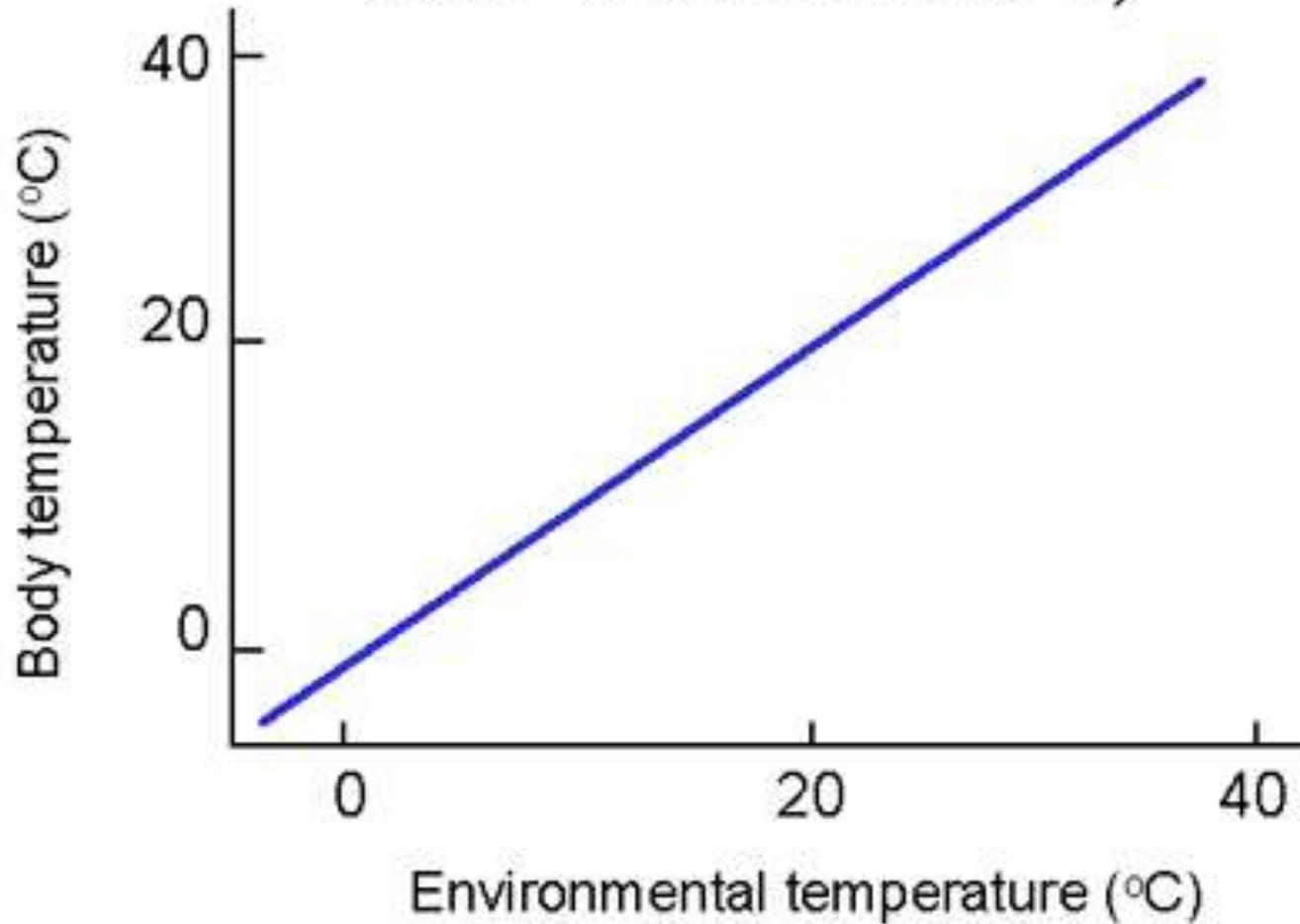
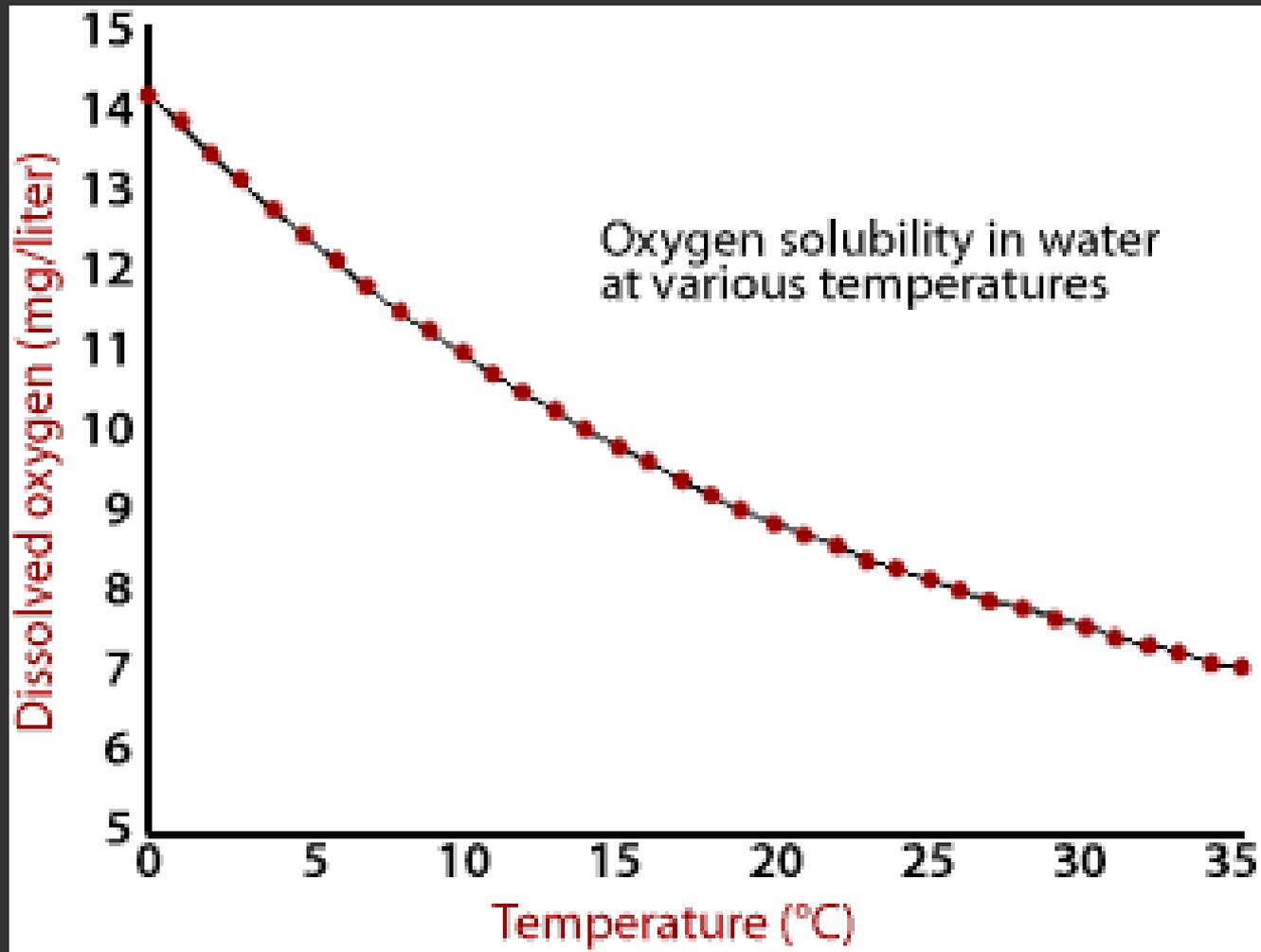


Plasticidade e Adaptação: extremos de temperatura

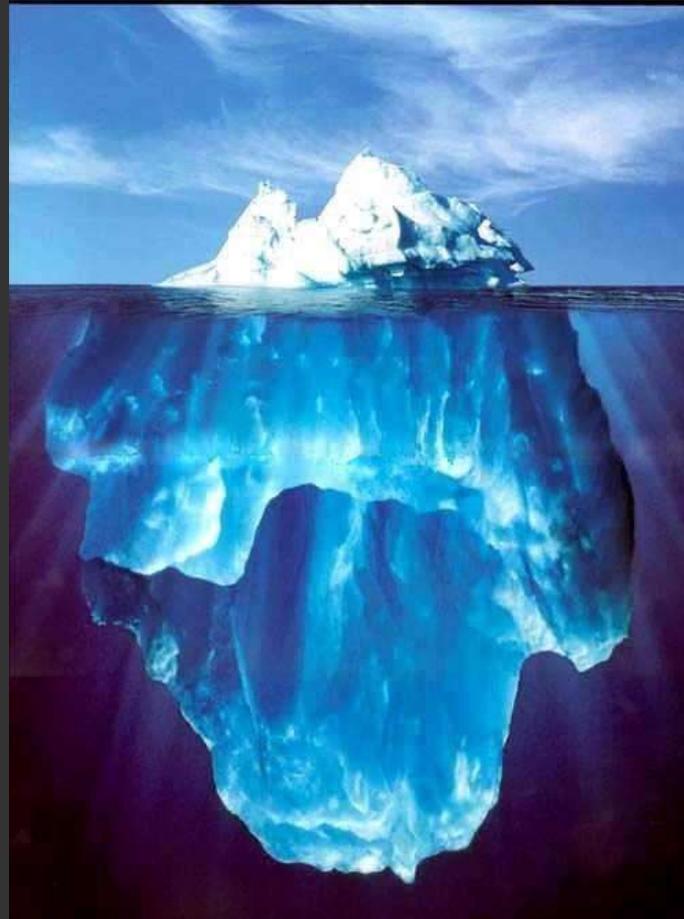


Fish distribution from -1.86°C to $+43^{\circ}\text{C}$)





Adaptação ao Ambiente Polar



Quais são os desafios impostos pelo ambiente?

- Baixas temperaturas
- Gradiente termal de até 100°C
- Ausência de luz no inverno
- Luz contínua no verão
- Escassez de alimento

Adaptações em aves e mamíferos

Diminuição da perda de calor

Comportamental



Postura



Agglomerações



Abrigos na neve

Física:



Plumagem



Pelos



Camada de gordura

Águas termicamente estáveis e extremamente frias

(-1,86°C a -0,3°C)

Peixes estenotérmicos: pequena tolerância em relação às variações de temperatura; predomínio na Antártida;

Peixes euritérmicos: toleram amplas variações de temperatura; alteram de forma dinâmica os limites de tolerância; predomínio no Ártico;

Ambiente Antártico é mais estável do que o
Ártico

Famílias predominantes de peixes na Antártida



Icefish, *Aceratus de Chaenocephalus* –
Família Channichthyidae

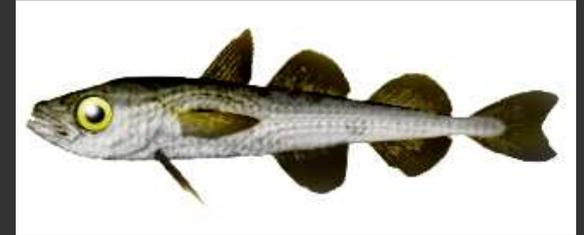


Antarctic Dragonfish, *Parachaenichtys charcoti* – Família Bathydraconidae



Antarctic cod, *Dissostichus mawsoni*
- Família Nototheniidae

Adaptações



✓ Morfológicas

- cabeça e olhos grandes
- coloração quase transparente (sangue sem hemoglobina)
- ausência de bexiga natatória: neutros à flutuação ou flutuação dependente de depósitos de gordura

✓ Fisiológicas:

- substâncias anticongelantes;
- super- resfriamento;
- ausência de hemoglobina;
- composição de membranas

**Adaptação evolutiva às baixas
temperaturas**

vs.

Ajuste sazonal ao frio

ADAPTAÇÕES FISIOLÓGICAS ÀS BAIXAS TEMPERATURAS

- Substâncias anticongelantes;
- Aumento da concentração osmótica;
- Reestruturação das membranas celulares;
- Adaptações cardiovasculares;

Estratégias para evitar o congelamento

- Migrar para áreas livres de gelo;
- Superesfriamento (*supercooling* ou *undercooling*) – habilidade de manter o estado líquido em temperaturas abaixo do ponto de congelamento;

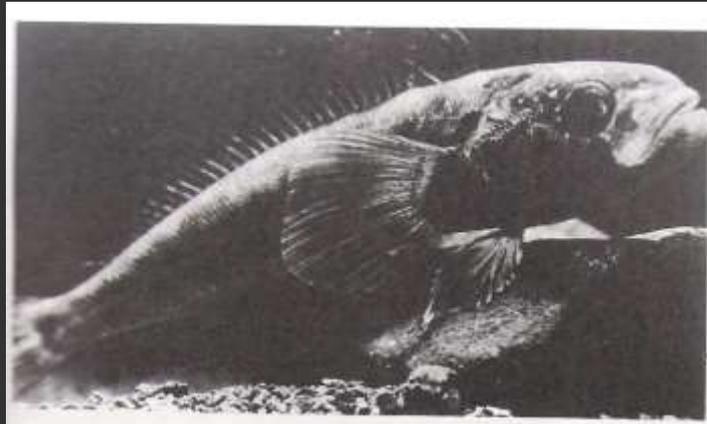
Tolerância ao congelamento

- ✓ Teleósteos possuem um ponto de congelamento de $-0,6^{\circ}\text{C}$ a $-0,8^{\circ}\text{C}$ e a temperatura da água em regiões polares é de cerca de $-1,8^{\circ}\text{C}$ – portanto os animais congelariam;
- ✓ Substâncias anticongelantes no sangue e fluídos corpóreos reduzem o ponto de congelamento;
- ✓ Superesfriamento (*supercooling*) - manter o estado líquido de seus fluídos corporais em temperaturas abaixo de zero.

Tolerância ao congelamento

✓ Anticongelantes

- identificado no sangue de *Trematomus borchgrevinki*;
- substâncias proteicas ou glicoproteicas;
- reduz o ponto de congelamento ;
- evitam crescimento de micro cristais de gelo impedindo a adição de novas moléculas de água;



Trematomus borchgrevinki (DeVries, 1970)

Ação do anticongelante

- ✓ Diagrama de como a substância anticongelativa age para impedir o crescimento de cristais de gelo

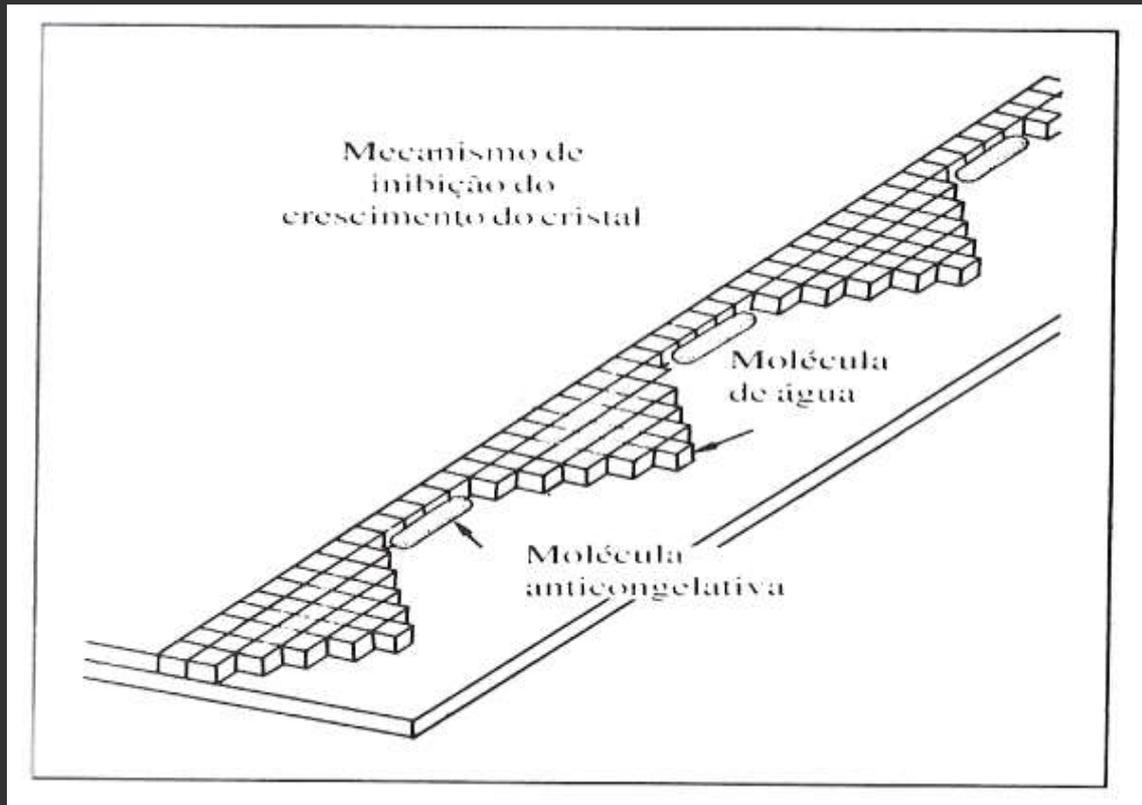


Diagrama mostrando a ligação dos anticongelantes às moléculas de água, evitando a formação do gelo no interior do corpo do peixe (Schimidt- Nielsen).

Peixes da espécie *Pagothenia borchgrevinki* são protegidos por glicoproteínas e peptídeos que abaixam o ponto de congelamento de seu sangue, abaixo do ponto de congelamento da água do mar. Estes compostos são sintetizados no fígado, secretados para o sangue e distribuídos para o corpo, onde vão evitar o congelamento pela inibição do crescimento de cristais de gelo. Estes peixes possuem gelo nos seus tecidos externos (tegumento, brânquias) enquanto os tecidos internos estão livres de gelo.



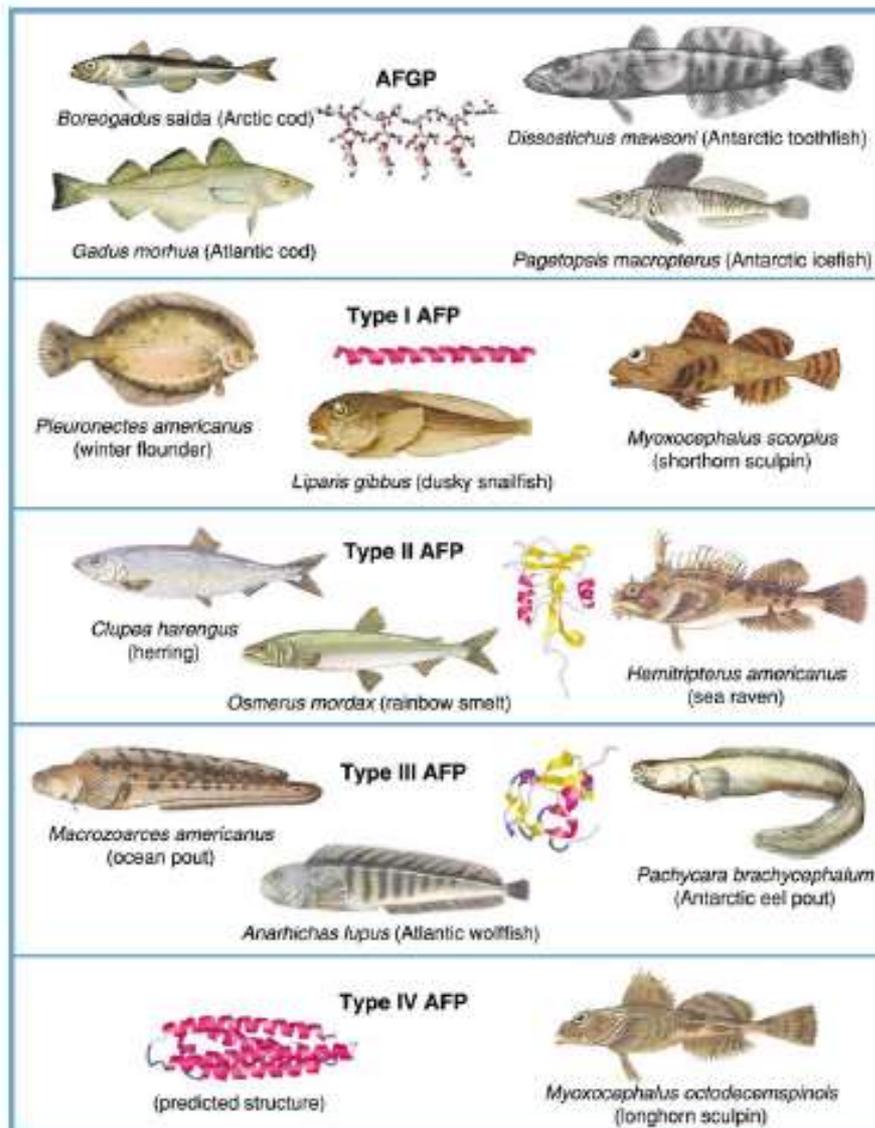


Fig. 4.1. Antifreeze protein structures shown along with the corresponding fish species. The structure of the gadid and notothenioid antifreeze glycoproteins (AFGPs), as well as the longhorn sculpin antifreeze peptide (AFP) are from structural modeling. The structures of type I, II, and III AFPs are experimentally solved by X-ray crystallography and/or nuclear magnetic resonance spectroscopy.

- Aumento da concentração de solutos diminui o ponto de congelamento

$$\Delta fp = -1.86C_{molal}$$

Δfp = depressão do ponto de congelamento

-1,86° C = ponto de congelamento da água do mar

C_{molal} = Concentração osmolal

• Estratégia anti-congelamento

congelamento rápido do líquido extracelular



maior concentração no líquido extracelular ainda não congelado

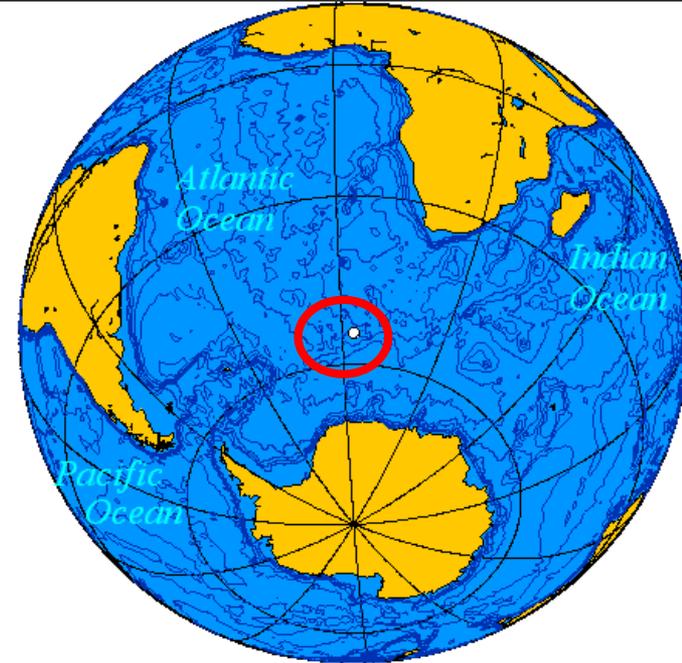


saída de água das células



diminuição do ponto de congelamento intracelular

Modelo de Estudo - *icefish* (BOUVET ISLAND)



GMT 2006 Jul 2 21:06:23 ONC - Martin Weinet

0 1000 2000 km



Peixes sem hemácias - *icefish*

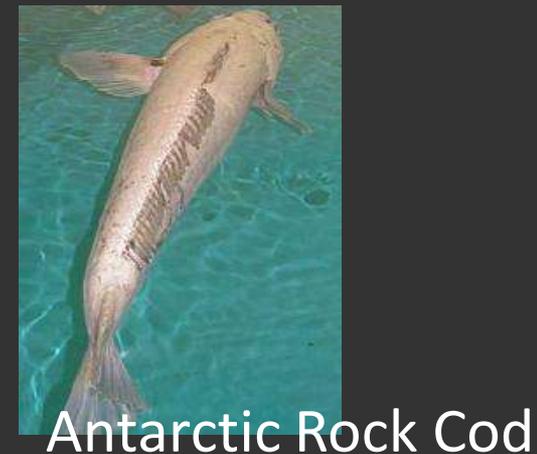
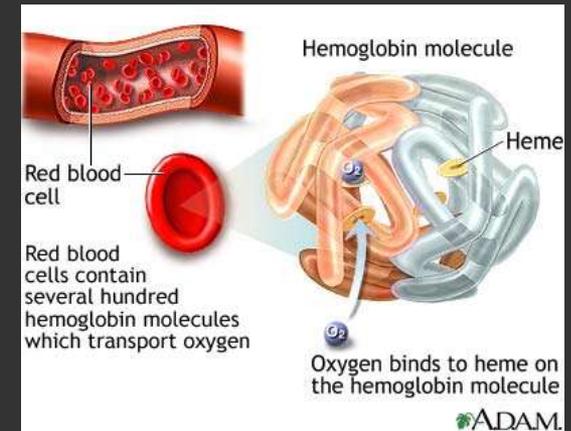


Chaenocephalus aceratus

- Semelhantes aos demais teleósteos, mas são pálidos;
- O sangue é incolor;
- Em 1954, Johan Ruud descobriu que estes animais não tinham hemácias.

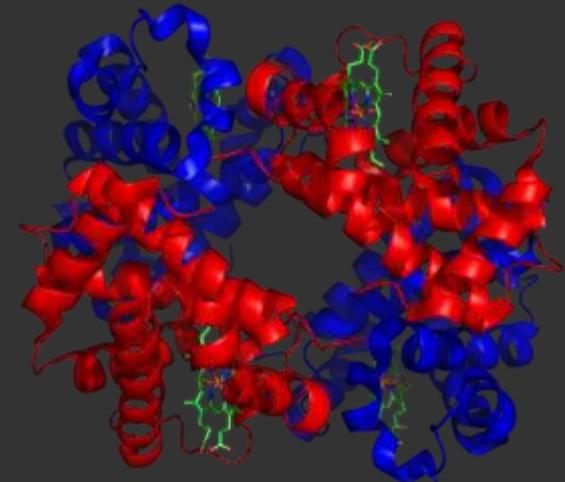
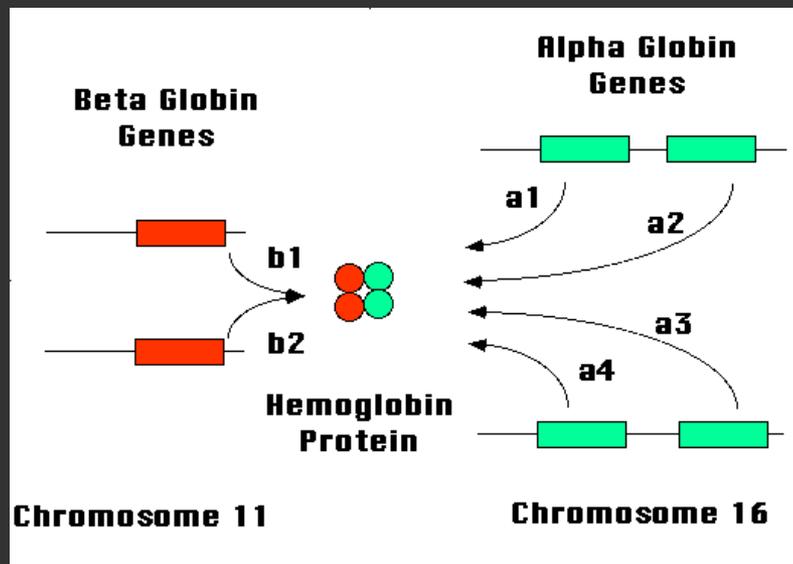


- **Sem hemácias;**
- **Sem hemoglobina;**
- **Espécies filogeneticamente próximas, têm hemoglobina;**
- **O que aconteceu com a hemoglobina?**
- **Como estes peixes sobrevivem sem hemácias?**



O que aconteceu com a hemoglobina?

- Os animais não apresentam os genes que codificam as subunidades β -globina;



A vida sem hemoglobina

- O sangue dos “icefish” apresenta cerca de 1 % de células, todas da série branca;
- Brânquias são bem desenvolvidas;
- Pele sem escamas – absorção de oxigênio da água;
- Coração e o volume sanguíneo são maiores;

- **Hematócrito humano 45%**
- **Peixe tropical – 35-40%**
- **Peixe Antártico 15-18%**
- **Icefish 1%**



Table 2. Loss of hemoglobin expression is not energetically advantageous[†]

Species	Hemoglobin expression	Cardiac output (ml kg ⁻¹ min ⁻¹)	Ventral aortic pressure (kPa)	Cardiac power development (mW kg ⁻¹)
<i>Trematomus bernacchii</i> ^a	+	17.6	3.09	0.905
<i>Pagothenia borchgrevinki</i> ^a	+	29.6	3.60	1.76
<i>Pseudochaenichthys georgianus</i> ^b	-	80.5	1.87	2.51
<i>Chaenocephalus aceratus</i> ^b	-	77.0	2.30	2.94

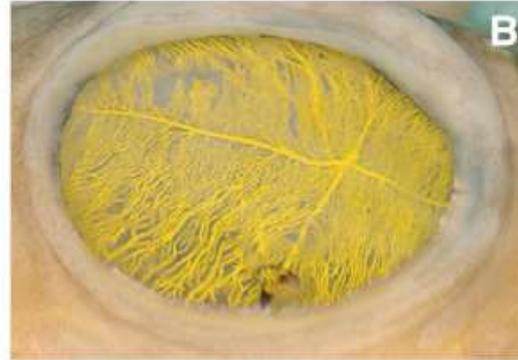
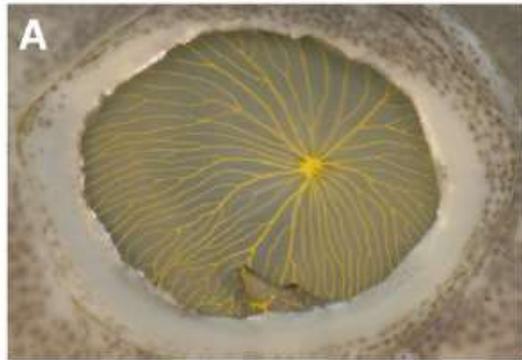


Fig. 5. Retinal vasculature of: (A) *Pagothenia borchgrevinki*, an Hb-expressing nototheniid (reproduced with permission from Eastman and Lannoo, 2004). (B) *Chaenocephalus aceratus*, a Hb-lacking icefish (J. Eastman and B. D. Sidell, unpublished). Lenses and vitreous bodies have been removed from the eyes to allow a clear view of the blood vessels. Yellow coloration is from perfusion and filling of the vasculature with *Microfil*TM silicone rubber compound.

Intensa vascularização na retina reduz as distâncias de difusão do oxigênio

Species	Hb/Mb	O ₂ diffusion distance through tissue (μm) ^a
<i>Gobionotothen gibberifrons</i>	+/+	9.82±1.37
<i>Chionodraco rastrospinosus</i>	-/+	6.20±0.86
<i>Chaenocephalus aceratus</i>	-/-	<u>6.23±0.41</u>

Papel do óxido nítrico: vasodilatador e angiogênese

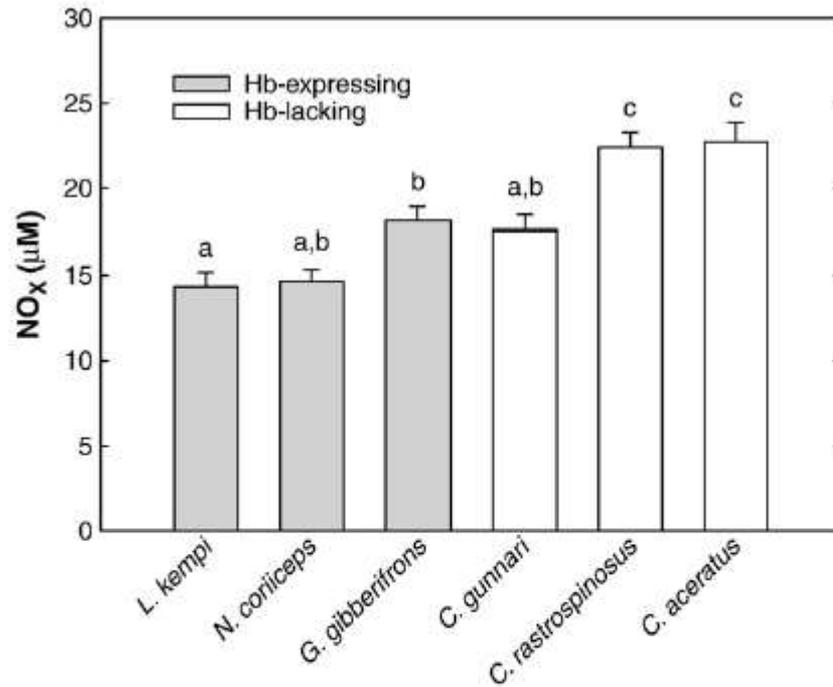


Fig 1. Plasma NO metabolites, nitrite plus nitrate (NO_x), of red- and white-blooded Antarctic notothenioid fishes. Concentrations of NO_x were measured using the Griess Assay. Solid color bars indicate that the species expresses hemoglobin (Hb), while clear bars denote lack of Hb. Values are presented as means \pm s.e.m.; $N=8$ for *L. kempfi* and *C. rastrospinosus*, $N=7$ for *G. gibberifrons* and *C. gunnari*, $N=6$ for *N. coriiceps* and *C. aceratus*. Statistical significance between species denoted by different lowercase letters ($P \leq 0.05$).

Ocorre maior produção de óxido nítrico nos animais sem Hb?

Atividade da óxido nítrico sintase:

Table 7

Nitric oxide synthase activities in tissues of red- and white-blooded Antarctic notothenioid fishes.

	Enzyme activity [pmol (min g wet wt.) ⁻¹]			
	<i>N. coriiceps</i>	<i>G. gibberifrons</i>	<i>C. gunnari</i>	<i>C. aceratus</i>
	(Hb+)	(Hb+)	(Hb-)	(Hb-)
Brain	159.3 ± 10.9 ^{ab}	216.2 ± 39.3 ^b	126.6 ± 9.8 ^a	95.7 ± 10.1 ^a
Heart	2.9 ± 1.4	1.1 ± 0.6	0.6 ± 0.3	0.5 ± 0.2
Retina	1.8 ± 1.1 ^a	26.3 ± 10.8 ^b	1.7 ± 1.0 ^a	ND
Pectoral muscle	0.3 ± 0.2	1.0 ± 0.5	ND	0.04 ± 0.04

Values are means ± s.e.m.; N=4 for all species. Different superscript letters denote significant differences between species ($P \leq 0.05$). ND, not detectable.

Degradação do óxido nítrico. O óxido nítrico reage como oxigênio para formar N_2O_4 , que se combina com água para formar uma mistura de ácidos nítrico e nitroso. Os íons nitrito são oxidados a nitrato pela oxiemoglobina.

Baixa Temperatura & Membranas Celulares

- Atividade das proteína (bombas) das membranas são diminuídas;
- Necessidade de mecanismos compensatórios para manter as funções;

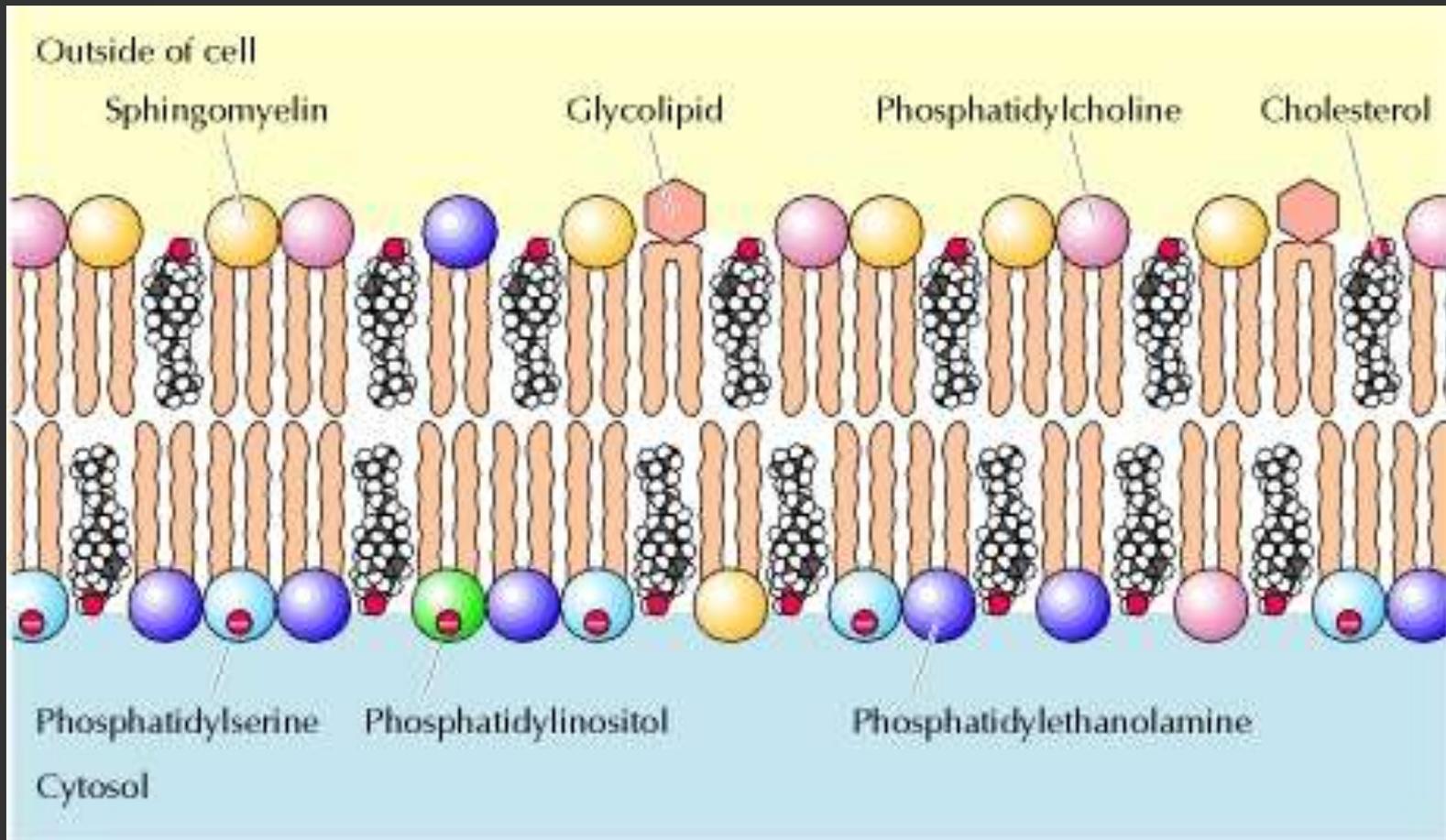
MEDIDAS COMPENSATÓRIAS

- Aumentar o número de enzimas nas membranas;
- Remodelar o perfil de ácidos graxos dos fosfolipídios;
- Ajustes na proporção dos diferentes fosfolipídios das membranas;

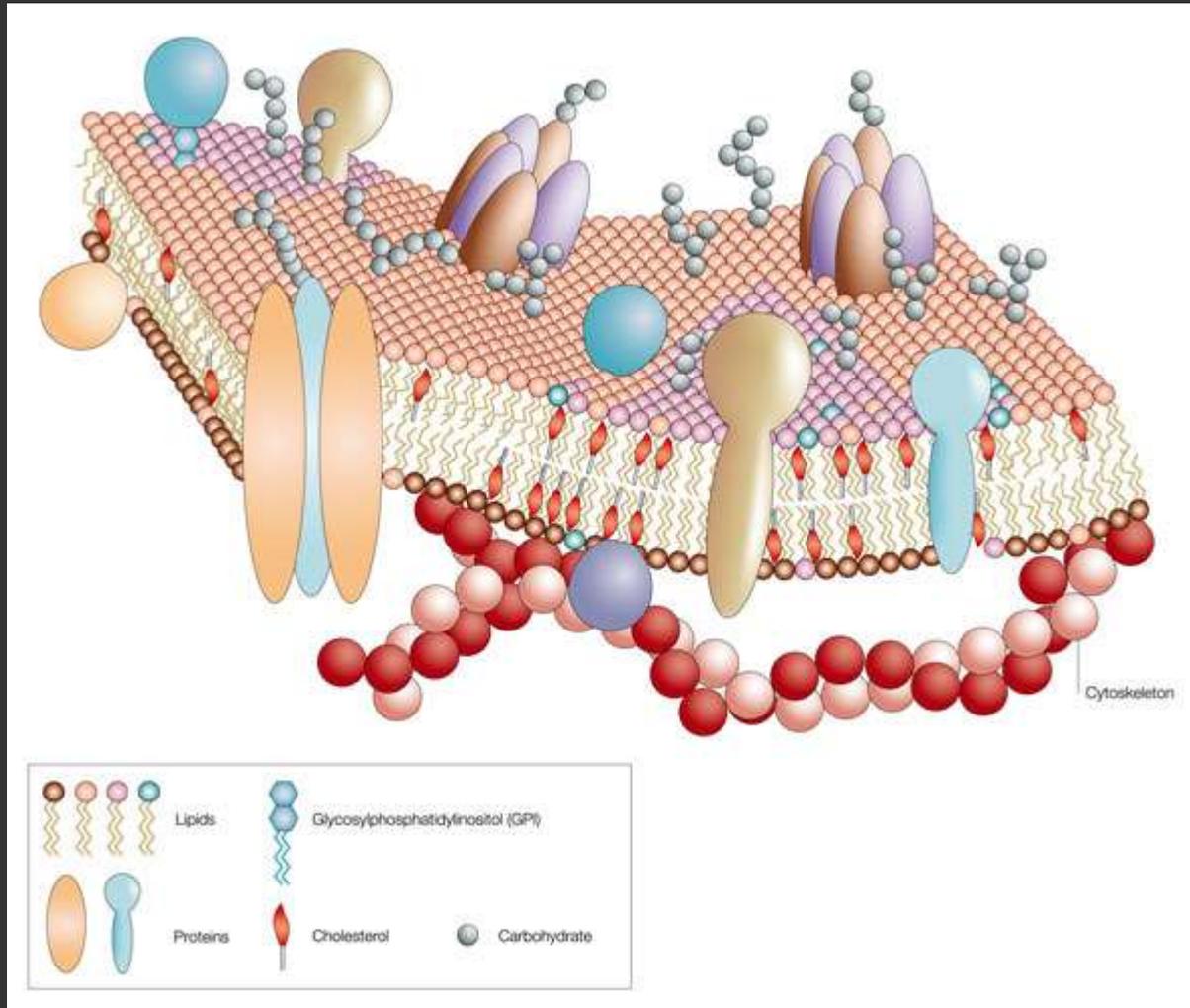
Base da heterogeneidade da composição lipídica das membranas

- 1) Diferentes tipos de lipídios (fosfolipídios e esteróis);
- 2) Diferentes grupos funcionais dos fosfolipídios;
- 3) Variações na cadeia de carbonos dos fosfolipídios (ácidos graxos);

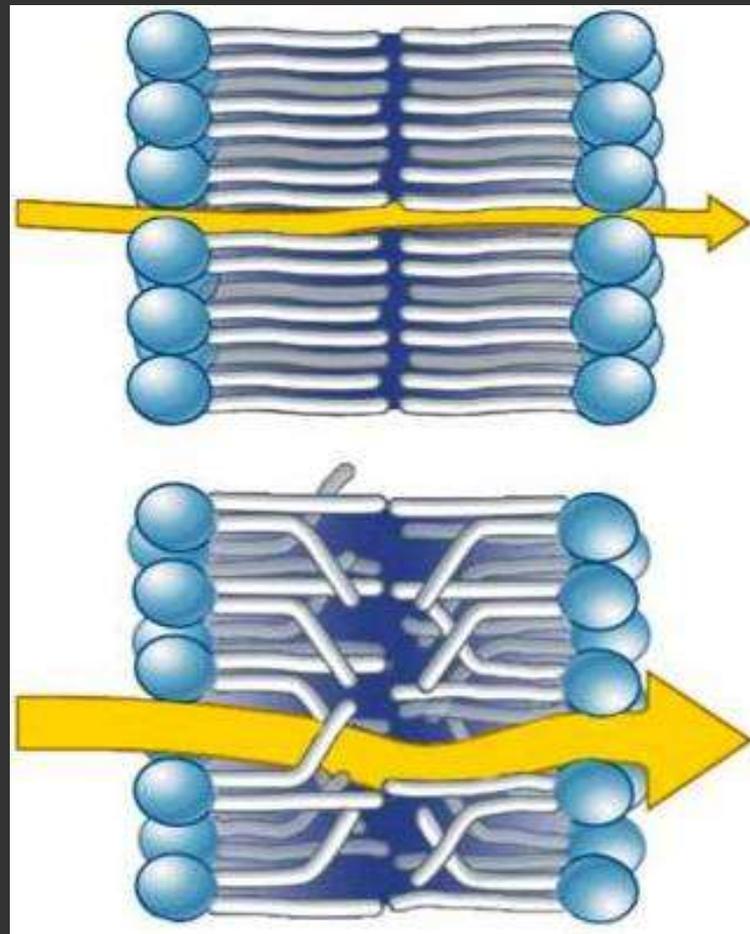
Estrutura Geral das Membranas



Estrutura Geral das Membranas



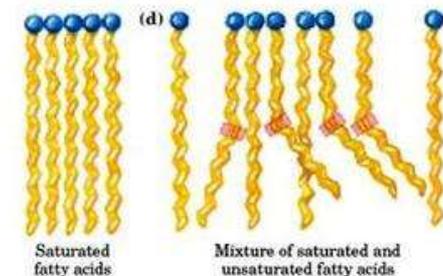
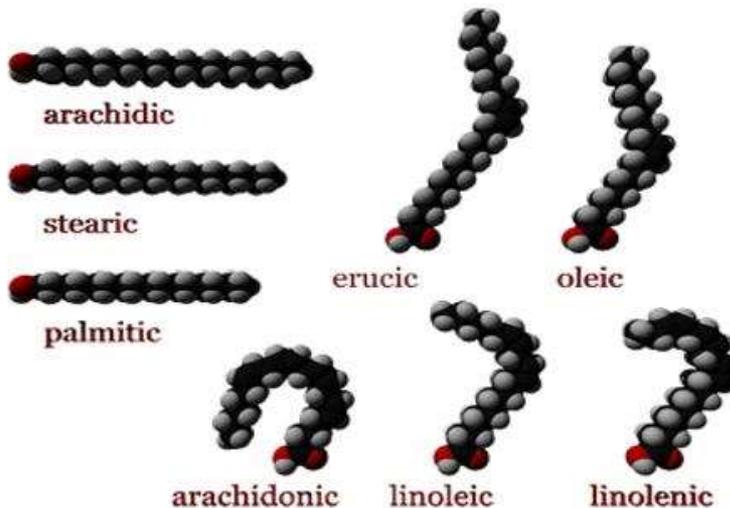
Natureza Física/química e permeabilidade



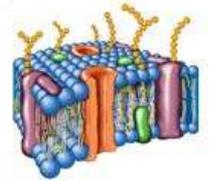
Principais modificações



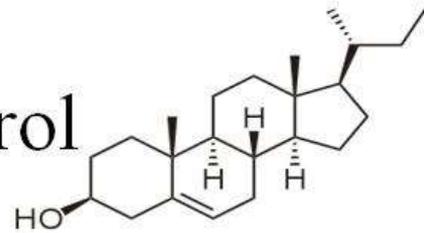
- Mudanças de ácidos graxos



Principais modificações



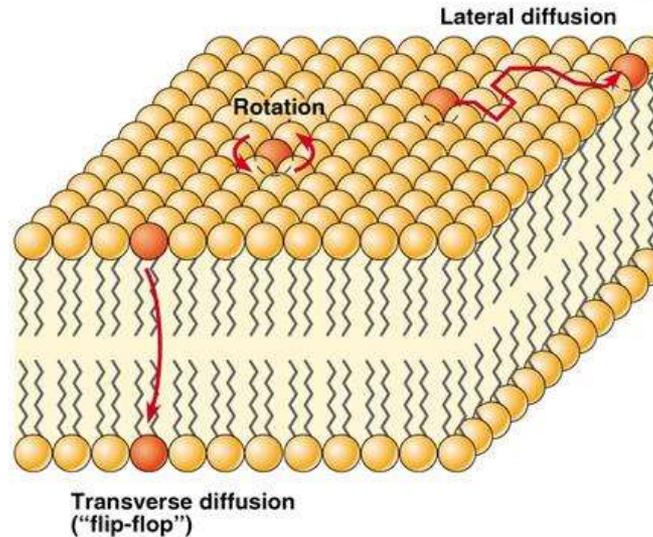
- Inserção de colesterol



Nelson & Cox, (2011)



- Movimento



Copyright © 2003 Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

Pearson Education, (2003)

PAPEL DOS ÁCIDOS GRAXOS NAS MEMBRANAS

18:0 - Ácido esteárico - 18 carbonos, sem insaturações (69,6°C)

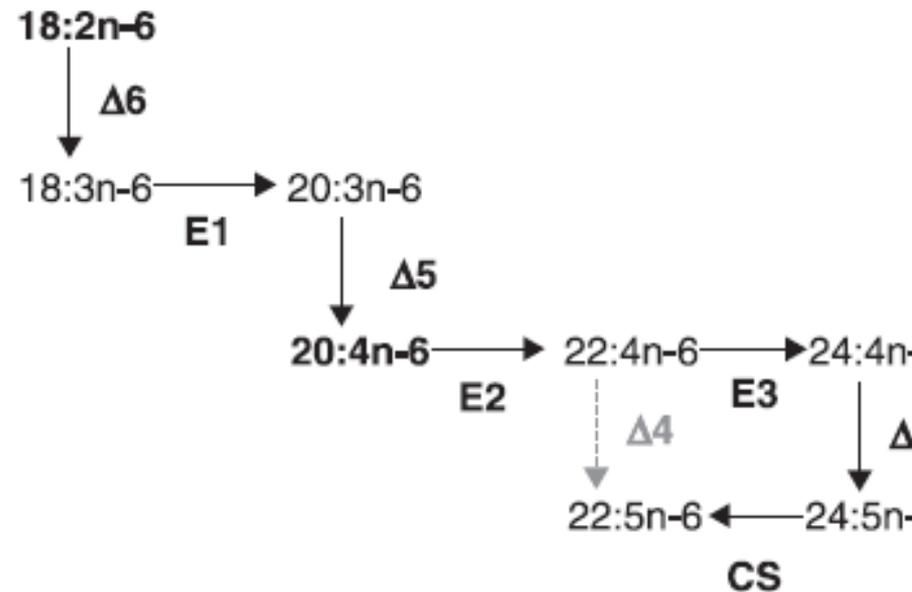
18:1 - Ácido oleico - 18 carbonos, 1 insaturação (C9) (13,4°C)

18:2 *n-6* (ou $\omega 6$) - Ácido linoleico - 18 carbonos, 2 insaturações, com a 1a. insaturação no C6 (-5°C)

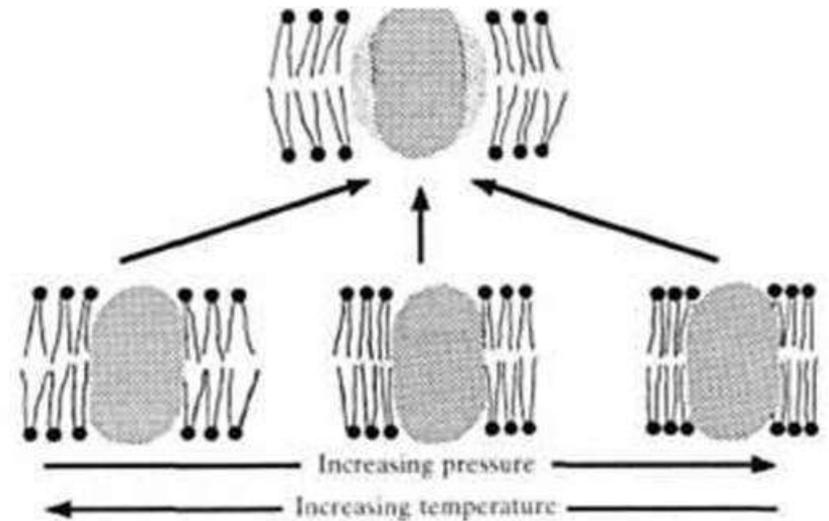
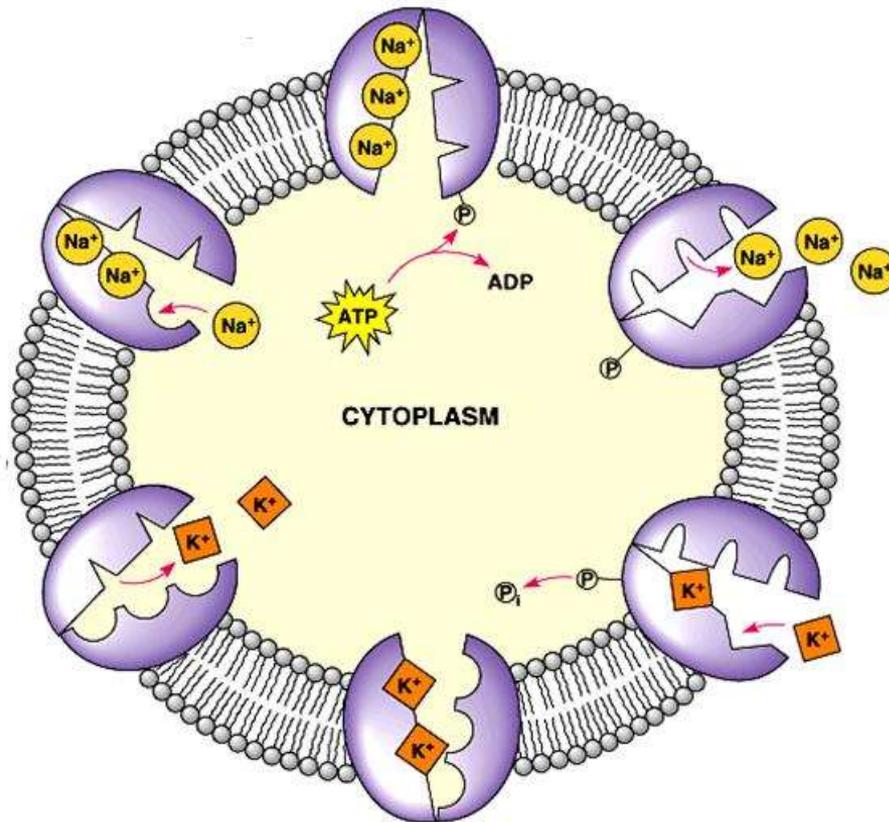
18:3 *n-3* (ou $\omega 3$) - Ácido alfa linolênico - 18 carbonos, 3 insaturações, com 1a. insaturação no C3 (-11°C)

20:4 *n-6* (ácido araquidônico) – (-49,5°C)

Vias de síntese dos ácidos graxos



Implicações da mudança- $\text{Na}^+\text{K}^+\text{ATPase}$

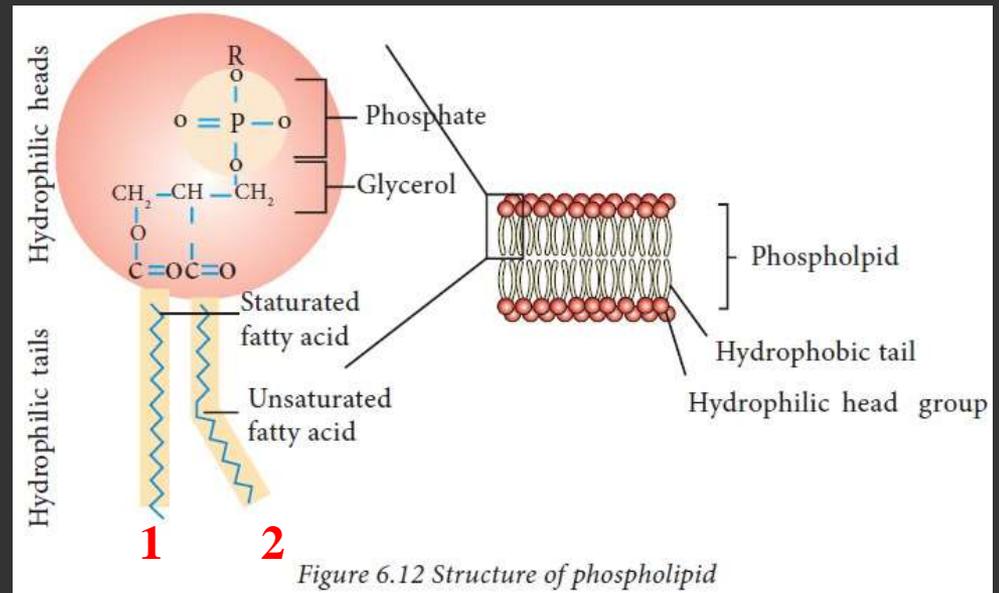
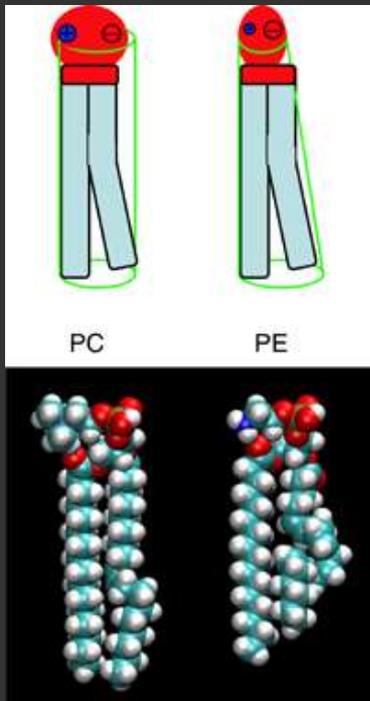


Diferenças de AG nas posições 1 e 2

Table 2. DHA-containing phospholipid molecular species in brains of vertebrates

Species group	Percentage of Total					
	Phosphatidylethanolamines			Phosphatidylcholines		
	18:1/22:6	18:0/22:6	16:0/22:6	18:1/22:6	18:0/22:6	16:0/22:6
Cold-adapted fish*	14.7 ± 1.7	19.8 ± 2.9	14.6 ± 2.0	3.3 ± 1.9	8.2 ± 2.1	14.8 ± 5.1
Warm-adapted fish	6.9 ± 3.4	30.8 ± 7.7	12.2 ± 1.2	2.2 ± 1.21	7.2 ± 17.1	16.2 ± 6.1
Subtropic fish	2.4 ± 0.1	49.1 ± 5.6	18.6 ± 9.0	1.8 ± 0.7	8.5 ± 6.5	27.1 ± 8.1
Mammals	1.7 ± 1.3	29.6 ± 4.2	6.7 ± 3.2	1.7 ± 1.3	29.5 ± 4.2	6.7 ± 3.5
Birds	1.7 ± 0.5	39.5 ± 6.2	7.6 ± 2.3	1.6 ± 0.5	12.6 ± 9.4	5.8 ± 3.3

*Combined data of boreal and cold-adapted fish from temperate region.



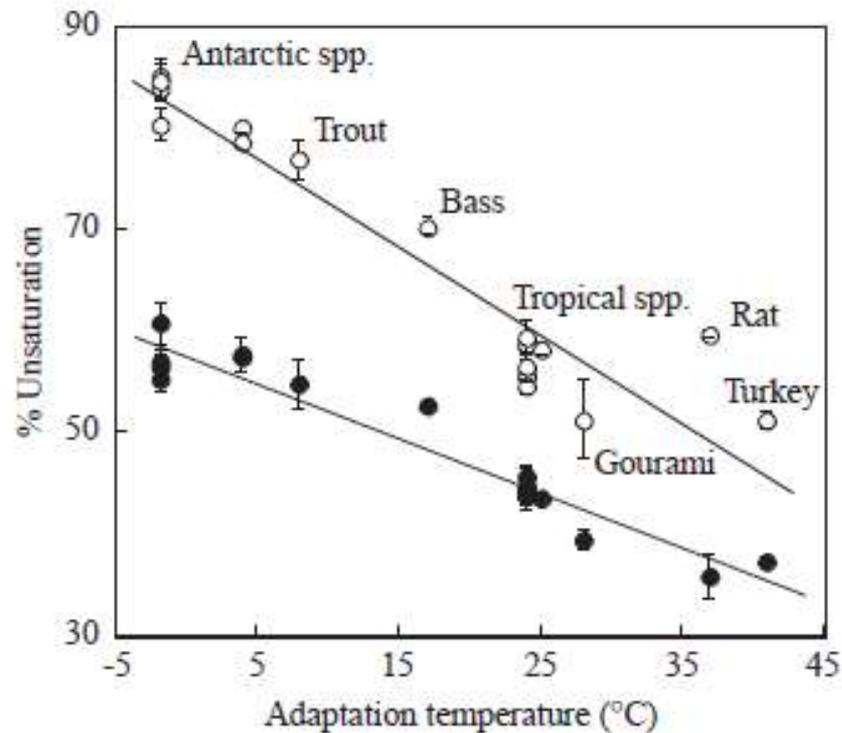
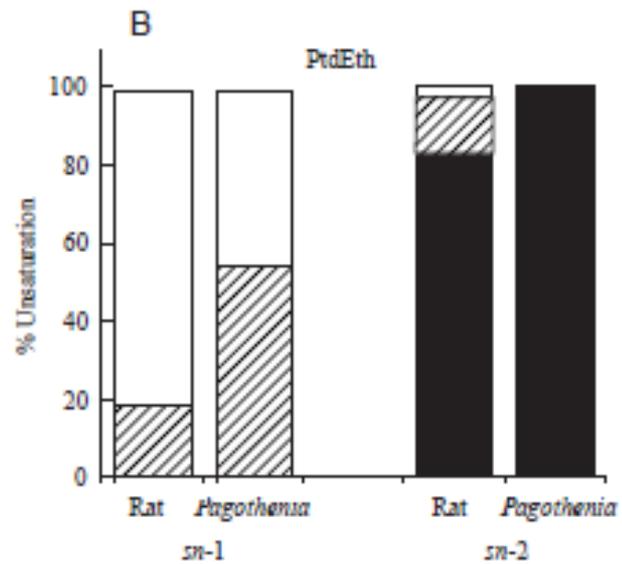
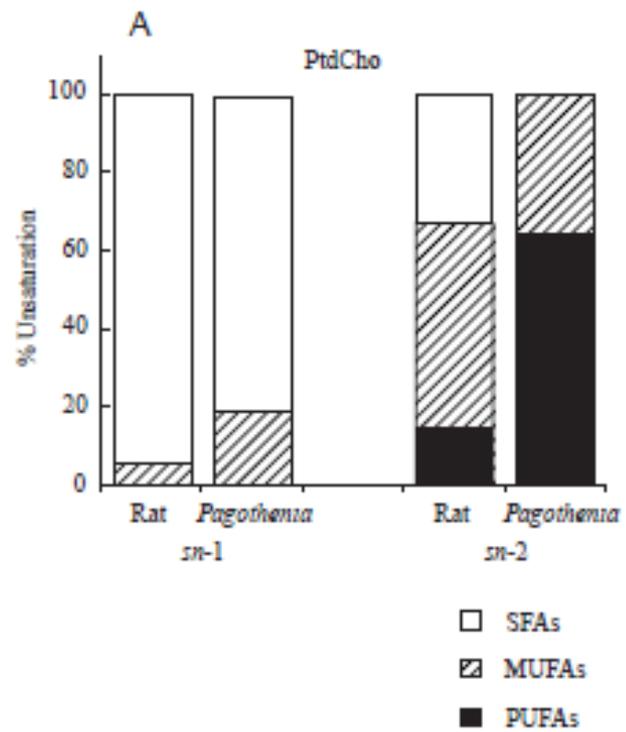


Fig. 2. The relationship between adaptation temperature and percentage unsaturated fatty acids in phosphatidylethanolamine (open symbols) and phosphatidylcholine (filled symbols) of brain synaptic membrane fractions prepared from the different species. Each data point represents a separate species (mean \pm s.d., $N=3$ separate preparations). Lines were fitted by the method of least squares; PtdCho, $r^2=0.93$, $P<0.0001$; PtdEth, $r^2=0.89$, $P<0.0001$.



(Logue et al., 2000)