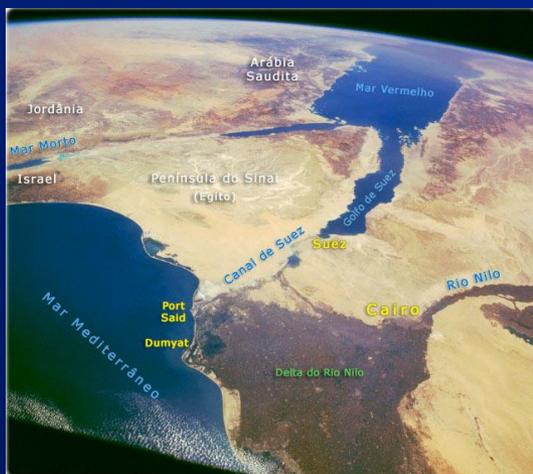
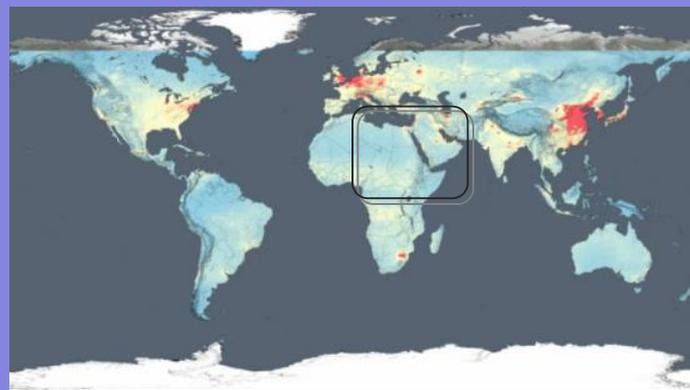
# condições onde os elementos maiores não são conservativos

mistura com salmoras geológicas

Águas muito salinas e quentes podem ocorrer através de fissuras no solo oceânico.

Ex: **Mar Vermelho**

S = 255-326 e T = 45-58°C  
a 2000 m



$Mg^{+2}/Cl^-$ ,  $SO_4^{-2}/Cl^-$ ,  $F/Cl^-$ ,  $Br/Cl^-$

menores que o esperados

Transporte de sais ocorre por

difusão molecular

Outro ex: **Golfo do México**

# condições onde os elementos maiores não são conservativos

Cl<sup>-</sup>

Na<sup>+</sup>

SO<sub>4</sub><sup>=</sup>

Mg<sup>+2</sup>

Ca<sup>+2</sup>

K<sup>+</sup>

HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>

Br<sup>-</sup>

Sr<sup>+2</sup>

BO<sub>3</sub><sup>-</sup>

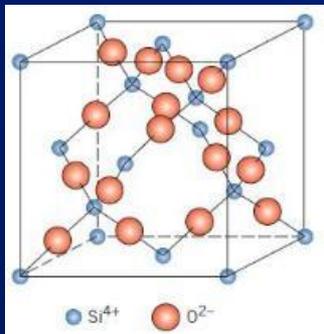
F<sup>-</sup>

## vulcanismo submarino

Tem pouco efeito nas proporções relativas dos elementos maiores, apesar de contribuir como aumento de sílica dissolvida.

Pode alterar a relação F<sup>-</sup>/Cl<sup>-</sup> devido a injeção de gases vulcânicos ricos em fluoretos

F/Cl ~ 8-9 x 10<sup>-5</sup> (normal 6,7 x 10<sup>-5</sup>) no Atlântico Médio



# Quais são os elementos menores?

1												13	14	15	16	17	18																		
1,00794	1																	4,0026	2																
H																		He																	
Hidrogênio																		He																	
6,941(4)	3	9,0122	4												10,811(5)	5	12,011	6	14,007	7	15,999	8	18,998	9	20,180	10									
Li		Be													B	C	N	O	F	Ne															
Lítio		Berílio													Boro	Carbono	Nitrogênio	Oxigênio	Fluor	Neônio															
22,990	11	24,305	12	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	26,982	13	28,085	14	30,974	15	32,06(6)	16	35,453	17	39,948	18										
Na		Mg												Al	Si	P	S	Cl	Ar																
Sódio		Magnésio												Alumínio	Silício	Fósforo	Zenxoforo	Cloro	Argônio																
39,098	19	40,078(4)	20	44,956	21	47,867	22	50,942	23	51,996	24	54,938	25	55,845(3)	26	58,933	27	58,933	28	63,546(3)	29	65,39(2)	30	69,723	31	72,61(2)	32	74,61(2)	33	78,96(3)	34	79,904	35	83,80	36
K		Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr																	
Potássio		Calcio	Escândio	Titânio	Vanádio	Cromo	Manganês	Ferro	Cobalto	Níquel	Cobre	Zinco	Gálio	germânio	Ársênio	Selênio	Bromo	Criptônio																	
85,093	37	87,62	38	88,906	39	91,224(2)	40	92,906	41	95,94	42	95,906	43	101,07(2)	44	102,91	45	106,46	46	107,07	47	112,41	48	114,82	49	118,71	50	121,76	51	127,60	52	126,905	53	131,29(2)	54
Rb		Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe																	
Rubídio		Estrôncio	Ítrio	Zircônio	Niobio	Molibdênio	Técncio	Rútenio	Ródio	Paládio	Prata	Cádmio	Índio	Estanho	Antimônio	Telúrio	Iodo	Xenônio																	
132,91	55	137,33	56	178,49(2)	72	180,95	73	183,84	74	186,21	75	190,23(3)	76	192,22	77	195,08(3)	78	196,97	79	200,59(2)	80	204,38	81	207,98	82	208,98	83	208,98	84	209,99	85	222,02	86		
Cs		Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn																	
Césio		Bário		Háfnio	Tântalo	Tungstênio	Rênio	Osmio	Írídio	Platina	Ouro	Mercurio	Tlânio	Chumbo	Bismuto	Polônio	Astato	Rádônio																	
223,02	87	226,03	88	265	104	265	105	266	106	267	107	277	108	288	109	288	110	272	111	285	112	286	113	289	114	288	115	283	116	284	117	284	118		
Fr		Ra		Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og																	
Frâncio		Rádio		Rutherfordio	Dubnio	Seabórgio	Bório	Háscio	Moscúvio	Darmstádio	Roentgênio	Copernício	Nihônio	Fleróvio	Moscóvio	Livermório	Tennessio	Oganessônio																	
LANTANÍDEOS			138,91	57	140,12	58	140,91	59	144,24(2)	60	146,92	61	150,36(3)	62	151,96	63	157,25(3)	64	158,93	65	162,50(2)	66	164,93	67	167,26(2)	68	168,93	69	172,94(2)	70	174,99	71			
			La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu																		
			Lantânio	Cério	Praseodímio	Néodímio	Promécio	Samário	Európio	Gadolínio	Térbio	Disprósio	Holmio	Érbio	Tulio	Ítrio	Lúcio																		
ACTINÍDEOS			227,03	89	232,04	90	231,04	91	238,03	92	237,05	93	239,05	94	241,06	95	244,06	96	248,08	97	252,08	98	262,08	99	267,10	100	268,10	101	268,10	102	262,11	103			
			Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr																		
			Actínio	Tório	Protactínio	Urânio	Neptúnio	Plutônio	Améριο	Cúrio	Bérguímio	Califórnio	Einsteinio	Férmio	Mendelevio	Nobelio	Lawrêncio																		

# elementos menores

**< 1,0 mg/L**

Representam ~ 0,02% do total dissolvido na água do mar

- **nutrientes**
- **traços**

**A maior parte não é conservativa**

# nutrientes

são constituídos por N, P e Si

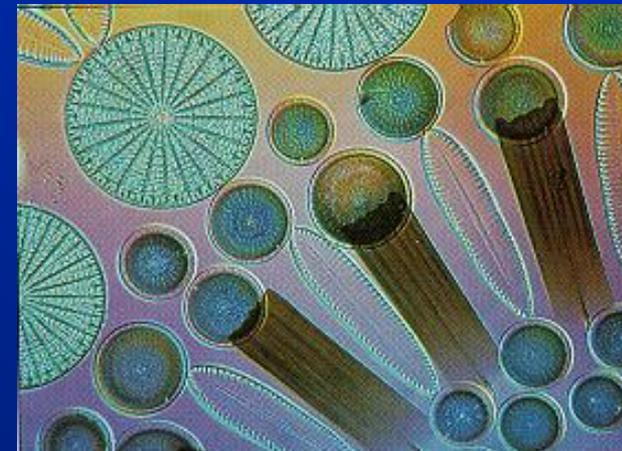
constituíntes da matéria orgânica viva

- proteínas (N)

- ATP (P)

- esqueletos diatomáceas (Si)

1																	18	
1	1.00794	1														2		
	H															He		
2	3	4											5	6	7	8	9	10
	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	11	12	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
	Cs	Ba	*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	87	88	89	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118
	Fr	Ra	**	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og
	LANTANÍDEOS		57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	
		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
	ACTÍNIDOS		89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	
		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr		



# traços

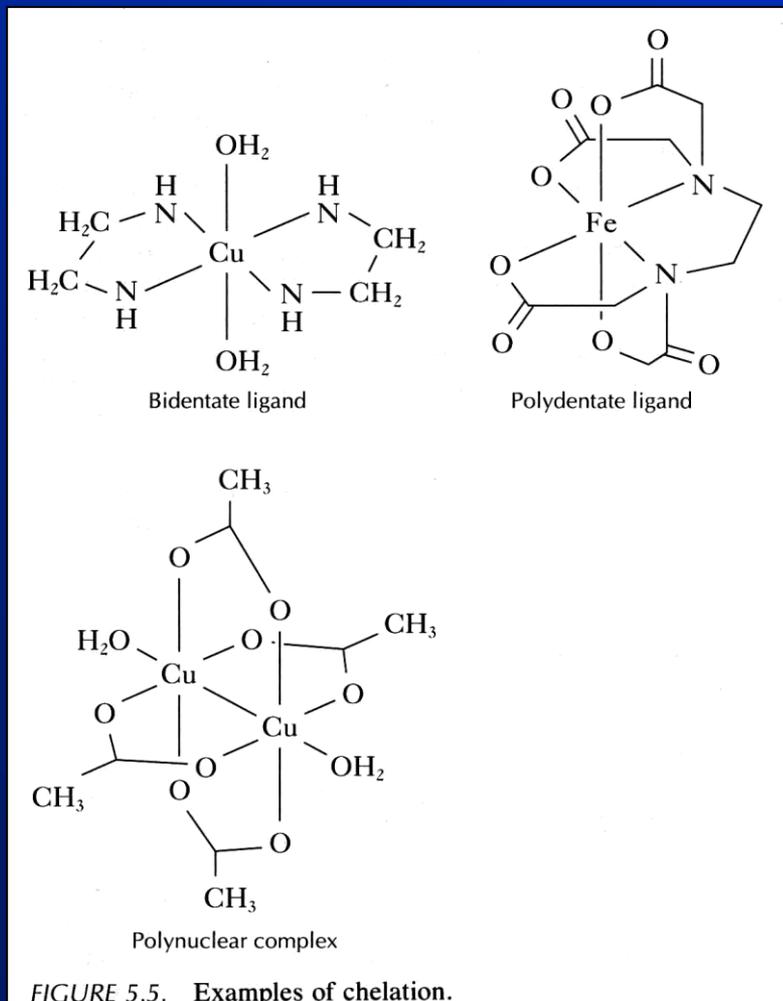
são constituídos pela maioria dos metais

The image shows a periodic table of elements. The elements in the iron group (Fe, Co, Ni, Cu, Zn) are highlighted in red. The iron atom (Fe) is circled in red. The periodic table is organized into groups (columns) and periods (rows). The groups are numbered 1 to 18. The elements are color-coded by groups: Group 1 (purple), Group 2 (blue), Groups 3-10 (yellow), Group 11 (orange), Group 12 (green), Group 13 (red), Group 14 (orange), Group 15 (green), Group 16 (blue), Group 17 (purple), and Group 18 (blue). The elements are labeled with their chemical symbols and names in Portuguese.

1											13	14	15	16	17	18	
1	1											13	14	15	16	17	2
1.00784 1 H Hidrogênio																4.00260 2 He Hélio	
6.941 3 Li Lítio	9.0122 4 Be Berílio											10.811 5 B Boro	12.011 6 C Carbono	14.003 7 N Nitrogênio	15.999 8 O Oxigênio	18.998 9 F Fluor	39.948 10 Ne Neônio
22.990 11 Na Sódio	24.305 12 Mg Magnésio	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	26.982 13 Al Alumínio	28.086 14 Si Silício	30.974 15 P Fósforo	32.06 16 S Enxofre	35.45 17 Cl Cloro	39.948 18 Ar Argônio
39.098 19 K Potássio	40.078 20 Ca Cálcio	44.956 21 Sc Escândio	47.867 22 Ti Titânio	50.942 23 V Vanádio	51.996 24 Cr Cromo	54.938 25 Mn Manganês	58.933 26 Fe Ferro	58.933 27 Co Cobalto	58.933 28 Ni Níquel	63.546 29 Cu Cobre	65.380 30 Zn Zinco	69.723 31 Ga Gálio	72.64 32 Ge Germânio	74.922 33 As Arsênio	78.972 34 Se Selênio	79.904 35 Br Bromo	83.904 36 Kr Criptônio
85.468 37 Rb Rubídio	87.62 38 Sr Estrôncio	88.906 39 Y Ítrio	91.224 40 Zr Zircônio	92.906 41 Nb Níbio	95.94 42 Mo Molibdênio	98.906 43 Tc Técnetio	101.07 44 Ru Ródio	102.91 45 Rh Ródio	106.42 46 Pd Paládio	107.87 47 Ag Prata	112.41 48 Cd Cádmio	114.82 49 In Índio	118.71 50 Sn Estanho	121.76 51 Sb Antimônio	127.60 52 Te Telúrio	127.60 53 I Iodo	131.29 54 Xe Xenônio
132.91 55 Cs Césio	137.33 56 Ba Bário	*	178.48 72 Hf Hafnício	180.95 73 Ta Tântalo	183.84 74 W Wolfrâmio	186.21 75 Re Rênio	186.21 76 Os Osmídio	188.91 77 Ir Írídio	193.22 78 Pt Platina	196.97 79 Au Ouro	200.59 80 Hg Mercúrio	204.38 81 Tl Talhe	208.98 82 Pb Chumbo	208.98 83 Bi Bismuto	208.98 84 Po Polônio	208.98 85 At Astato	222.02 86 Rn Radônio
223.02 87 Fr Frâncio	226.02 88 Ra Rádio	**	300 104 Rf Rifermio	300 105 Db Dubnônio	300 106 Sg Seabérgio	301 107 Bh Bohrio	301 108 Hs Háscio	301 109 Mt Moscóvio	301 110 Ds Darmstádio	301 111 Rg Roentgênio	301 112 Cn Copernício	301 113 Nh Nihônio	301 114 Fl Fleróvio	301 115 Mc Moscóvio	301 116 Lv Livermório	301 117 Ts Tenessio	301 118 Og Oganessônio
LANTANÍDEOS		138.91 57 La Lantânio	140.91 58 Ce Cério	140.91 59 Pr Praseodímio	140.91 60 Nd Néodímio	140.91 61 Pm Pmécio	140.91 62 Sm Samaritelo	140.91 63 Eu Europário	140.91 64 Gd Gadolínio	140.91 65 Tb Terbório	140.91 66 Dy Dísmio	140.91 67 Ho Hólio	140.91 68 Er Érbio	140.91 69 Tm Tulio	140.91 70 Yb Ítrio	140.91 71 Lu Lutécio	
ACTÍNÍDEOS		227.03 89 Ac Actínio	227.03 90 Th Tório	227.03 91 Pa Protactínio	227.03 92 U Urânio	227.03 93 Np Neptúncio	227.03 94 Pu Plutônio	227.03 95 Am Americônio	227.03 96 Cm Cúrio	227.03 97 Bk Berkelônio	227.03 98 Cf Califórnio	227.03 99 Es Einsteinônio	227.03 100 Fm Fermônio	227.03 101 Md Mendelevônio	227.03 102 No Nobelônio	227.03 103 Lr Lawrencônio	

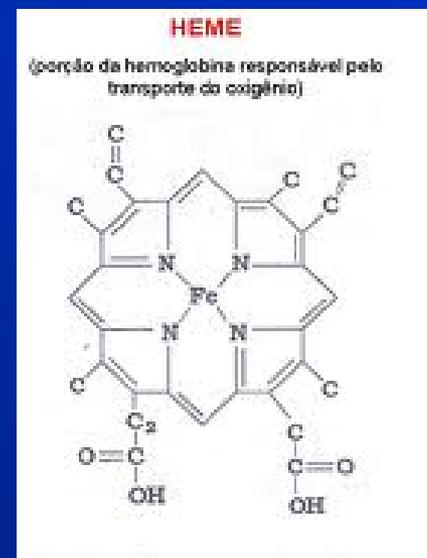
ferro  
manganês  
cobre  
cobalto  
zinco  
vanádio  
etc...

# traços



**Fe (Fe<sup>3+</sup>)**

**Um dos mais estudados**  
**Importância biológica**



**Figura: Exemplos de complexos com metais de transição.**

# elementos menores

<i>elemento</i>	<i>abundância (mg/L)</i>
<i>Si</i>	3,0000
<i>N</i>	0,5000
<i>P</i>	0,0700
<i>Fe</i>	0,0100
<i>Mn</i>	0,0020
<i>Zn</i>	0,0100
<i>Cu</i>	0,0030
<i>Co</i>	0,0005
<i>V</i>	0,0020



elemento menor?

Por quê?

**[Si] > 1 mg/L**

# elementos menores

## Processos de introdução no oceano

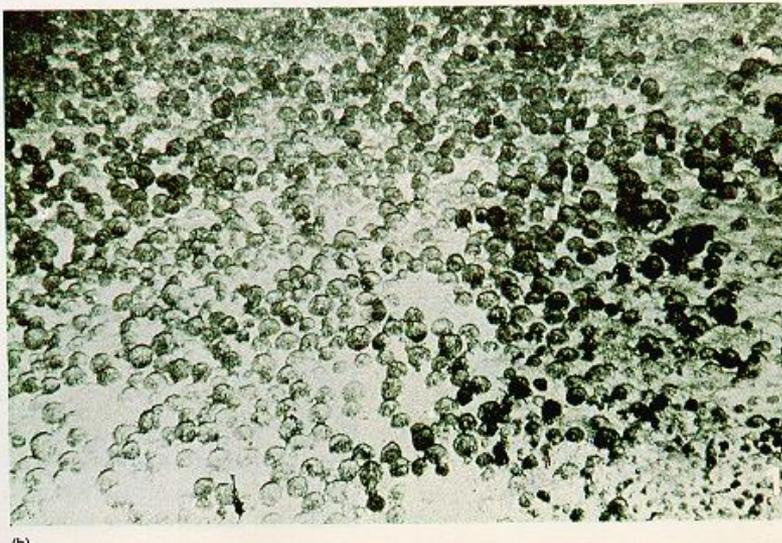
- lixiviação dos continentes
- transporte pelos aerossóis atmosféricos (Hg)
- vulcanismo submarino (Co, Ni no Pacífico)
- atividade humana (Pb)

# Fatores que alteram a [elementos menores]

## a) Interação entre elementos-traço e precipitados



(a)



(b)

adsorção em precipitados inorgânicos  
depende pH e pEh

Ex: Al, Fe, Cr, Ti, Be

- **b<sub>1</sub>) ambiente oxidante**

A formação dos nódulos de ferro-manganês remove o Fe e Mn dos oceanos → [Me] ↓

- **b<sub>2</sub>) ambiente redutor**

formação de H<sub>2</sub>S com ausência de O<sub>2</sub>

Metais estão nas suas valências inferiores e pptam como sulfetos

→ [Me] ↓

# Fatores que alteram [elementos menores]

## b) Interação entre elementos-traço e organismos marinhos

Os organismos marinhos podem concentrar  $10^6$  vezes a concentração desses elementos na água do mar

- afinidade por cátions  $Me^{+4} > Me^{+3} > Me^{+2} > Me^{+}$   
Ex: Plâncton:  $Fe^{+3} > Al^{+3} > Ti^{+3} > Cr^{+3}$   
alga marrom:  $Fe^{+3} > La^{+3} > Cr^{+3} > Ga^{+3} > Al^{+3} > Pb^{+2}$
- elementos mais pesados são mais assimilados que os menos pesados
- Na, Mg, Br, F e S = fator de concentração  $\sim 1$

geralmente não concentram ânions

Exceções:  $NO_3^-$  e  $PO_4^{3-}$  são concentrados

$Br^- < I^-$  e  $F^- > Cl^-$  (é rejeitado)

# Fatores que alteram [elementos menores]

## b) Interação entre elementos-traço e organismos marinhos

ordem de concentração: estômago > rim > fígado > coração > músculo > carapaça



Em vieira comum

Fator de concentração



glândula digestiva

>

músculo

>

carapaça

$10^6$

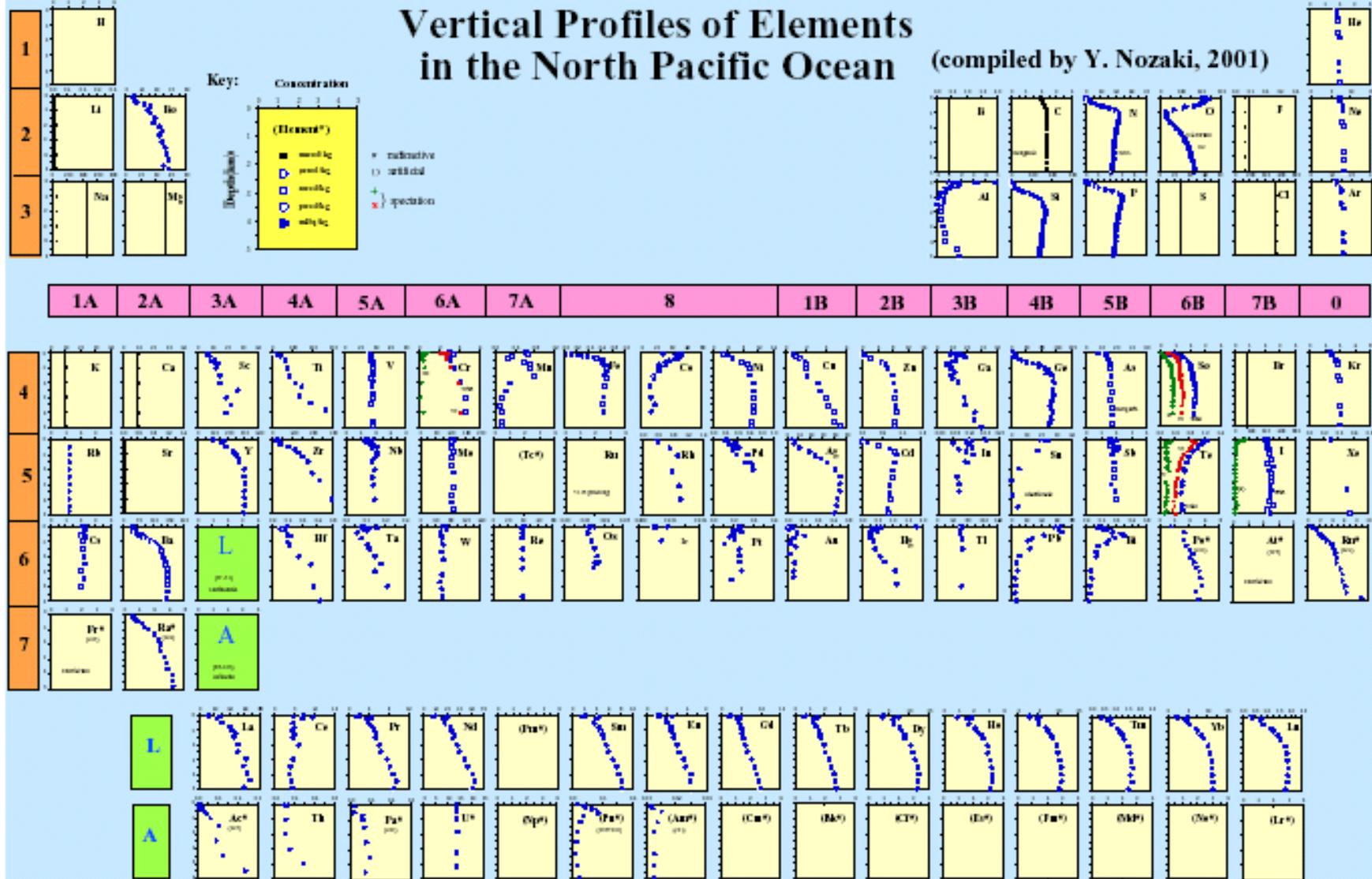
$10^3$

10

Formam quelatos mais estáveis com metais de transição

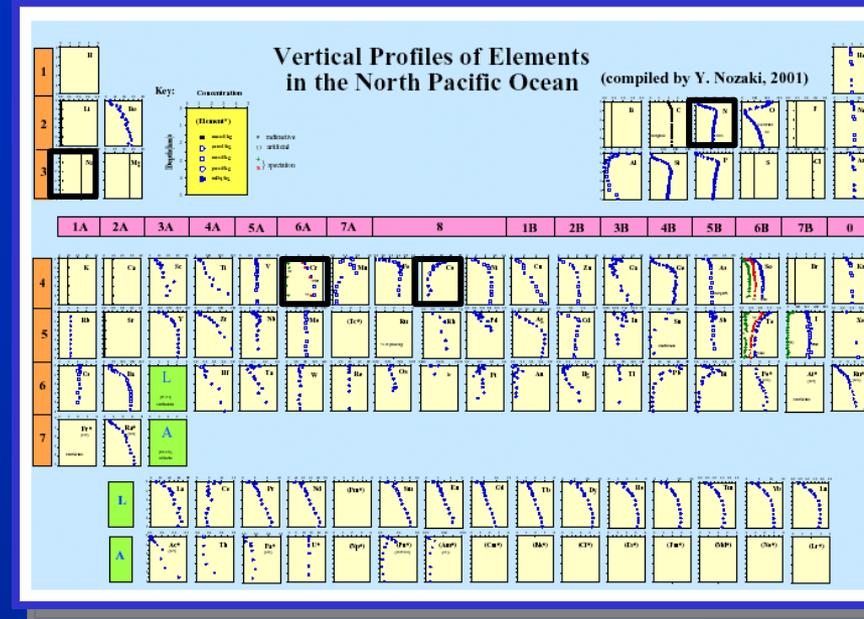
Adsorção pelas superfícies mucosas (contém glicoproteínas)

# Tabela periódica proposta por Nozaki



# Classificação de Nozaki

1. Conservativos (elementos maiores)
2. Nutrientes [sup] < [fundo]  
(N, P, Si, Ni, Zn, Cd, Ba, Ge)
3. removidos pelas partículas [sup] > [fundo]  
(Al, Mn, Co, Ce, Pb, Bi, Th)
4. Redox controlado (+ 1 estado de oxidação)  
(Cr, As, Se, I, Te, Pu, etc)



Alguns elementos podem pertencer a mais de uma categoria  
Ex: Be, Cu, Ga, Zr são nutrientes e redox controlado

## O que determina a [elementos] no oceano?

As concentrações dos elementos são determinadas por:

- abundância na crosta terrestre
- comportamento nos ciclos biogeoquímicos

elementos	abundância na crosta terrestre (%)	concentração na água do mar (mg.L <sup>-1</sup> )
Na	2,4	10.770
Cl	0,013	19.500
Mg	2,3	1.290
K	2,1	380
S (SO <sub>4</sub> )	0,026	905
Ca	4,1	412
Mn	0,5	0,0002
Pb	0,001	0,0000005
Fe	2,4	0,002
Al	6,0	0,002

# Tempo de Residência

O tempo médio ( $\tau$ ) que um elemento permanece na água do mar é definido por:

$$\tau = \frac{A}{d_A/d_t}$$

onde:

$A$  = massa total do elemento no mar

$d_A/d_t$  = massa introduzida ou removida do mar  
em 1 ano

Determina um balanço na concentração do elemento no oceano e depende principalmente da reatividade química deste elemento

## quanto tempo os elementos químicos permanecem na água do mar???

$\tau_{\text{alto}}$  → baixa reatividade

$\tau_{\text{baixo}}$  → alta reatividade

O tempo de residência também está relacionado com o tempo de mistura completa da coluna de água.

Em águas profundas é estimada em ~ 500-1000 anos

## tempo de residência dos elementos no oceano

elementos	tempo de residência (anos)
Na	$2,6 \cdot 10^8$
Mg	$4,5 \cdot 10^7$
Sr	$1,9 \cdot 10^7$
Li	$1,9 \cdot 10^7$
K	$1,1 \cdot 10^7$
Ca	$8,0 \cdot 10^6$
Zn	$1,8 \cdot 10^5$
Cu	$5,0 \cdot 10^4$
Co	$1,8 \cdot 10^4$
V	$1,0 \cdot 10^4$
Si	$8,0 \cdot 10^3$
Mn	$1,4 \cdot 10^3$
Cr	$3,5 \cdot 10^2$
Th	$3,4 \cdot 10^2$
Ti	$1,6 \cdot 10^2$
Fe	$1,4 \cdot 10^2$
Al	$1,0 \cdot 10^2$

**Cálcio é muito reativo e tem alto tempo de residência. Por quê?**

**O Cálcio é precipitado e dissolvido muitas vezes antes de ser incorporado ao sedimento ou organismos**

**Formam hidróxidos insolúveis**



## Como se determina o tempo de residência dos elementos no oceano?

O tempo de residência de um elemento no oceano pode ser obtido

- a) A partir da composição média da água de todos os rios do mundo e da soma das suas descargas anuais
- b) Dados da taxa de sedimentação média anual do elemento

Apesar das dificuldades para quantificar todos os fatores envolvidos no modelo, os dois métodos dão resultados ~ compatíveis entre si.

## tempo de residência dos elementos no oceano (milhões de anos)

elementos	"Input" rios	Sedimentação
Na	210	260
Mg	22	45
Li	12	19
K	10	11
Sr	10	19
Ca	1	8
Si	0,935	0,01
Ni	0,015	0,018
Pb	0,00056	0,002
Al	0,0031	0,0001

A concordância entre os dois modelos é bem razoável considerando a simplicidade do modelo para os oceanos

Fonte: Millero, 1996

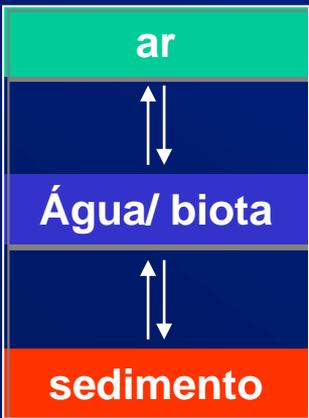
Os valores variam 6 ordens de magnitude  
- Na ( $2,6 \cdot 10^8$  anos) ao Al (100 anos) -

# tempo de residência dos elementos no oceano

## Trabalhos pioneiros de Barth (1952)

considerou o oceano como um reservatório simples

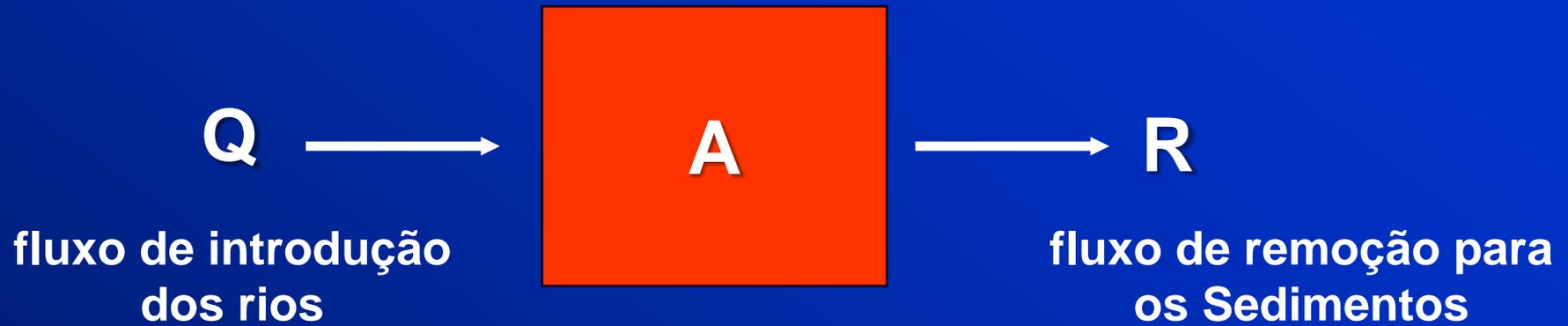
A = quantidade do elemento no mar  
Q = fluxo do elemento adicionado ao mar  
R = fluxo do elemento removido do mar



A quantidade do elemento (A) permanecerá CONSTANTE se o mesmo for adicionado ao mar (Q) com a mesma velocidade que é removido (R) pelos sedimentos, devolução à atmosfera ou incorporação biológica

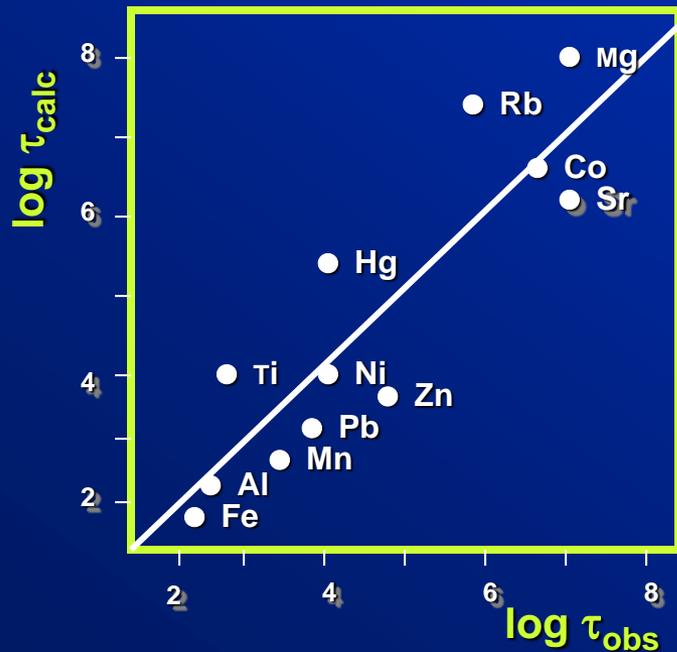
Barth usou as estimativas do “input” pelos rios para vários elementos

## tempo de residência dos elementos no oceano



$$\text{tempo de residência } (\tau) = \frac{[A]}{R} = \frac{[A]}{Q}$$

## tempo de residência dos elementos no oceano



Whitfield *et al.* (1981) desenvolveram uma correlação semi-empírica dos tempos de residência para os elementos

$$\log \tau = 2,6 \log [C_{sw}/C_{rw}] = a.\Delta H_h + b$$

Onde:

$C_{sw}$  = [elemento] na água do mar

$C_{rw}$  = [elemento] na água do rio

$\Delta H_h$  = calor de hidratação do elemento

$$a = 0,00452$$

$$b = - 0,6$$

**Parâmetros de ajuste**

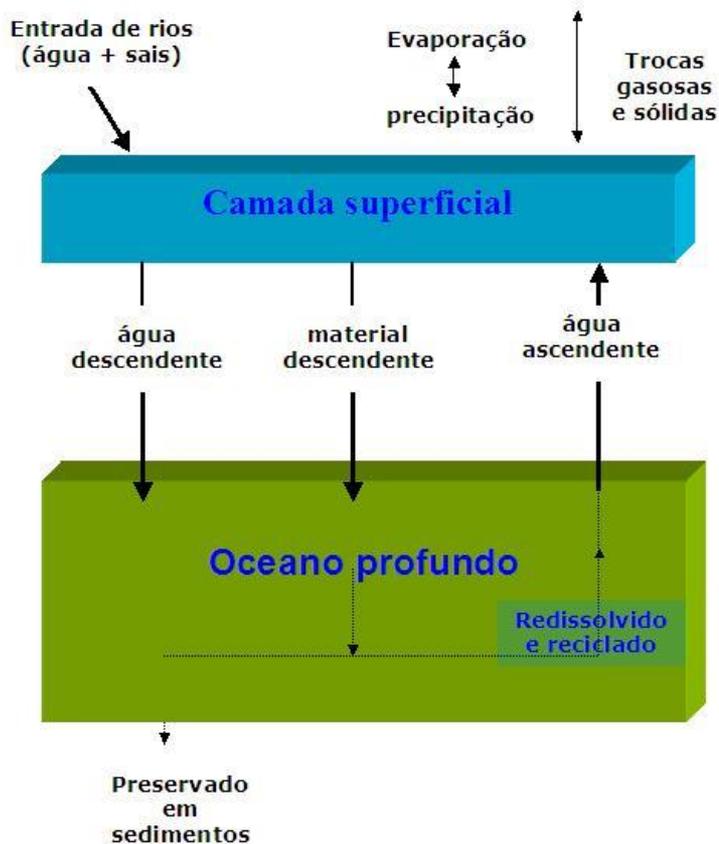
## **tempo de residência dos elementos no oceano**

**Vários cuidados devem ser tomados quando as estimativas são feitas pela introdução de rios**

**Deve-se também considerar também a reciclagem dos elementos do mar p/ continente e vice-versa**

**O Cl<sup>-</sup> que vai para os oceanos vindo dos rios é reciclado muitas vezes do sal marinho que é transportado do continente para o mar.**

# quanto tempo os elementos químicos permanecem na água do mar???



## Modelo estacionário

Embora os ciclos biogeoquímicos incluam processos que levam centenas de milhões de anos, estes ciclos tem se mantido por bilhões de anos e se considera que estão num estado estacionário bem aproximado

Estado estacionário é quando a quantidade total de 1 elemento em cada compartimento permanece ~ o mesmo tempo, ou seja, a taxa de entrada é igual a taxa de remoção.

Para a maioria dos elementos a taxa de entrada é ~ à taxa de remoção

## Limitações do modelo

- Supõem que a composição química seja uniforme e que os oceanos tenham volume, pressão e temperatura constantes
- É válido se a velocidade de mistura for muito maior que a taxa de introdução ou remoção deste elemento

**A mistura completa do elemento no oceano deve ocorrer num tempo menor que o seu tempo de residência**

## Limitações do modelo

### P/ elementos maiores ( $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{SO}_4^{2-}$ )

Tempo de mistura < tempo residência dos elementos

dos oceanos  $2,6 \cdot 10^8$  anos p/  $\text{Na}^+$

500 – 1000 anos  $4,5 \cdot 10^7$  anos p/  $\text{K}^+$

- satisfatório para 66 elementos
- Não se aplica para Ca e Mg

### P/ elementos menores (Al, Fe, Ti)

Tempo de mistura > tempo residência dos elementos

dos oceanos 100 anos p/ Al

500 – 1000 anos 140 anos p/ Fe

## **Mas pode ser útil para:**

- **Fornecer um método para estimar a taxa de alguns processos que são difíceis de medir diretamente**  
**Ex: se podemos medir a concentração de um elemento num estuário e a taxa de entrada deste elemento pelos rios, então podemos calcular a taxa pela qual está sendo removido para o sedimento**
- **Para determinar o destino provável de um contaminante liberado para o oceano.**  
**Se o tempo for longo pode causar poluição.**  
**Se o tempo for curto, adições serão rapidamente removidas (geralmente para os sedimentos)**

## Tempo de residência da água

### Tempos de residência típicos da água encontrados em vários reservatórios

reservatório	Tempo de residência médio
oceanos	3.200 anos
lagos	50 a 100 anos
rios	2 a 6 meses
água subterrânea rasa	100 a 200 anos
água subterrânea profunda	10.000 anos
geleira	20 a 100 anos

- <https://web.archive.org/web/20160126072955/http://www.physicalgeography.net/fundamentals/8b.html>

# Ciclo hidrológico

