



Endossimbiose

Prof. Milton Groppo

Diversidade da Vida

Universidade de São Paulo







Relações ecológicas “Harmônicas” e “Desarmônicas”



Relações “desarmônicas”

Intraespecíficas:

Competição
Canibalismo

Interespecíficas:

Antibiose
Predatismo
Herbivorismo
Parasitismo
Esclavagismo



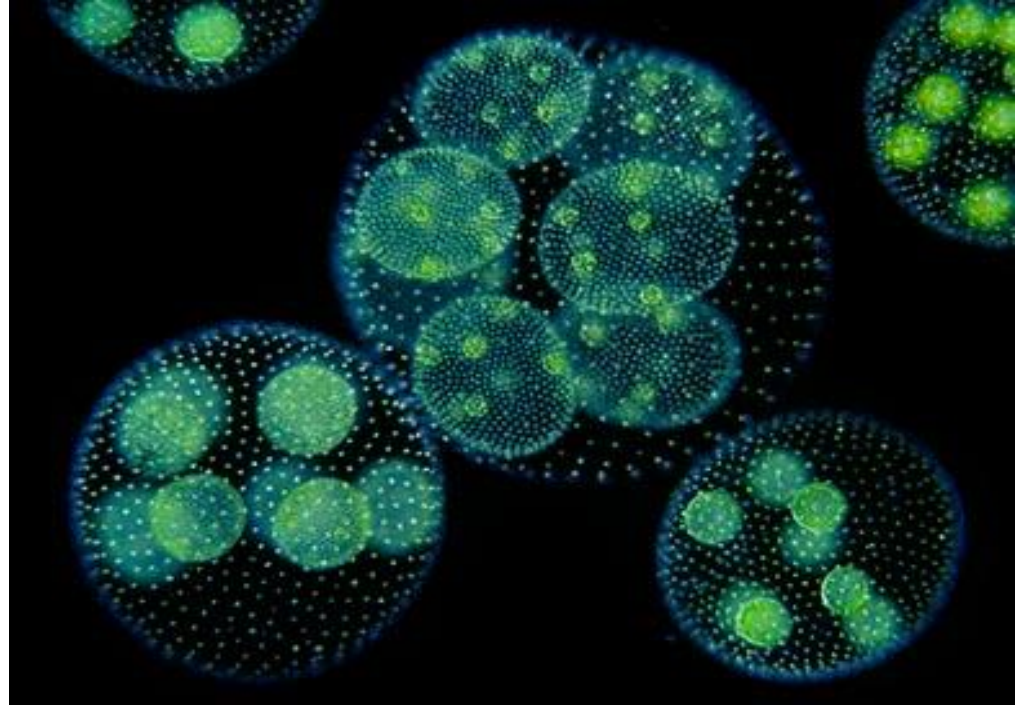
Charles Darwin:
“Struggle for Life” –
ênfatiza competição

Relações “harmônicas”

Intraespecíficas:

Colônias – todos “iguais”

Sociedades – papéis definidos



Relações “harmônicas”

Intraespecíficas:

Sociedades



Relações “harmônicas”

Interespecíficas:

Inquilinismo ou epibiose

Comensalismo

(“vantagem” apenas para uma das partes, sendo neutro para a outra)



Relações “harmônicas”

Interespecíficas:

Protocooperação (ou
mutualismo facultativo)

Simbiose (ou mutualismo obrigatório)

“vantagem para os dois lados”

Relações “harmônicas”

Interespecíficas:

Protocooperação (ou mutualismo facultativo)



Simbiose (ou mutualismo obrigatório)

“vantagem para os dois lados, de natureza obrigatória”



Simbiose

Termo em disputa

Simbiose (ou mutualismo obrigatório) – “relação interespecífica vantajosa para ambas as espécies” (sentido mais estrito)

Pradeu (2011) – “qualquer interação a longo prazo entre indivíduos de diferentes espécies, sendo benéfica para o hospedeiro e neutra ou benéfica para o simbiote” (englobaria comensalismo e o inquilinismo, por exemplo).

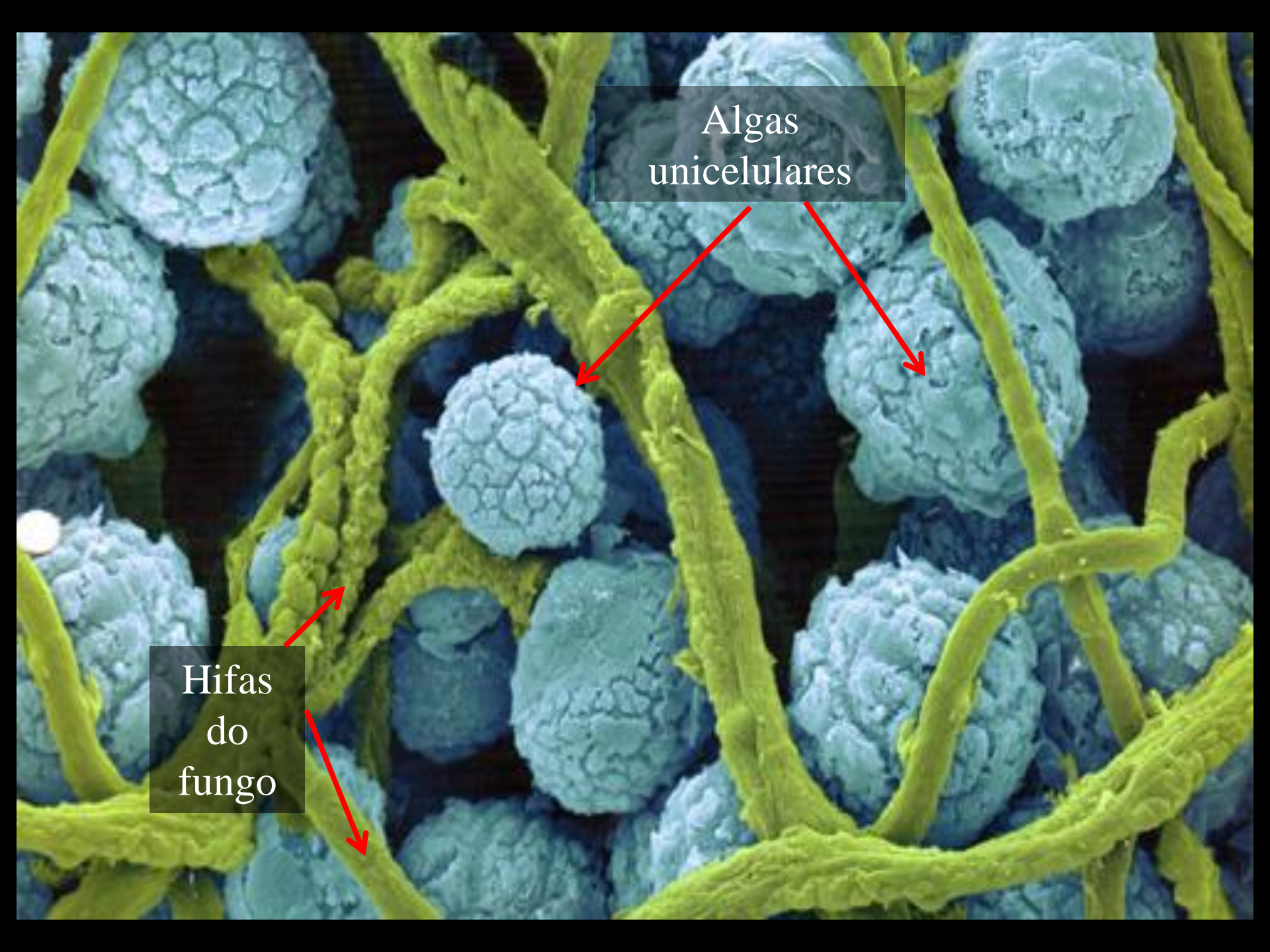
Saap (1994); Gilbert et al. (2012); Outhen et al. (2016) – “associação a longo prazo entre dois organismos de diferentes espécies” - mais utilizado hoje entre os Ecólogos – (englobaria relações benéficas, neutras ou prejudiciais para um dos envolvidos – a aceção mais ampla)

Fungo liquenizado (líquen) – associação de um fungo com “algas” azuis (=cianobactérias) ou verdes (“clorofíceas”)



Fungos liquenizados





Algas
unicelulares

This scanning electron micrograph shows the intricate structure of a lichen. The image is dominated by a network of green, filamentous structures, which are the fungal hyphae. Interspersed among these hyphae are numerous spherical, blue-green structures, which are the unicellular algal cells. The algal cells have a distinct, textured surface, possibly due to their cell walls or internal structures. The overall appearance is a complex, interconnected web of green and blue-green elements.

Hifas
do
fungo

This label points to the green, filamentous structures of the lichen, which are the fungal hyphae. The hyphae are shown as a dense network of interconnected threads, providing structural support and a means of transport for the lichen's components.

“Alga” –
fotossíntese (glicose)



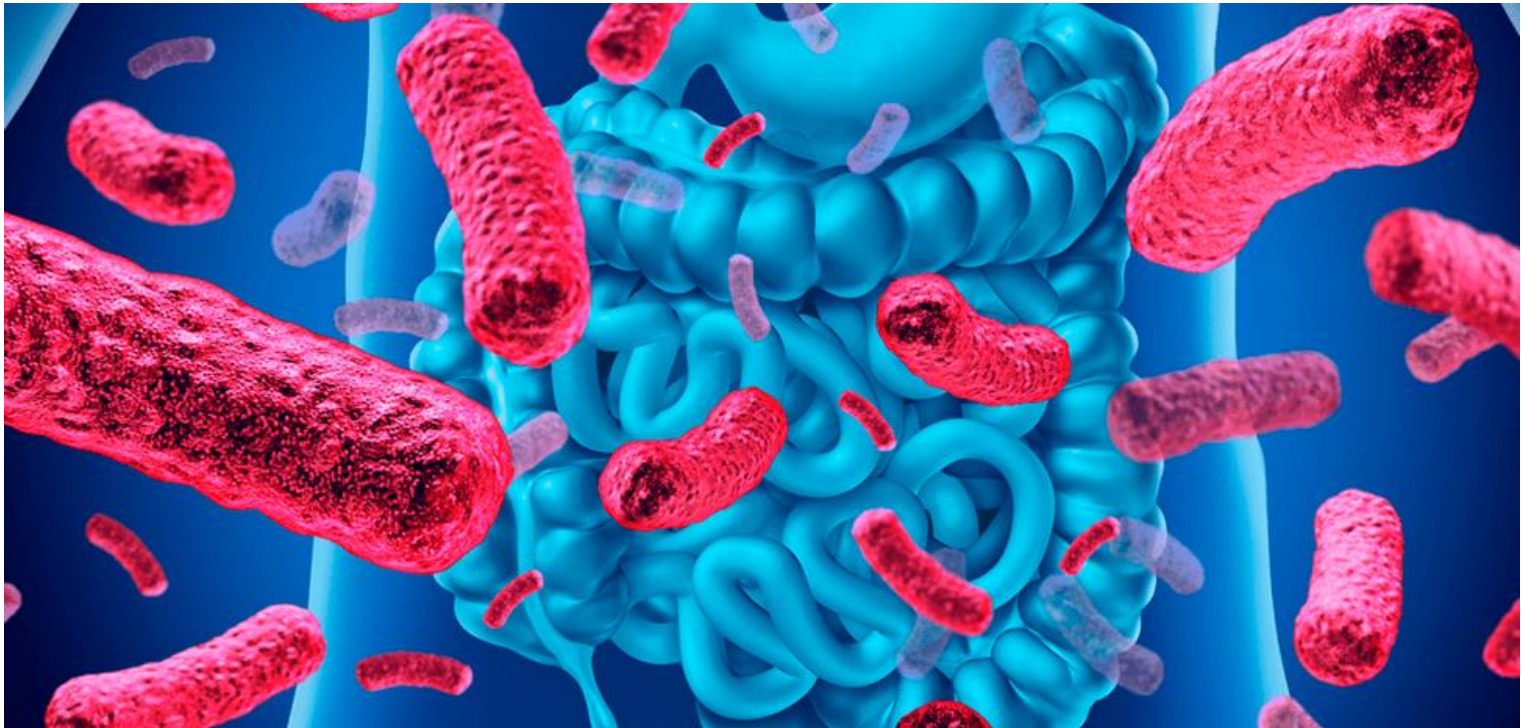
Micronutrientes e
substrato
– hifa do fungo

RELAÇÃO PADRÃO ENTRE SIMBIOSES
FOTOSSINTETIZANTES E NÃO-FOTOSSINTETIZANTES

Teoria do Hologenoma

Ponto principal: interação entre um organismo (geralmente pluricelular, planta ou animal) e sua microbiota

Hospedeiro + microbiota associada + hologenoma (toda a informação genética do genoma hospedeiro e da microbiota) atuam como uma unidade de seleção evolutiva (aula Profa. María Eugenia!)





Microbiota intestinal

Endossimbiose

Um dos simbiossitos fica completamente envolvido pelo outro **EM NÍVEL INTRA-CELULAR**

Alga –
fotossíntese (glicose)



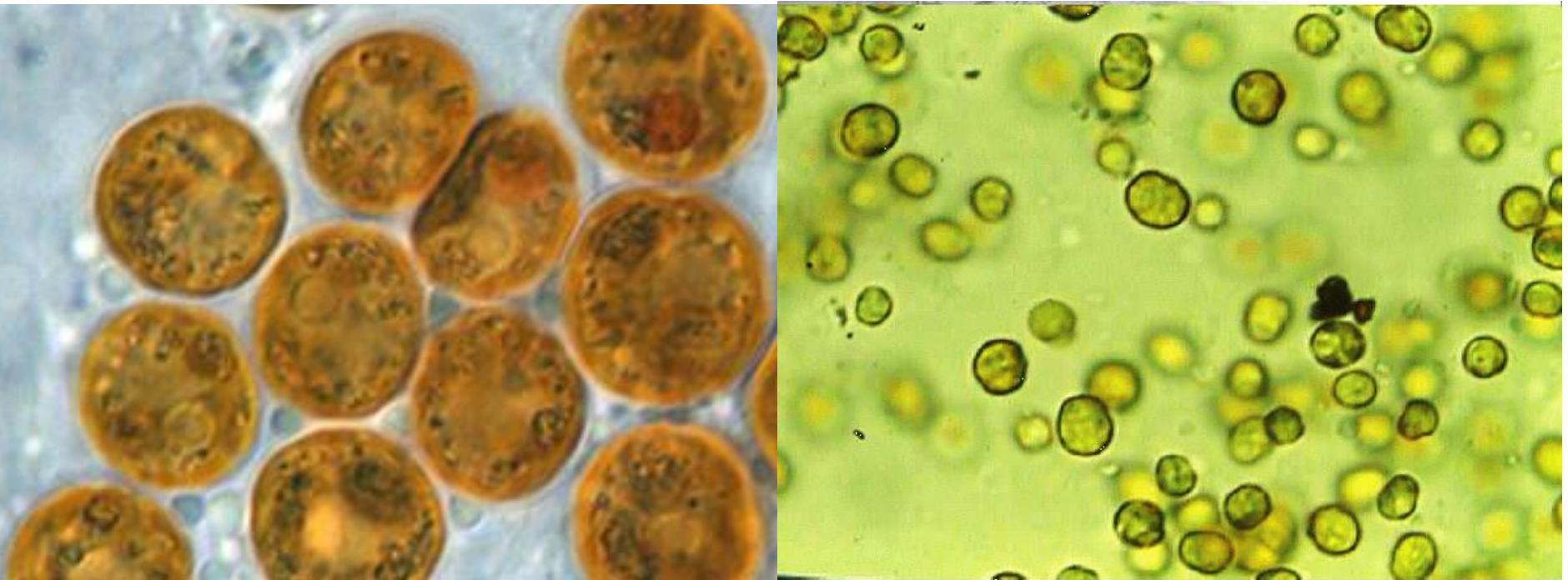
Micronutrientes e
substrato
– organismo não
fotossintetizante

RELAÇÃO PADRÃO ENTRE SIMBIOSES
FOTOSSINTETIZANTES E NÃO-FOTOSSINTETIZANTES

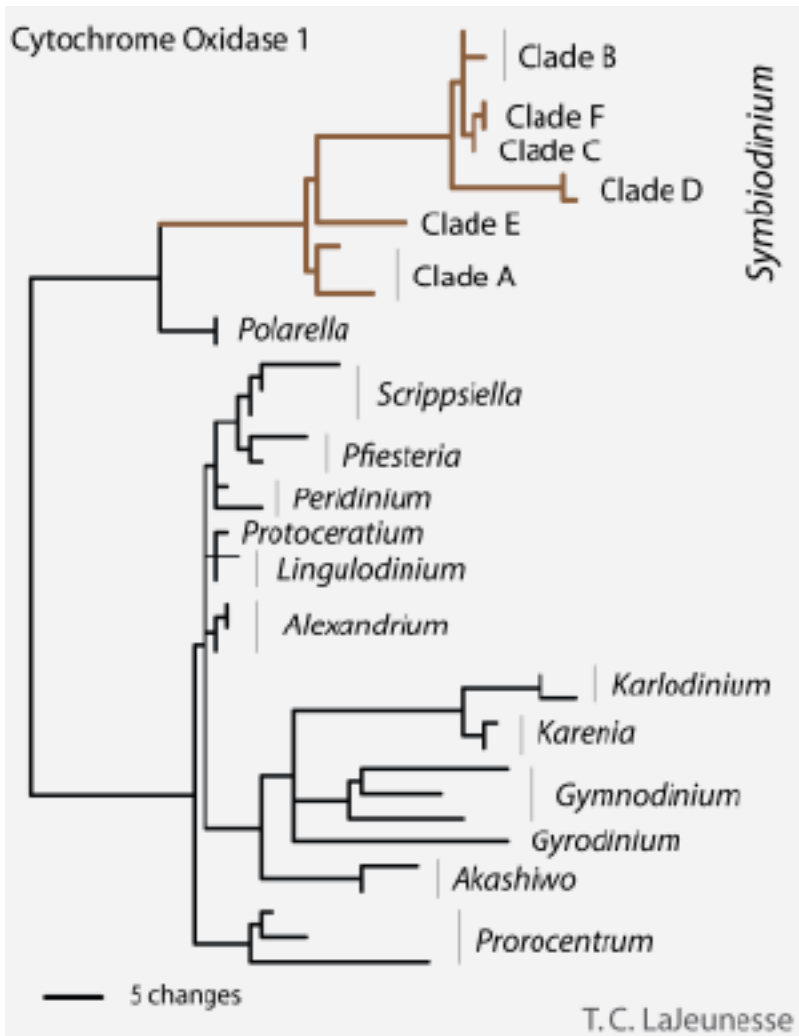


Vorticella (Protozoa) em associação com
“algas” verdes (*Chlorella*)

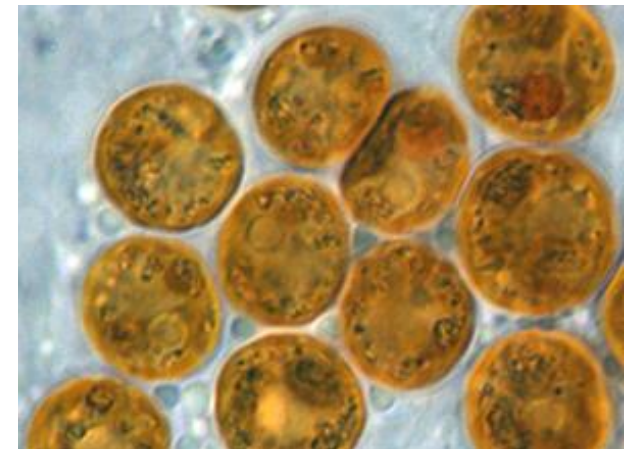
Zooxantelas –algas endossimbiontes de diversos grupos marinhos, como corais, nudibrânquios e protistas



Symbiodinium (dinoflagelados – grupo mais comum)



Zooxantelas: apenas uma linhagem (*Symbiodinium*) de dinoflagelados que “invadiu” células de grupos marinhos



Citocromo Oxidase 1 (CO1) – Filogenia de *Symbiodinium* (LaJeunesse et al. 2005) e outros dinoflagelados



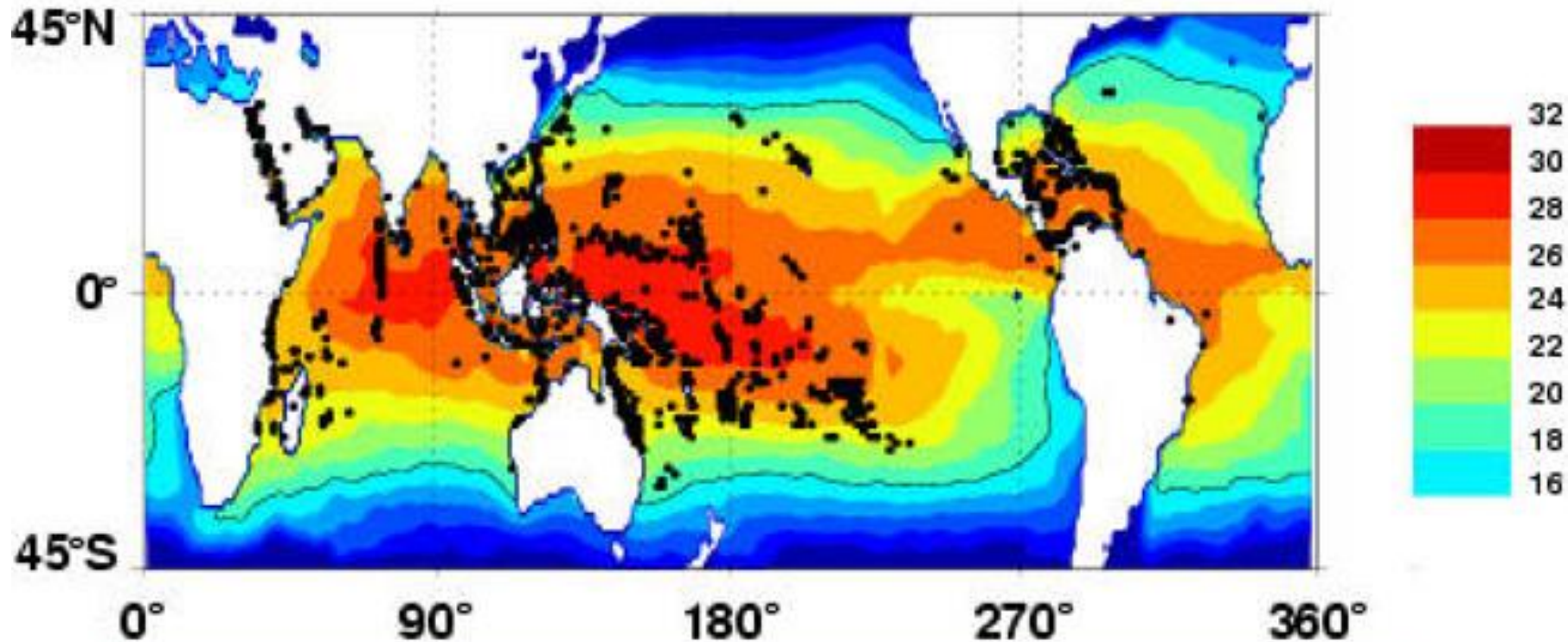
Nudibrânquios com
zooxantelas



Corais com zooxantelas

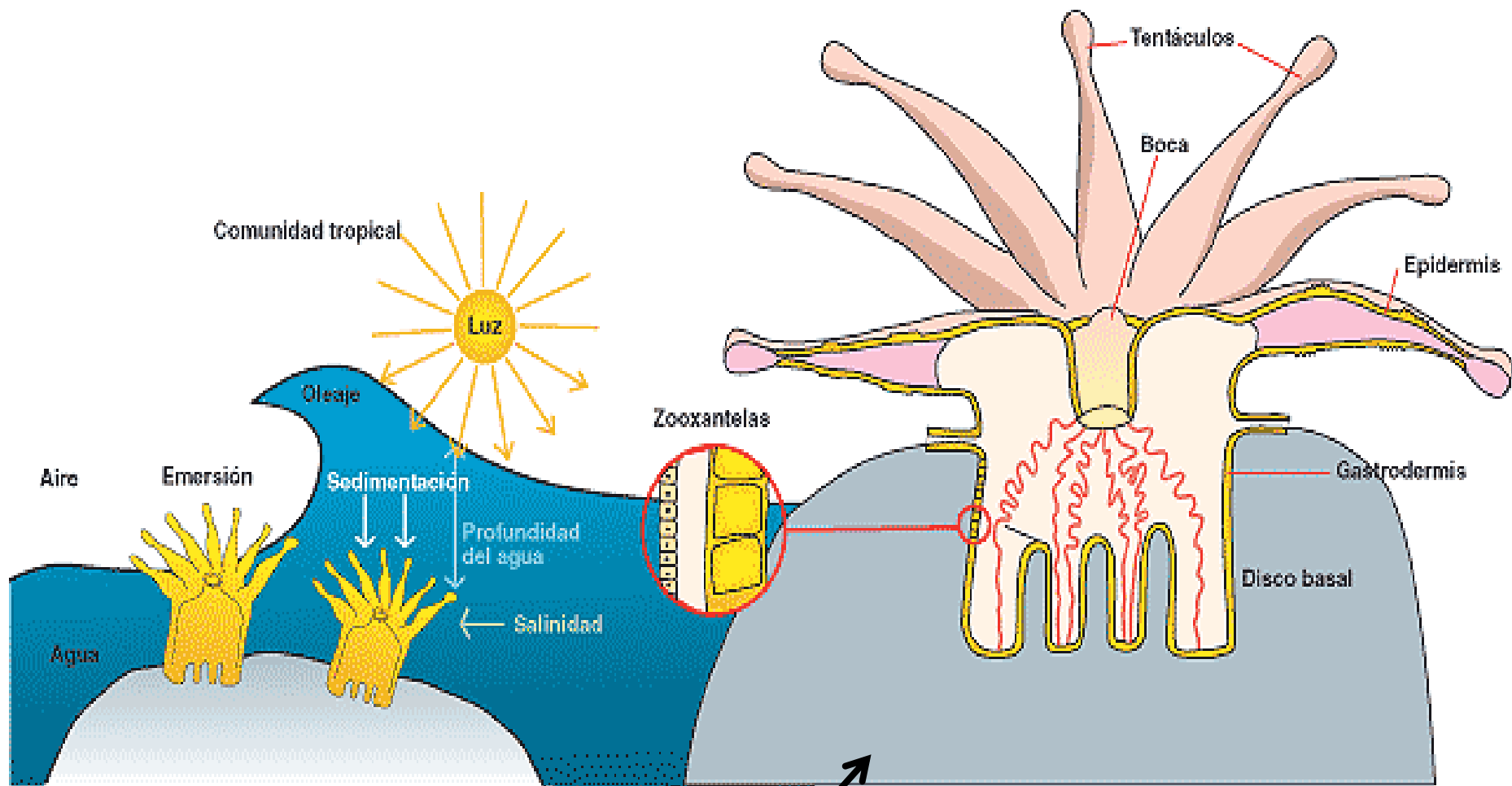


Coral Reef Distribution



Limited by:

- temperature
- light
 - ample sunlight
 - clear water
 - shallow
- saturation state
- full salinity
- low nutrients



Deposição de calcário, com formação de recifes e atóis.

Grande Barreira de Coral – Costa Leste Australiana



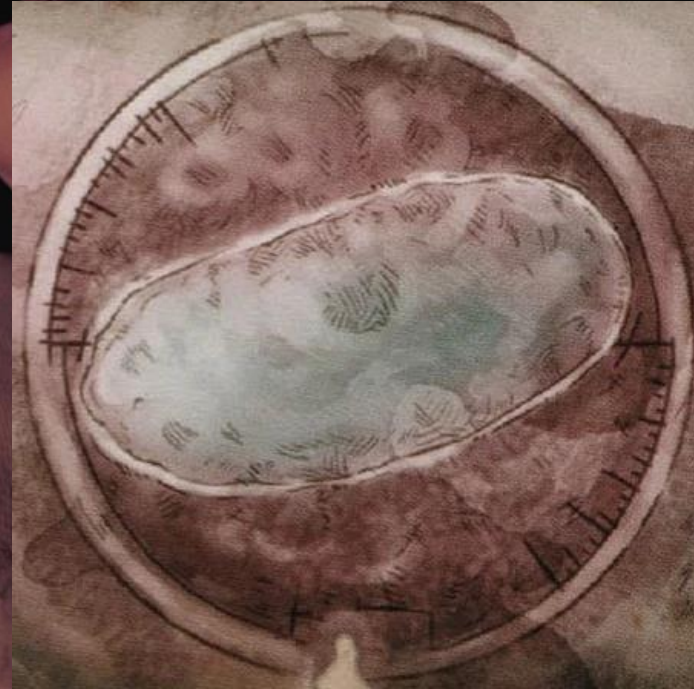


“Coral bleaching” –
embranquecimento do
coral (por morte da
zooxantela), por UV maior
ou aquecimento da água




Endosimbioses hipotéticas

“Without the midi-chlorians, life could not exist, and we would have no knowledge of the Force. They continually speak to us, telling us the will of the Force. When you learn to quiet your mind, you'll hear them speaking to you.”
—Qui-Gon Jinn para Anakin Skywalker



Mais de 20.000 Midi-chlorians!

<https://starwars.fandom.com/wiki/Midi-chlorian?file=Midi-chlorian.jpg>

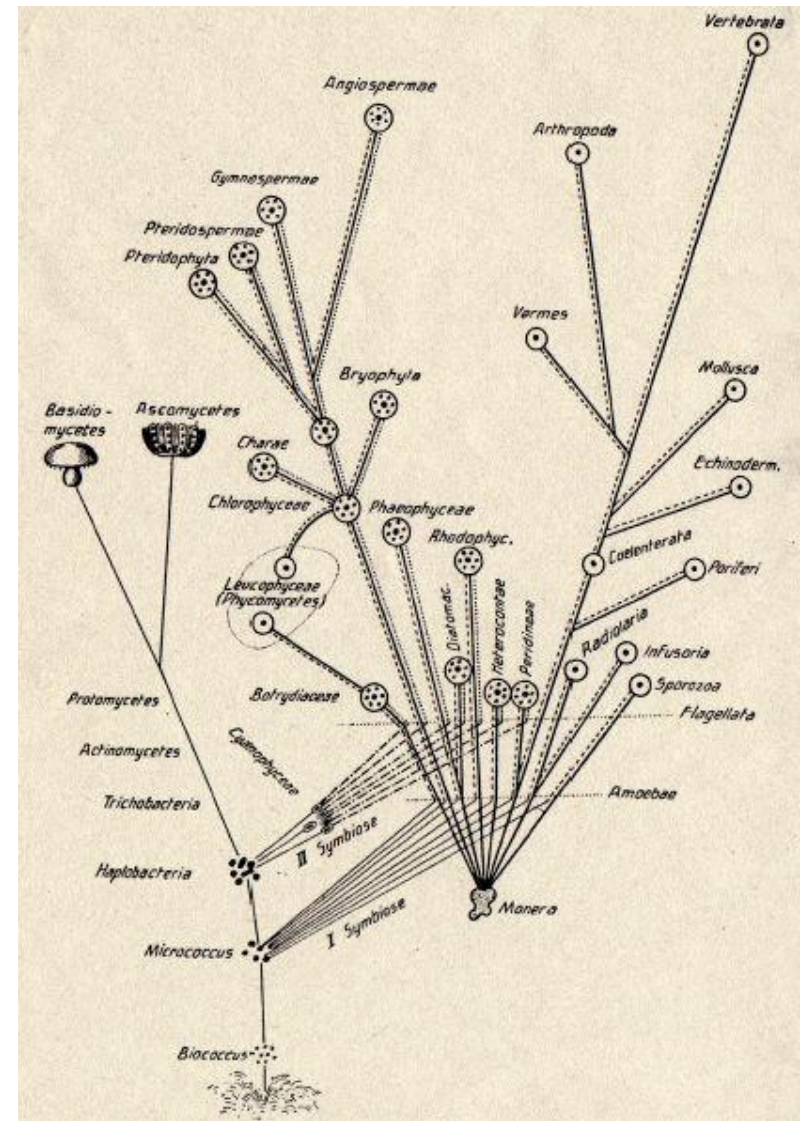


The Force is what gives a Jedi his power. It's an energy field created by all living things. It surrounds us and penetrates us. It binds the galaxy together.

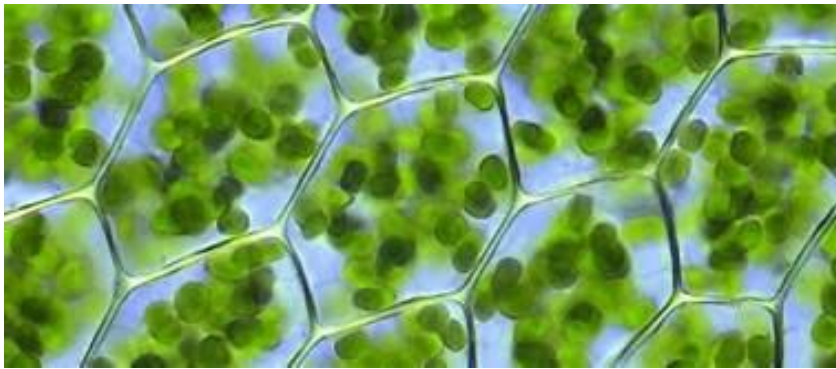
Ué???



(Konstantin S. Merezhkovsky, 1855-1921, botânico russo)



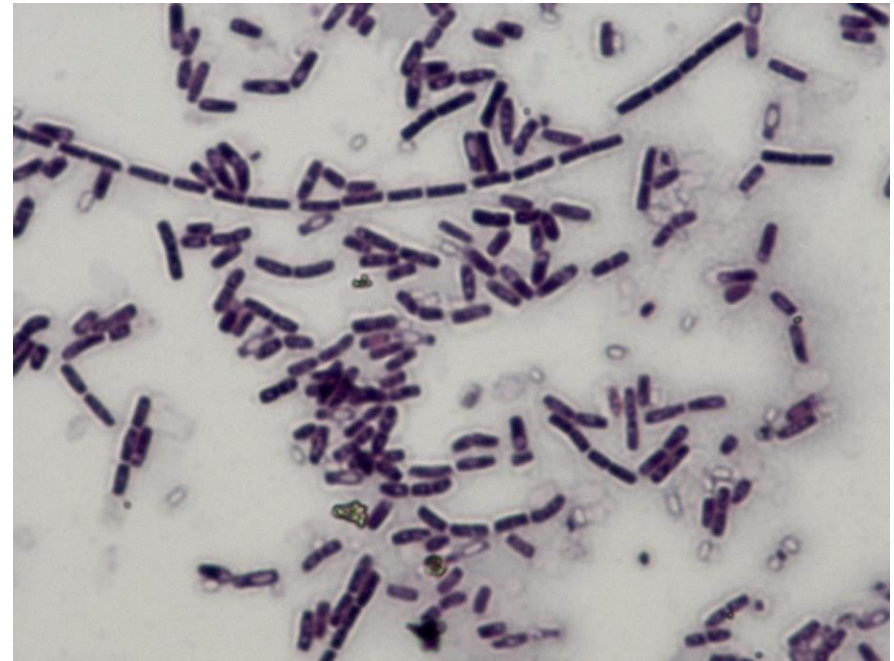
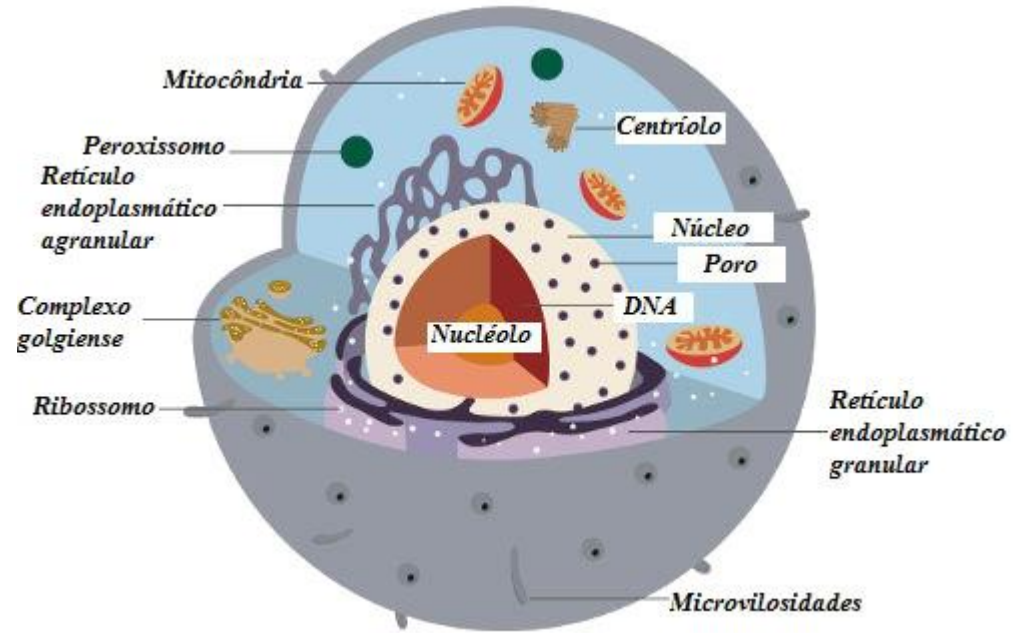
Plastos são originários de cianobactérias (=cianofíceas ou algas azuis)



The Theory of Two Plasms as the Basis of Symbiogenesis, a New Study or the Origins of Organisms (1909)



Ivan Emanuel Wallin (1883-1969, americano)
("Mitochondria Man").



Primeiro a postular que as mitocôndrias poderiam ser bactérias endossimbiontes e que as organelas eucarióticas teriam origem bacteriana (década de 1920, "On the nature of mitochondria" e "Symbiointicism and the origin of species")



Ivan Emanuel Wallin
Universidade do Colorado (USA)



Slughorne e suas festinhas (Harry
Potter)



Teoria da Endossimbiose

Lynn Margulis
(1938-2011)

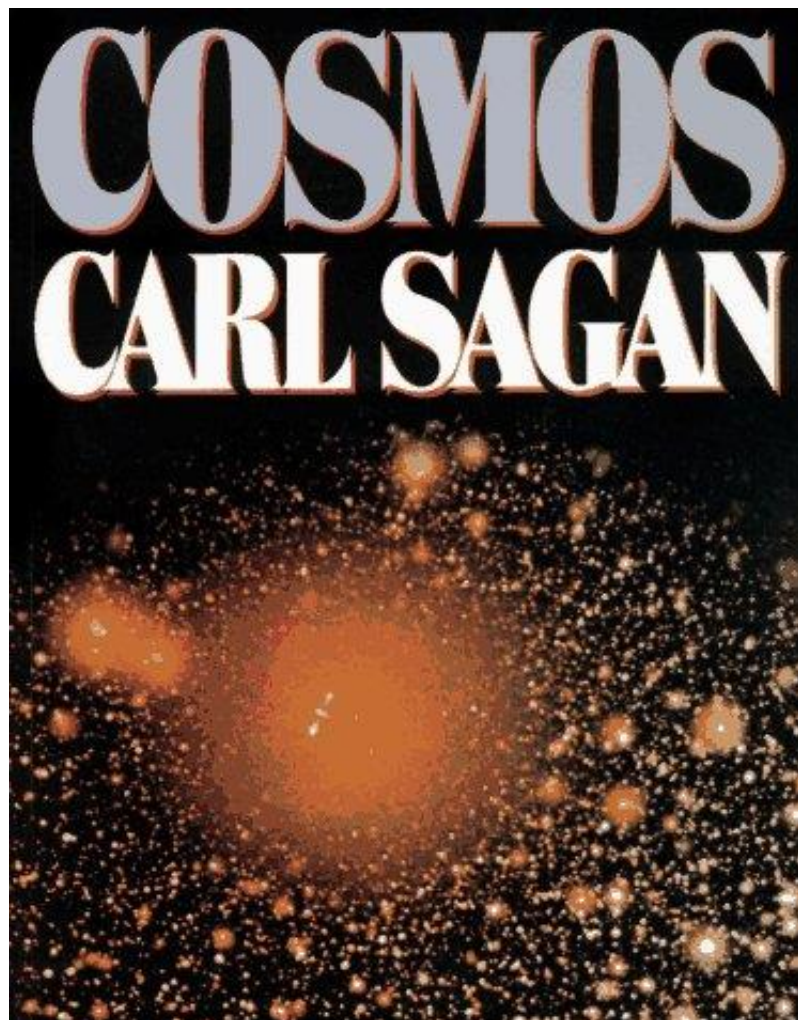
"On the Origin of Mitosing Cells"
J. Theoret. Biol. 14, 225-274. 1967

"Symbiosis in Cell Evolution" 1981

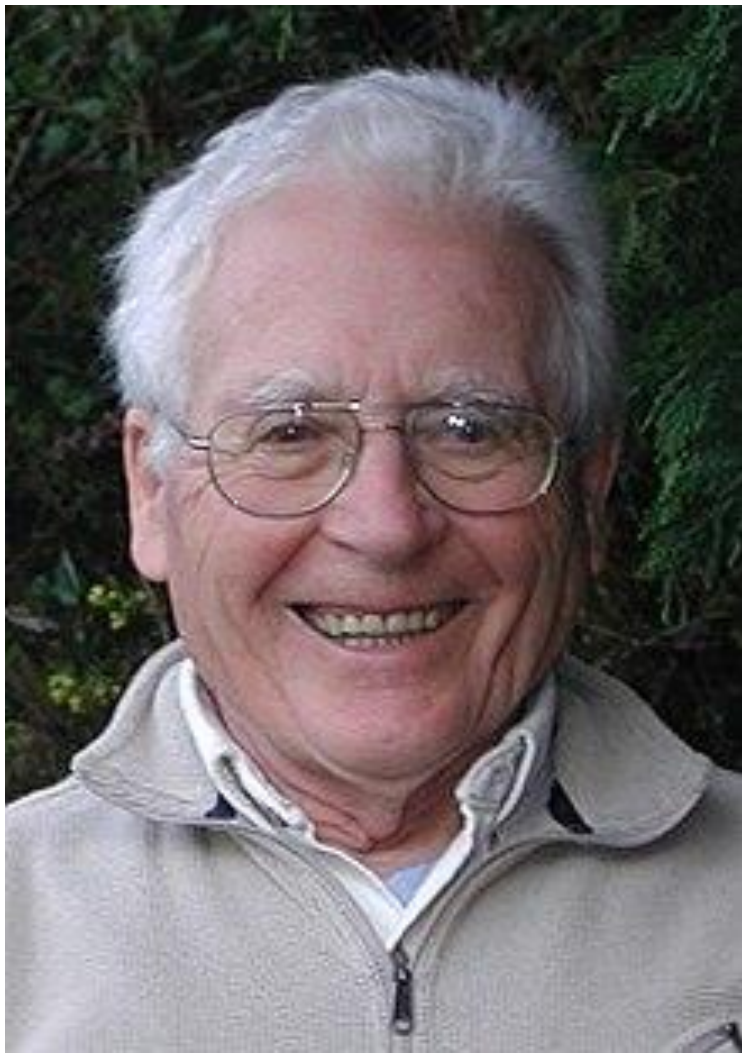




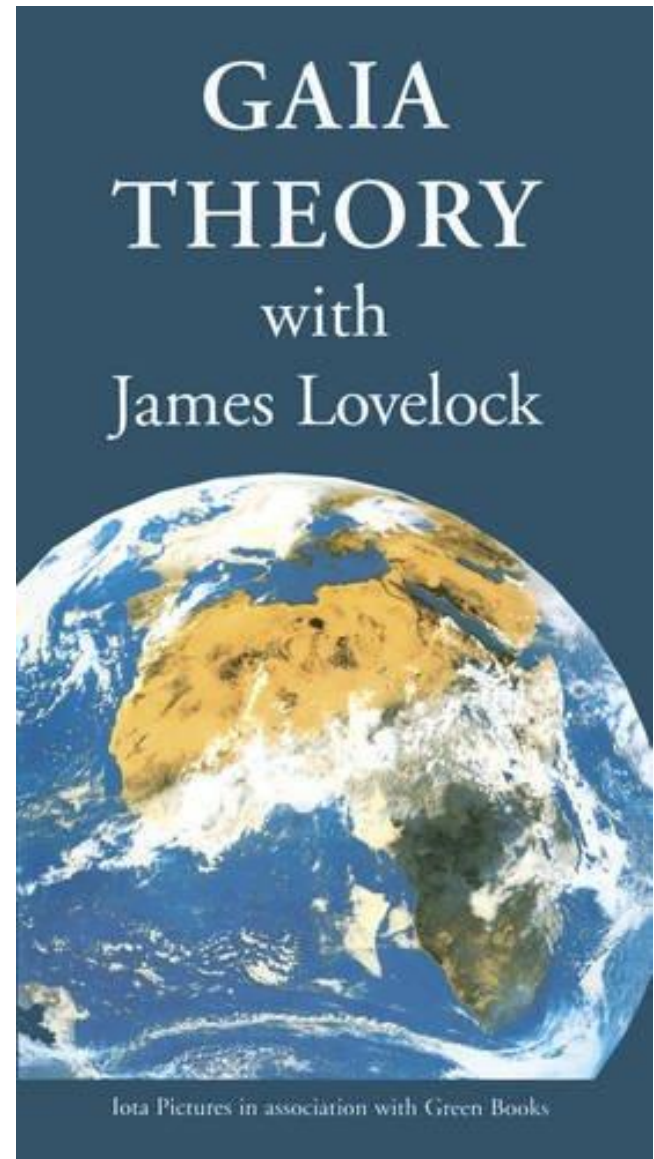
Lynn Margulis & Carl Sagan



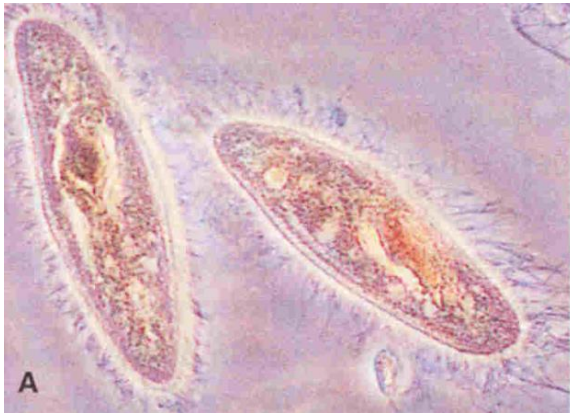
Carl Sagan



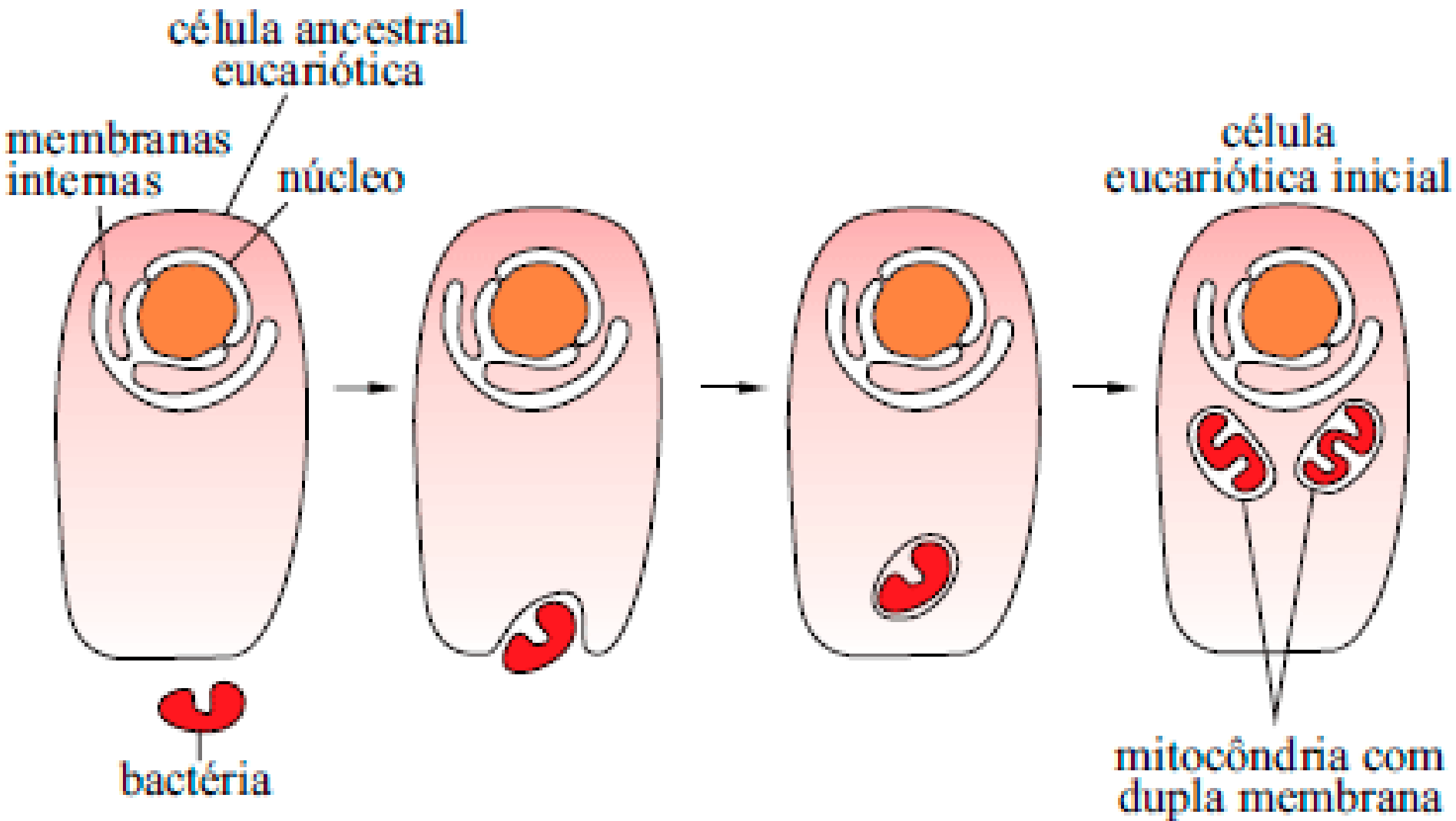
James Lovelock e a
Hipótese de Gaia







Margulis: “Cooperação é a chave para a evolução”



Fagocitose de bactérias teria sido origem de mitocôndrias

Origem de organelas como mitocôndrias e cloroplastos: duas hipóteses



Hipótese
Endossimbiótica



Hipótese
"Step by Step"



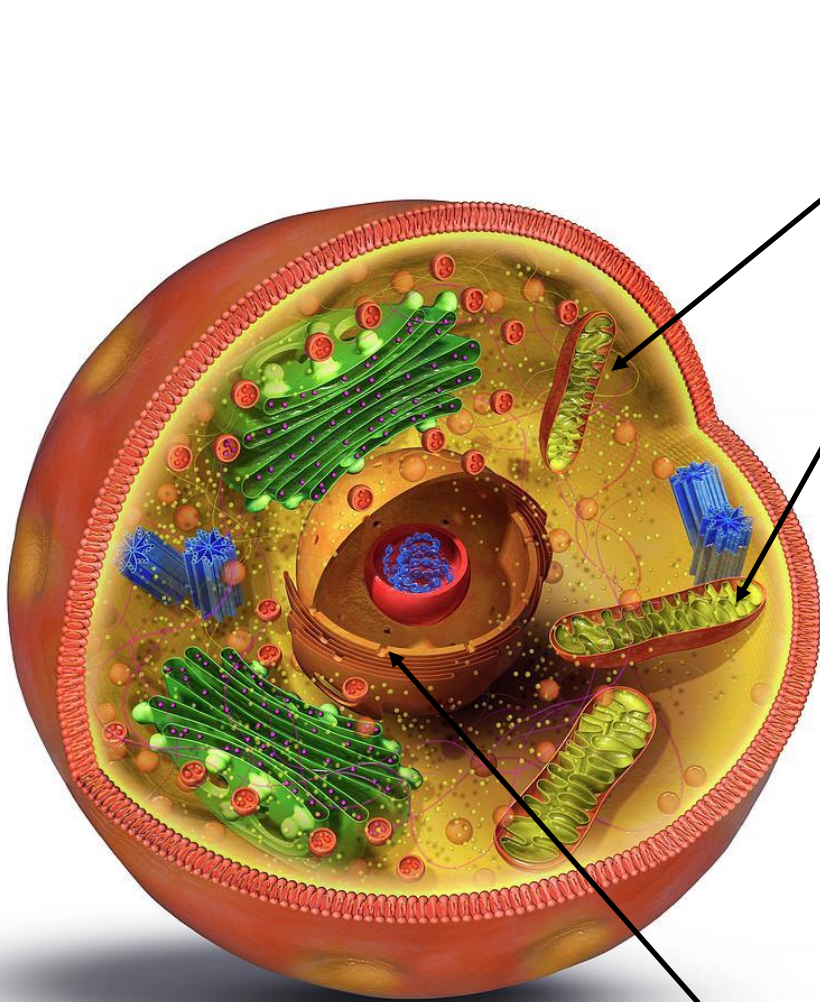
quimera

Resultado da imaginação que tende a não se realizar.

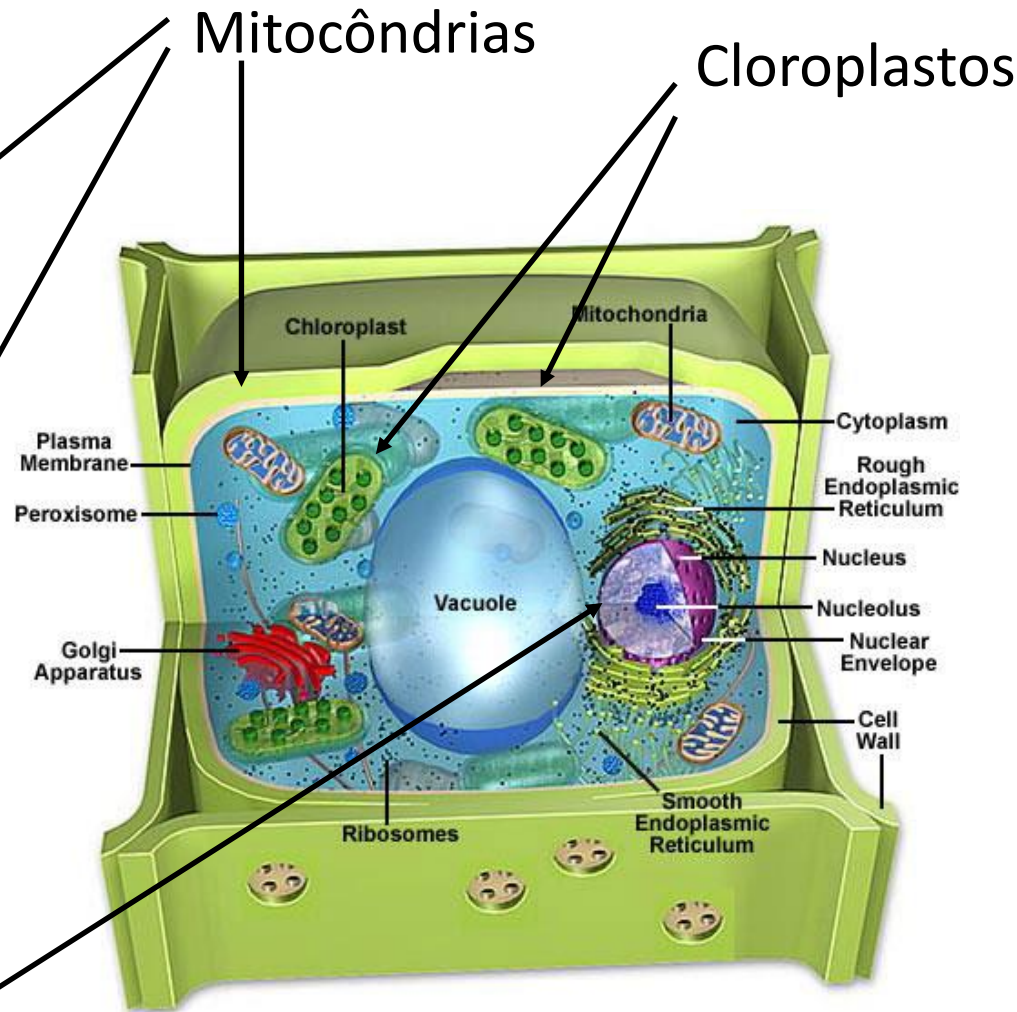
Monstro mitológico caracterizado por possuir cabeça de leão, corpo de cabra e cauda de serpente.

Indícios

- Mitocôndrias e cloroplastos possuem DNA próprio
- São semelhantes a bactérias e cianobactérias (“algas azuis”) atuais
- Se “reproduzem” por fissão
- Possuem dupla membrana (ou até tripla) ao invés de membrana única
- As células que as perdem não as recuperam espontaneamente



Célula animal



Célula vegetal

Mitocôndrias

Cloroplastos

Plasma Membrane
Peroxisome

Golgi Apparatus

Núcleo

Chloroplast

Mitochondria

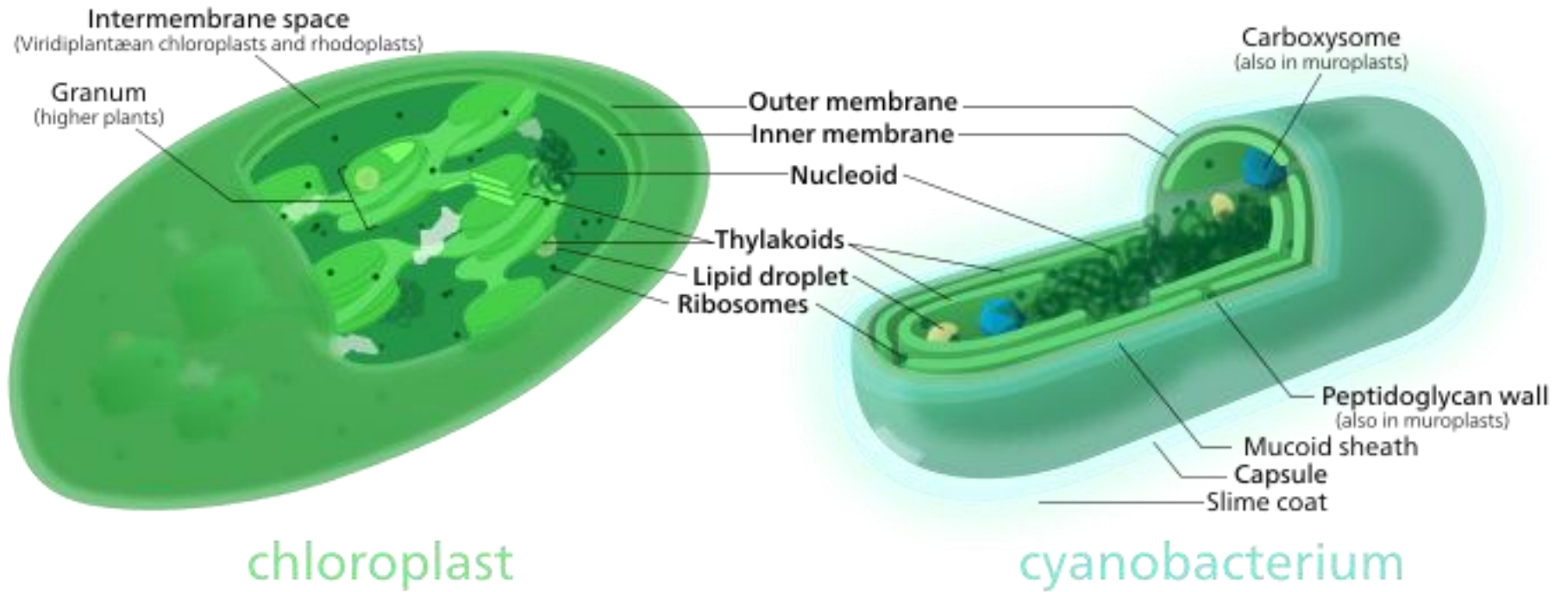
Vacuole

Ribosomes

Smooth Endoplasmic Reticulum

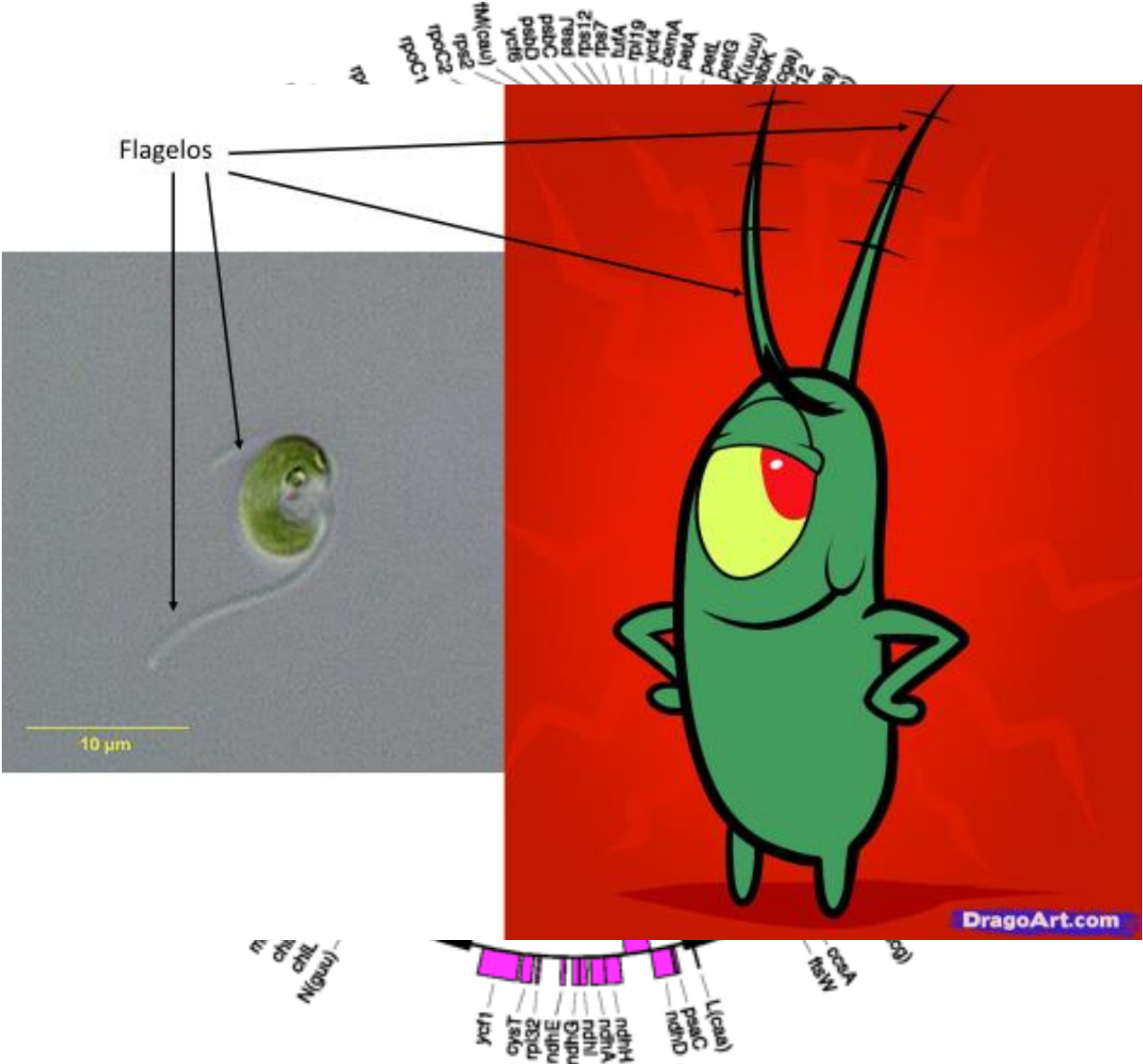
Cytoplasm
Rough Endoplasmic Reticulum
Nucleus
Nucleolus
Nuclear Envelope

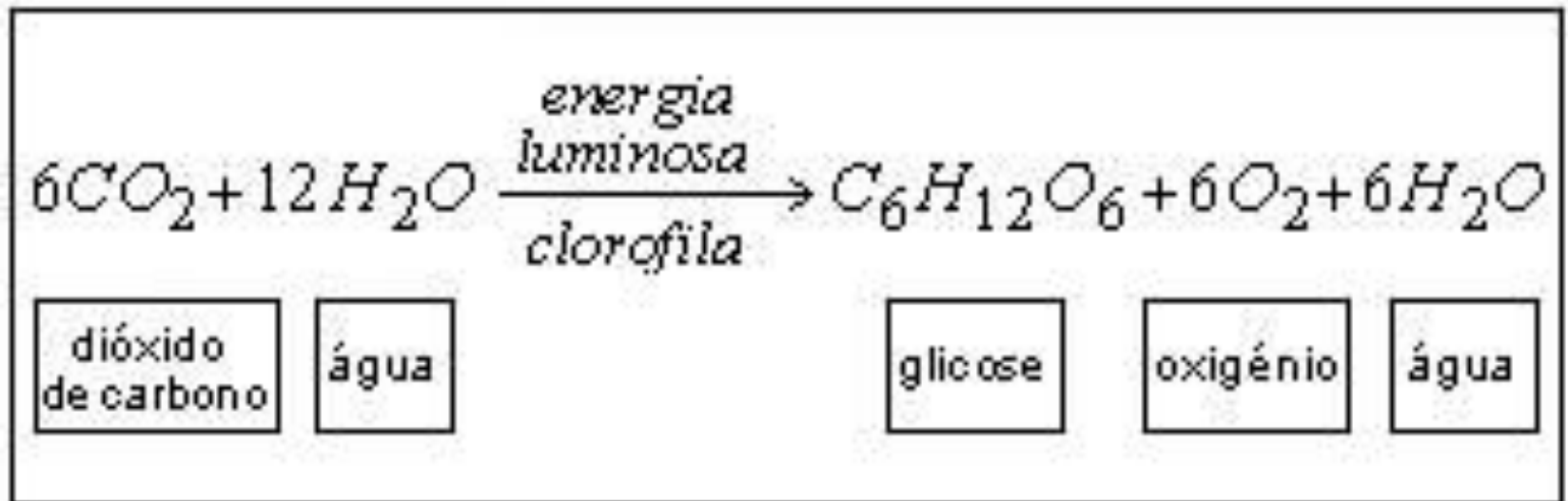
Cell Wall



Cloroplastos

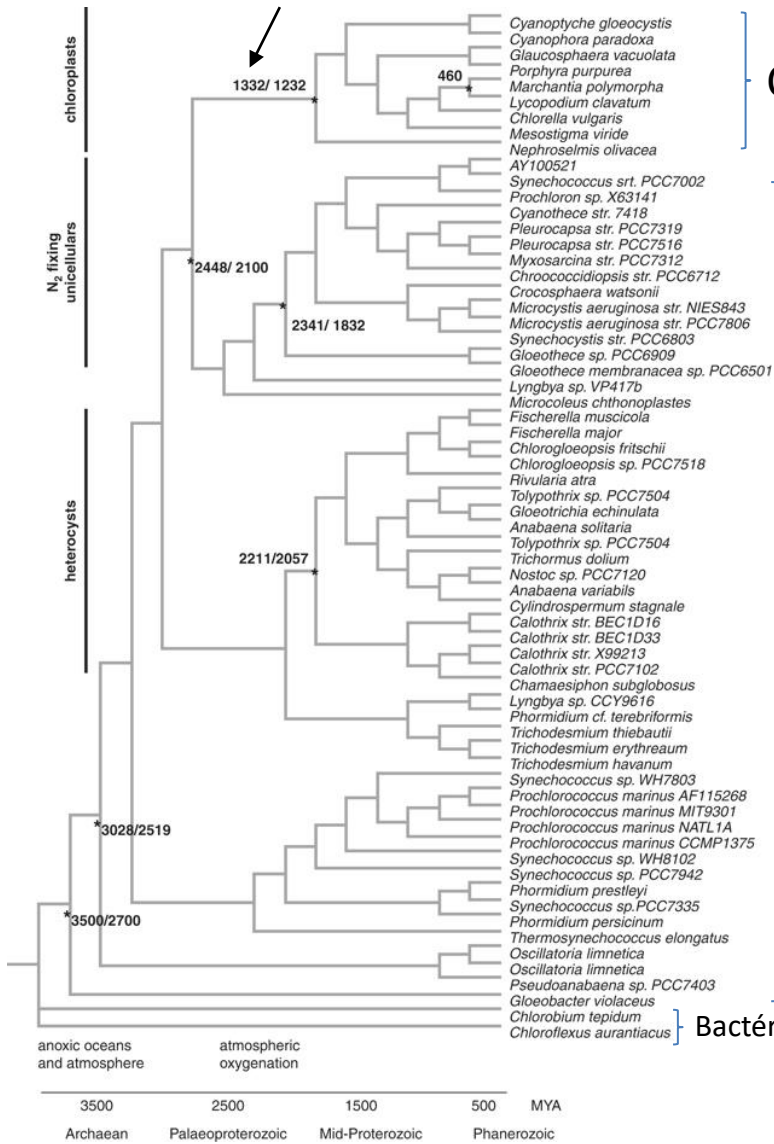
DNA do cloroplasto (cpDNA): mapa para *Nephroselmis olivacea*



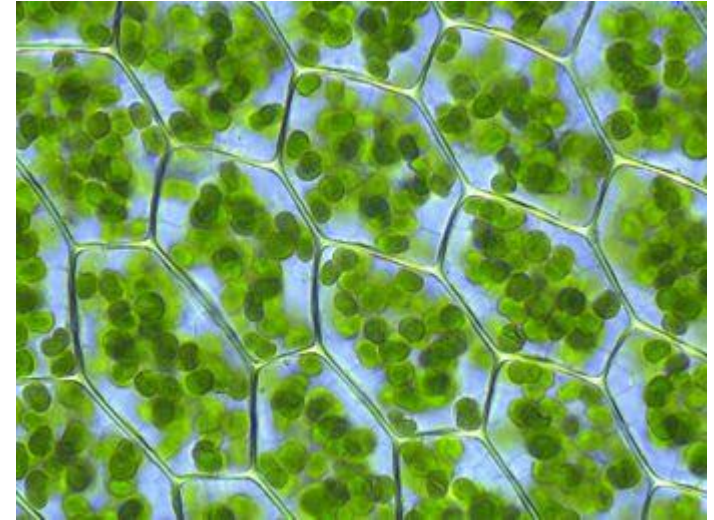


Fotossíntese

Endossimbiose há 1,3-1,2 bilhão de anos



Cloroplastos



Cianobactérias



origem: 3,5-2,7 bilhões de anos (lembrem das aulas da Annie e do Max!)



Bactérias termofílicas

Aumento [O₂] de 0% para 21%



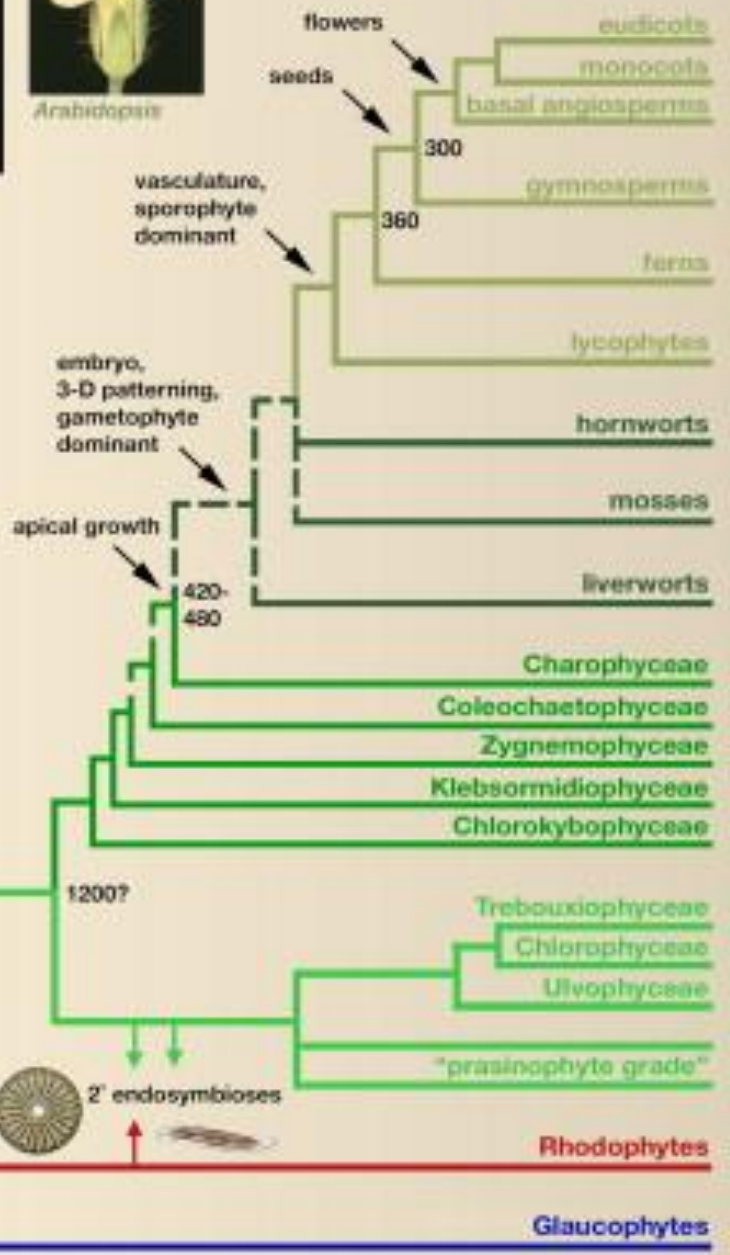
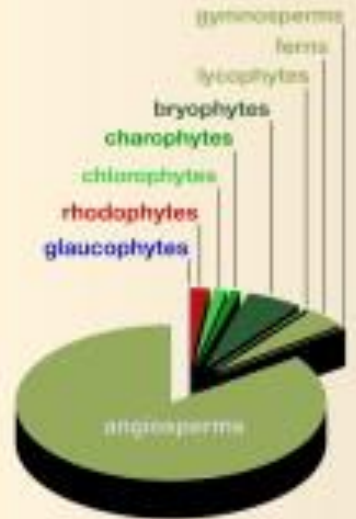
Populus



Oryza



Arabidopsis



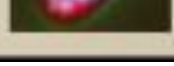
- Opuntia
- Arabidopsis
- Populus
- Oryza
- gymnosperms
- ferns
- lycophytes
- hornworts
- mosses
- liverworts
- Charophyceae
- Coleochaetophyceae
- Zygnemophyceae
- Klebsormidiophyceae
- Chlorokybophyceae
- Trebouxiophyceae
- Chlorophyceae
- Ulvophyceae
- "prasinophyte grade"
- Rhodophytes
- Glaucophytes

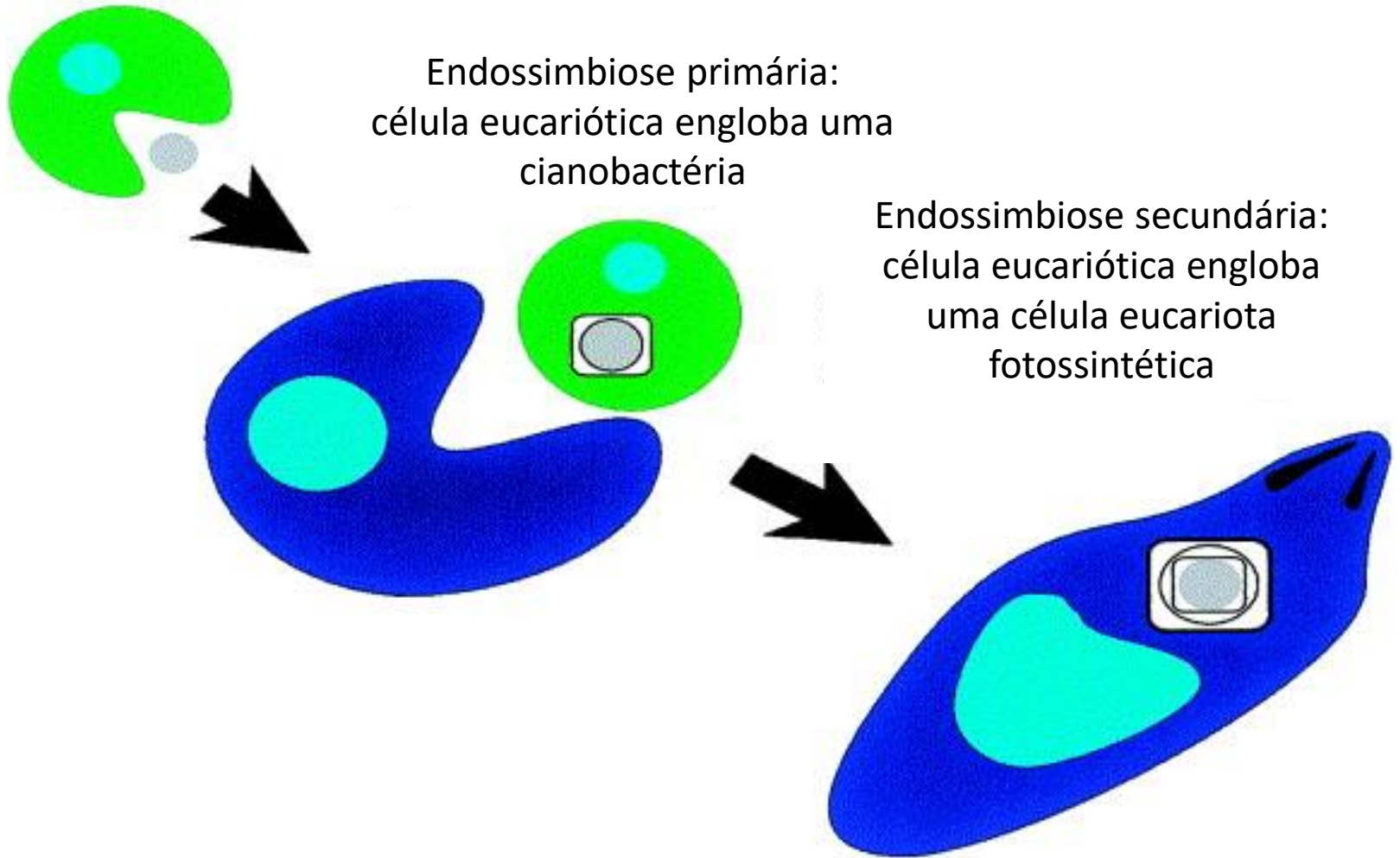
vascular plants

bryophytes

charophytes

chlorophytes

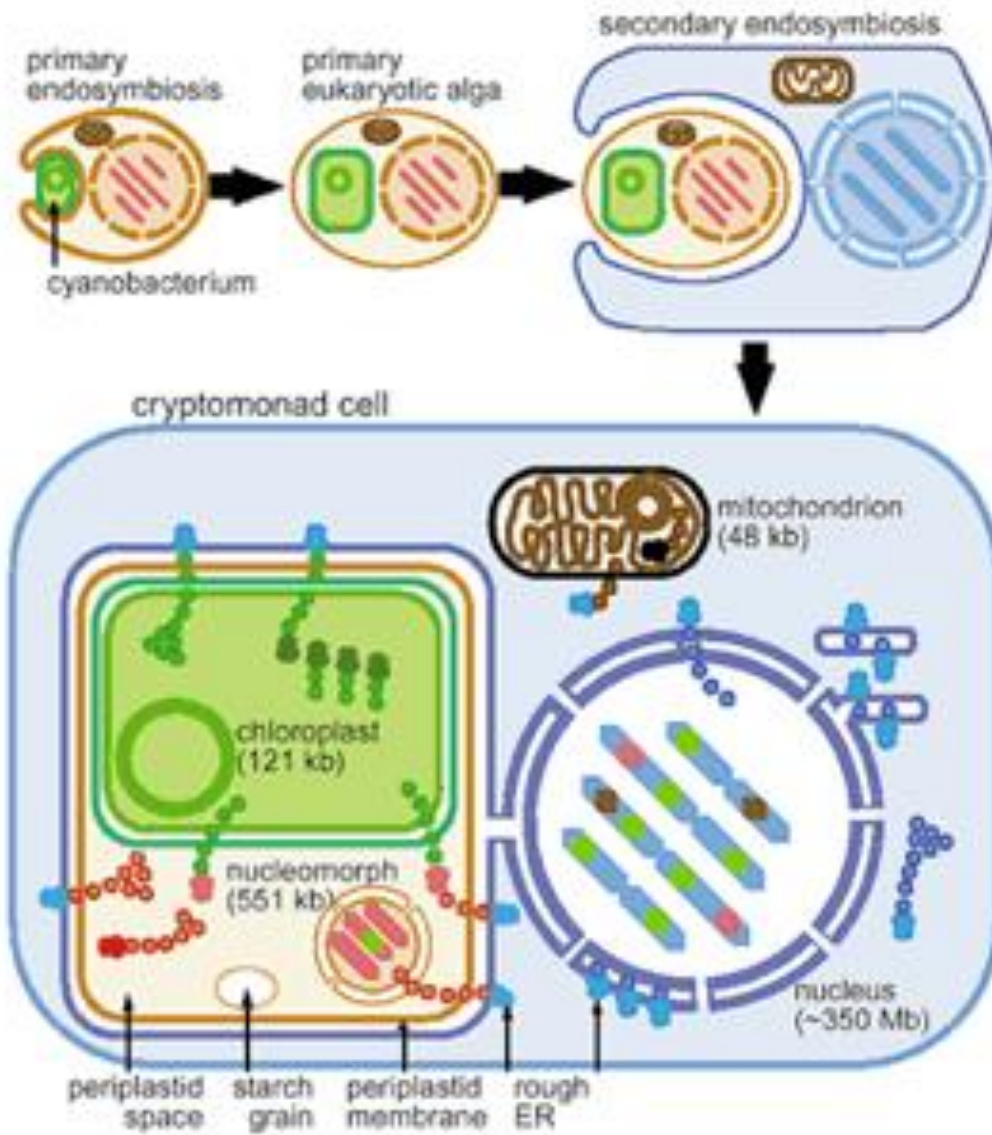




Endossimbiose primária:
célula eucariótica engloba uma
cianobactéria

Endossimbiose secundária:
célula eucariótica engloba
uma célula eucariota
fotossintética

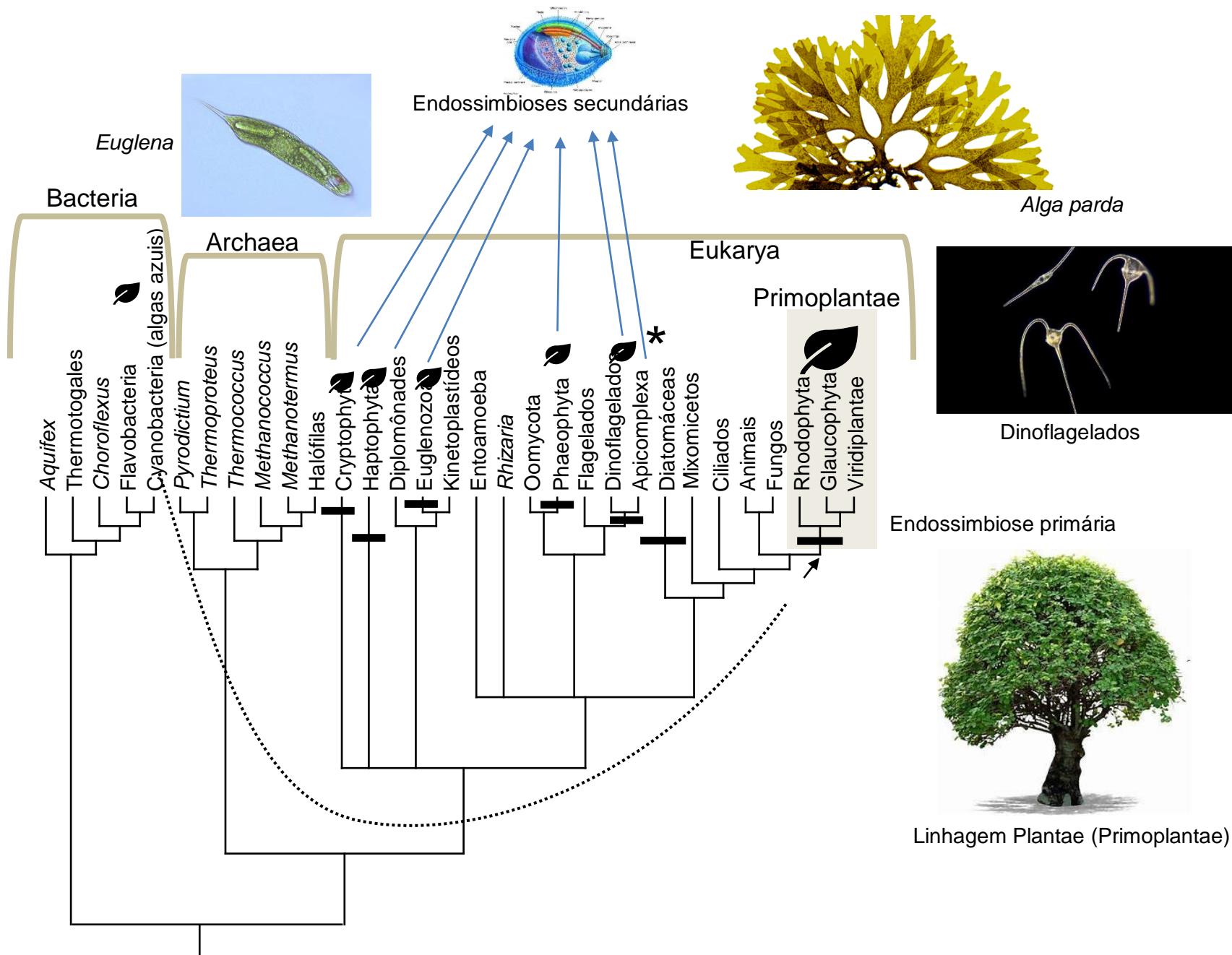
Endossimbiose primárias x
secundária



“Matrioshka simbiótica”



Привет!





Alga parda



Euglena

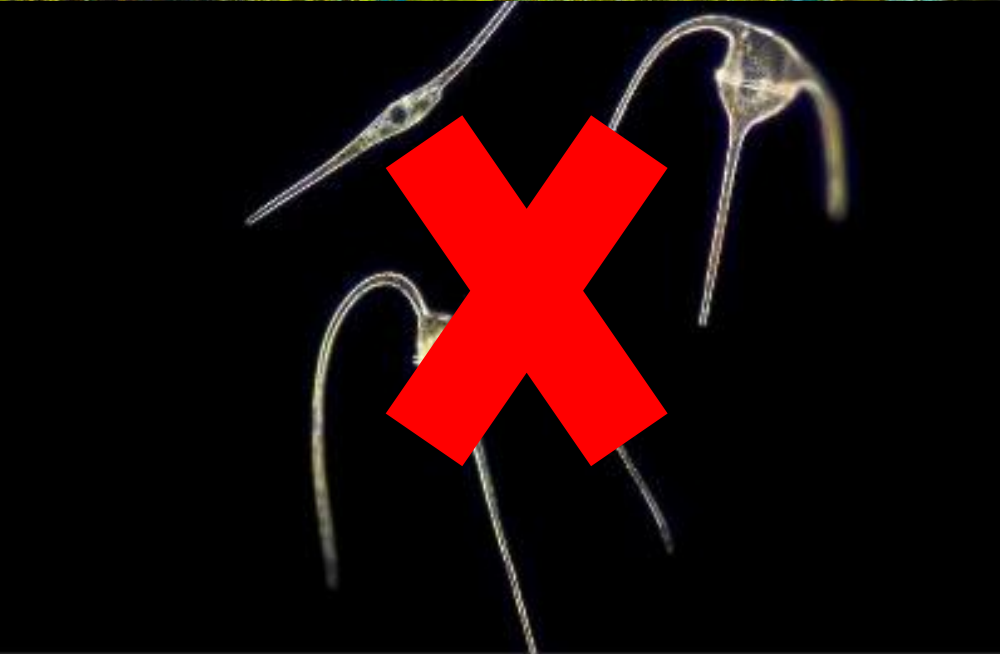
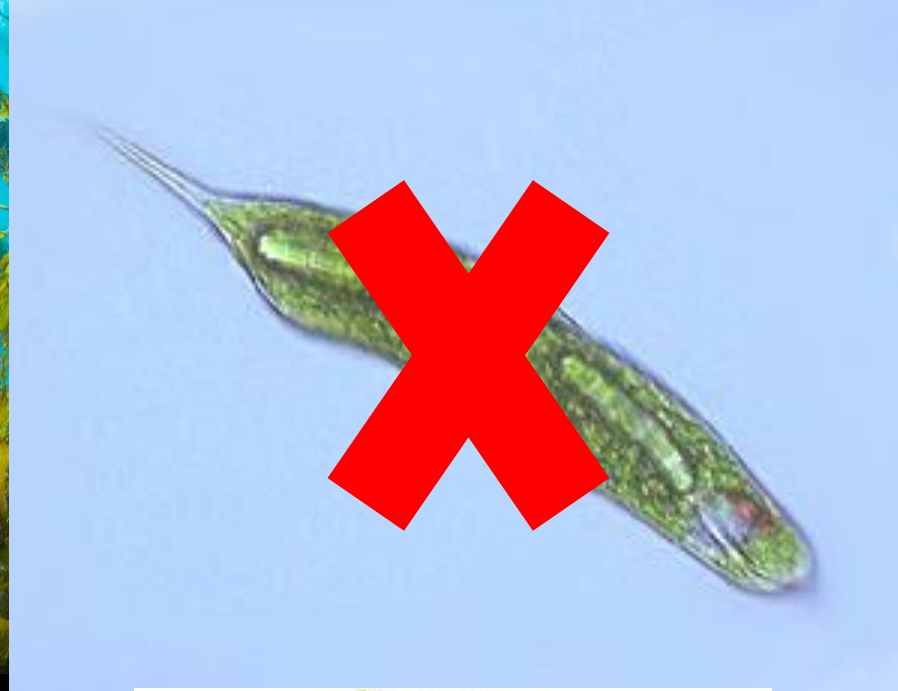


Dinoflagelados



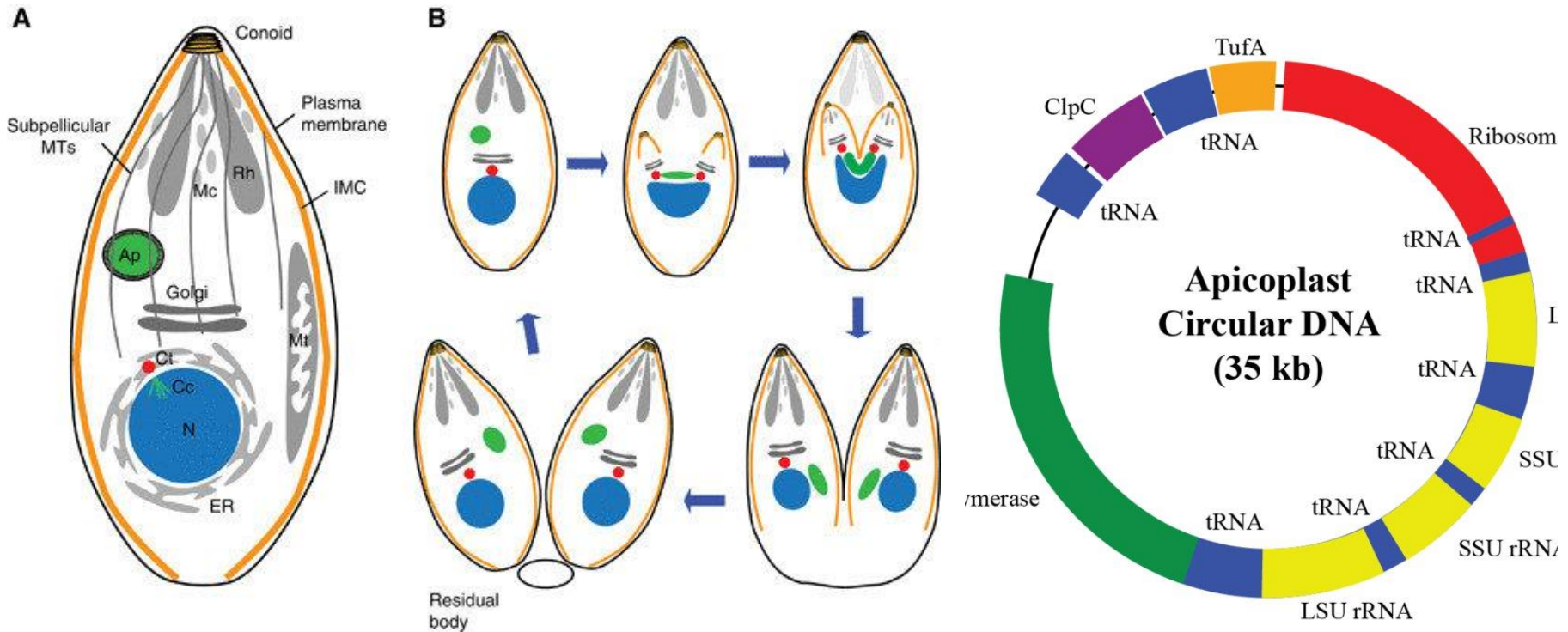
Angiosperma

Quais são da Linhagem Plantae ? (= Plantas)



Quais são da Linhagem Plantae ? (= Plantas)

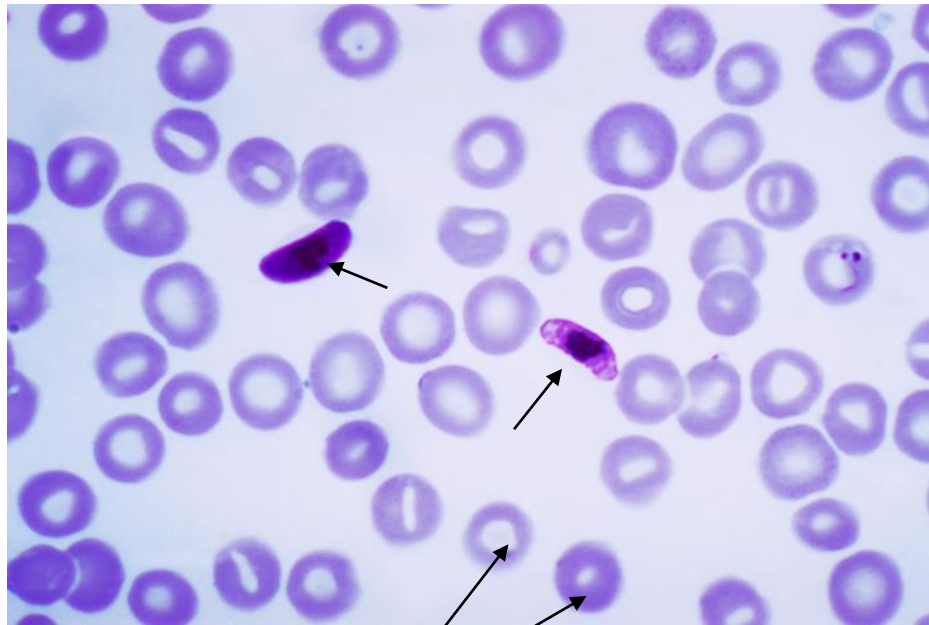
Apicoplasto: ocorre nos Apicomplexa, surgido pelo englobamento de um organismo da linhagem das algas vermelhas por um protozoário



Divisão em *Toxoplasma gondii* (Jacot et al. 2013)

Apicomplexa: diferentes protozoários parasitas patogênicos – malária (*Plasmodium*), toxoplasmose (*Toxoplasma*), Coccidiose (*Eimeria*)

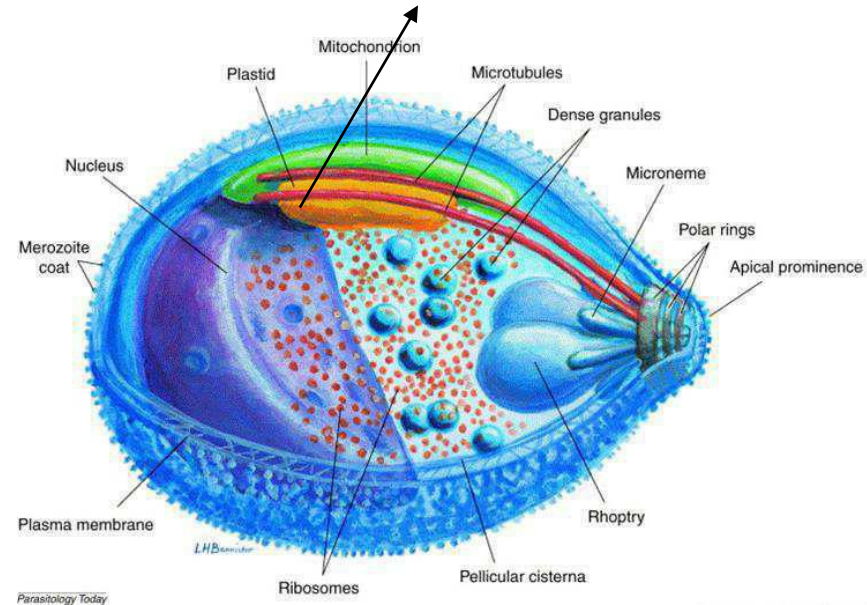
Apicomplexa: *Plasmodium falciparum*, causador da malária



Hemácias

Plasmodium em amostra de sangue
(setas menores)

Apicoplasto (em laranja)

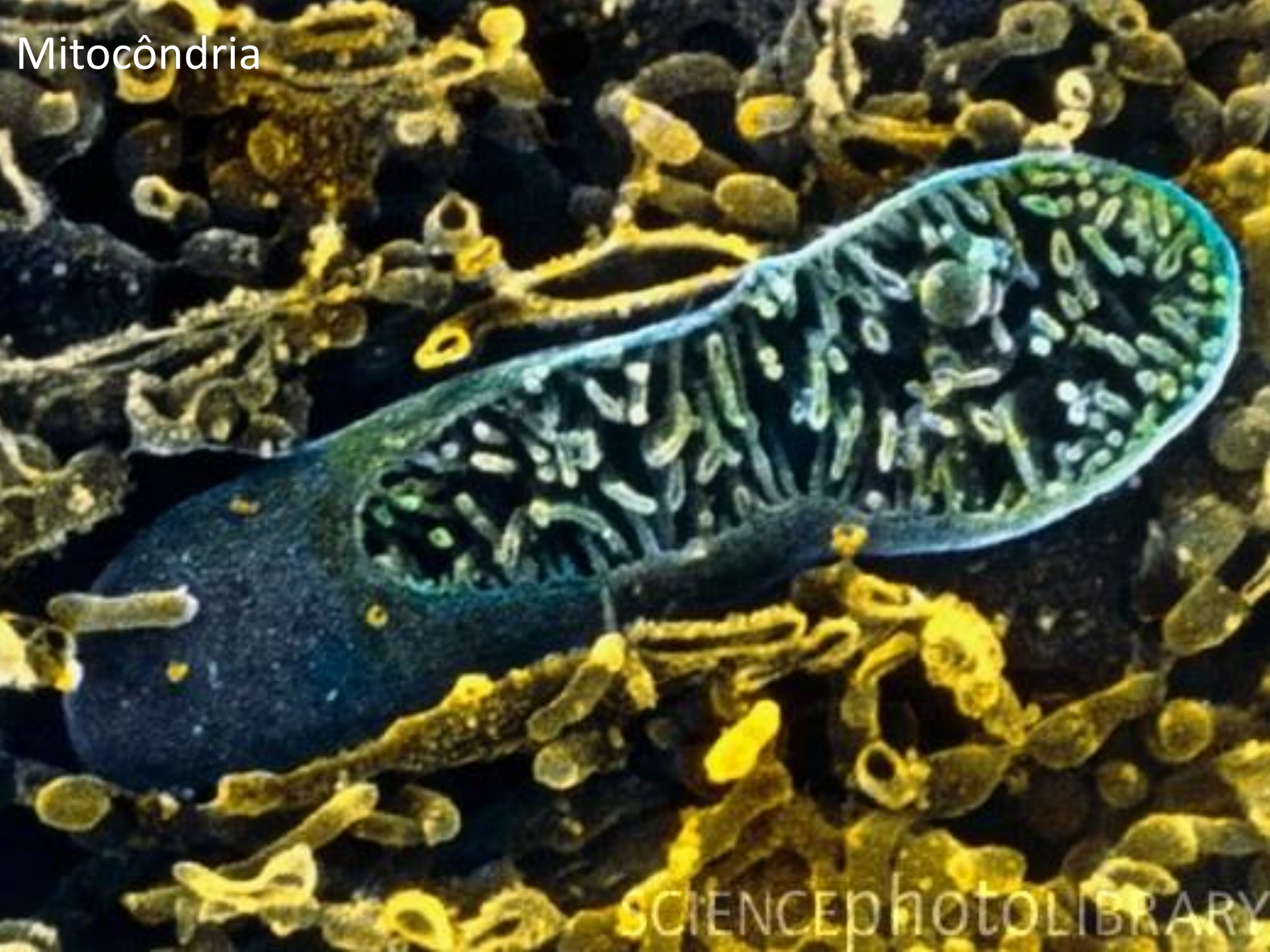


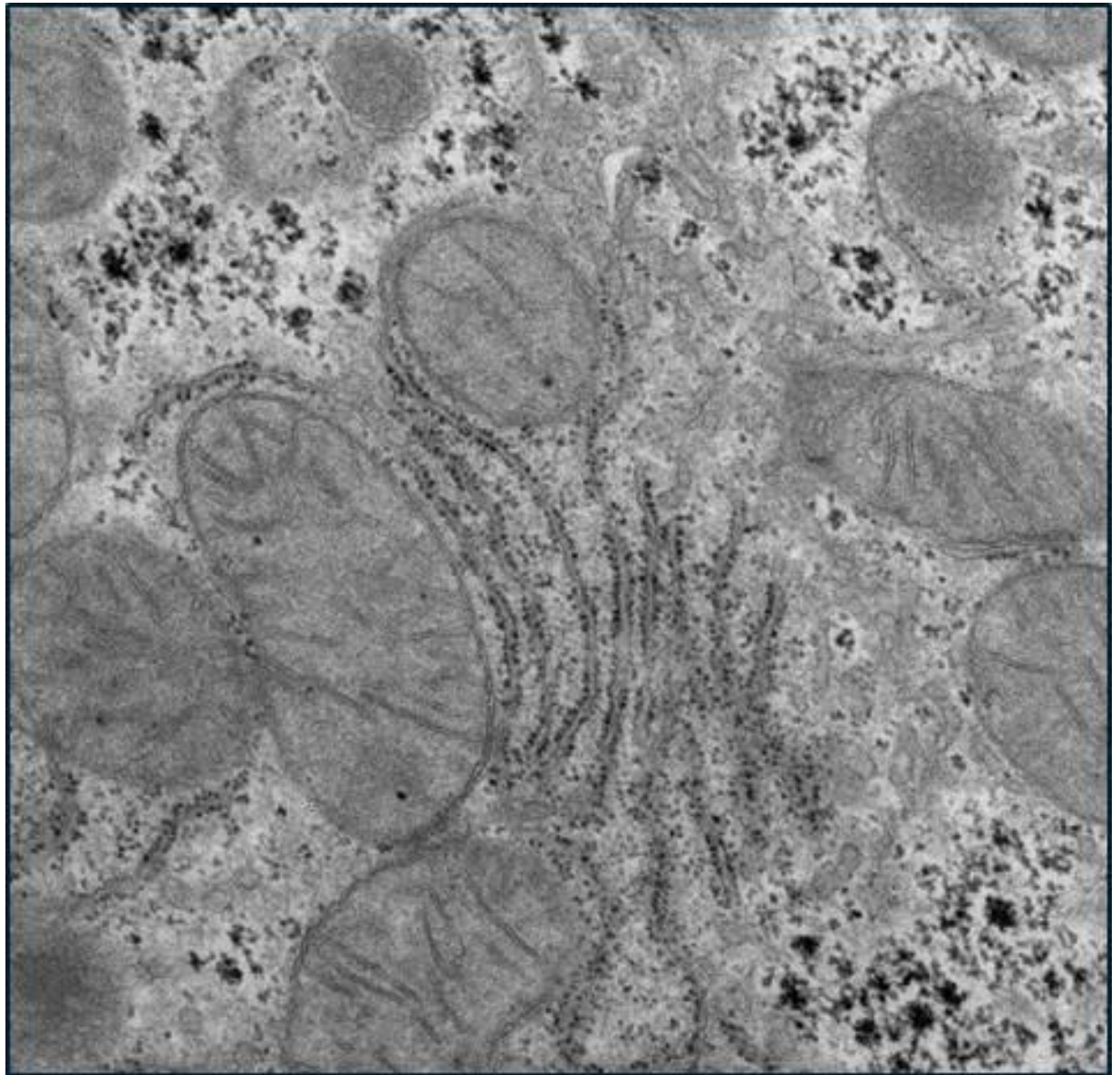
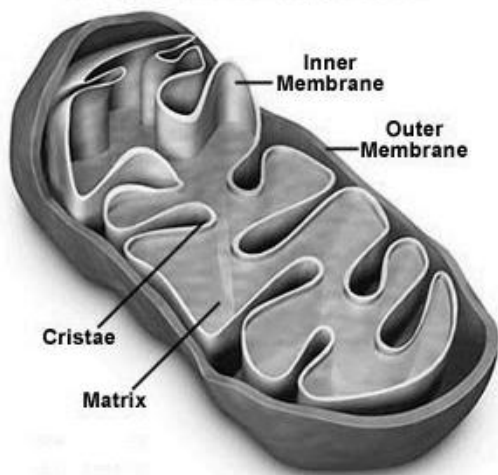


Vorticella (Protozoa) em associação com “algas” verdes (*Chlorella*) – endossimbiose primária na alga (cloroplasto, isto é, “cianobactéria” ancestral) , que é endossimbionte de um Protozoa

(LEMBREM DA BONEQUINHA RUSSA)

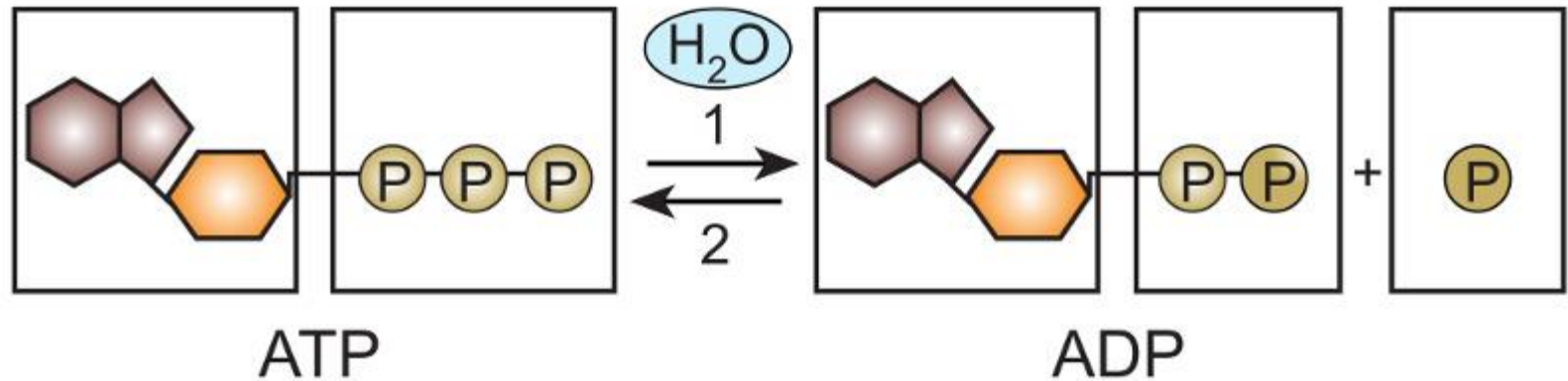
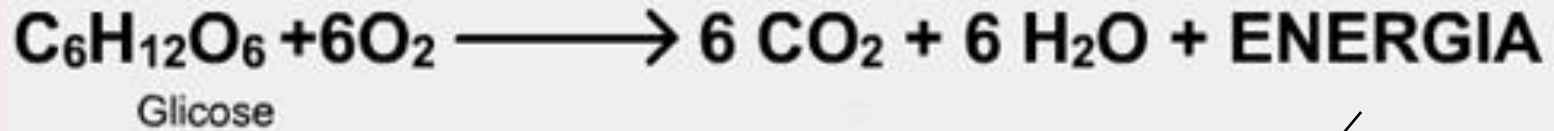
Mitocôndria





<https://www.uantwerpen.be/en/research-groups/imark/technologies/electron-microscopy/>

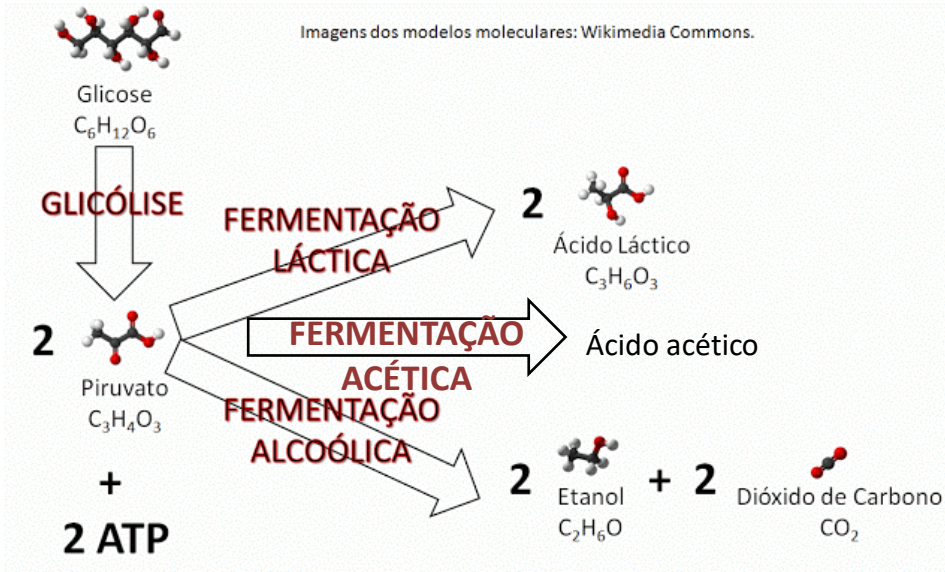
Respiração



<https://www.biologianet.com/biologia-celular/atp-adenosina-trifosfato.htm>

Qual seria a “vantagem”
na Endossimbiose para
os organismos
envolvidos?

Fermentação X Respiração

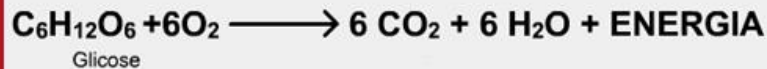


Fermentação (respiração ou processo anaeróbio)

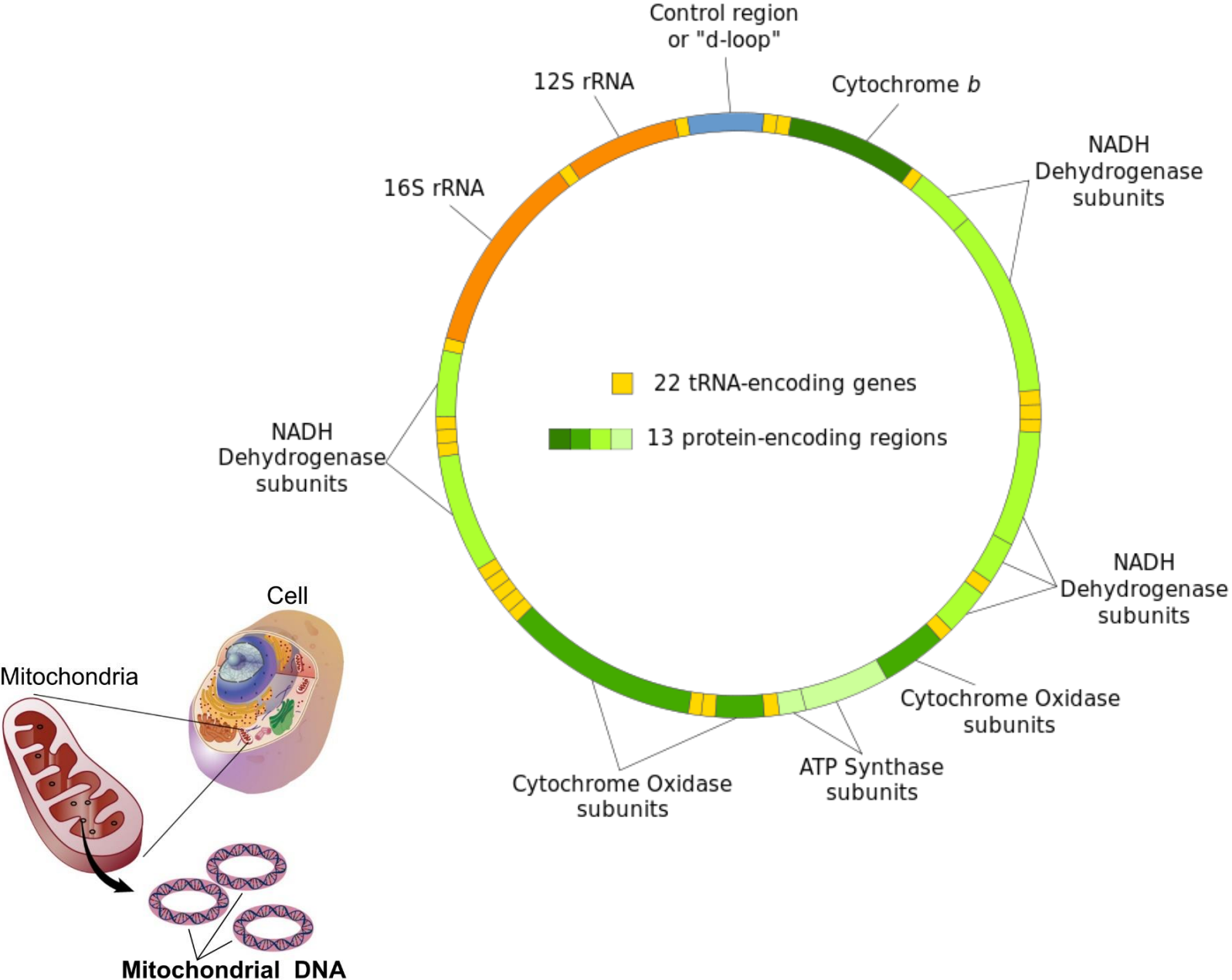
degradação parcial da matéria orgânica (glicose), sendo seu produto final dependente do organismo que realiza esse tipo de reação. Ocorre em bactérias termofílicas, fungos e outras células específicas (como as musculares).

Saldo energético por molécula de glicose: **2 ATP**

Respiração aeróbia) – degradação da matéria orgânica (glicose) , com produção de água e gás carbônico. Ocorre em todos os organismos aeróbicos. Saldo energético por molécula de glicose: **32 a 38 ATP**

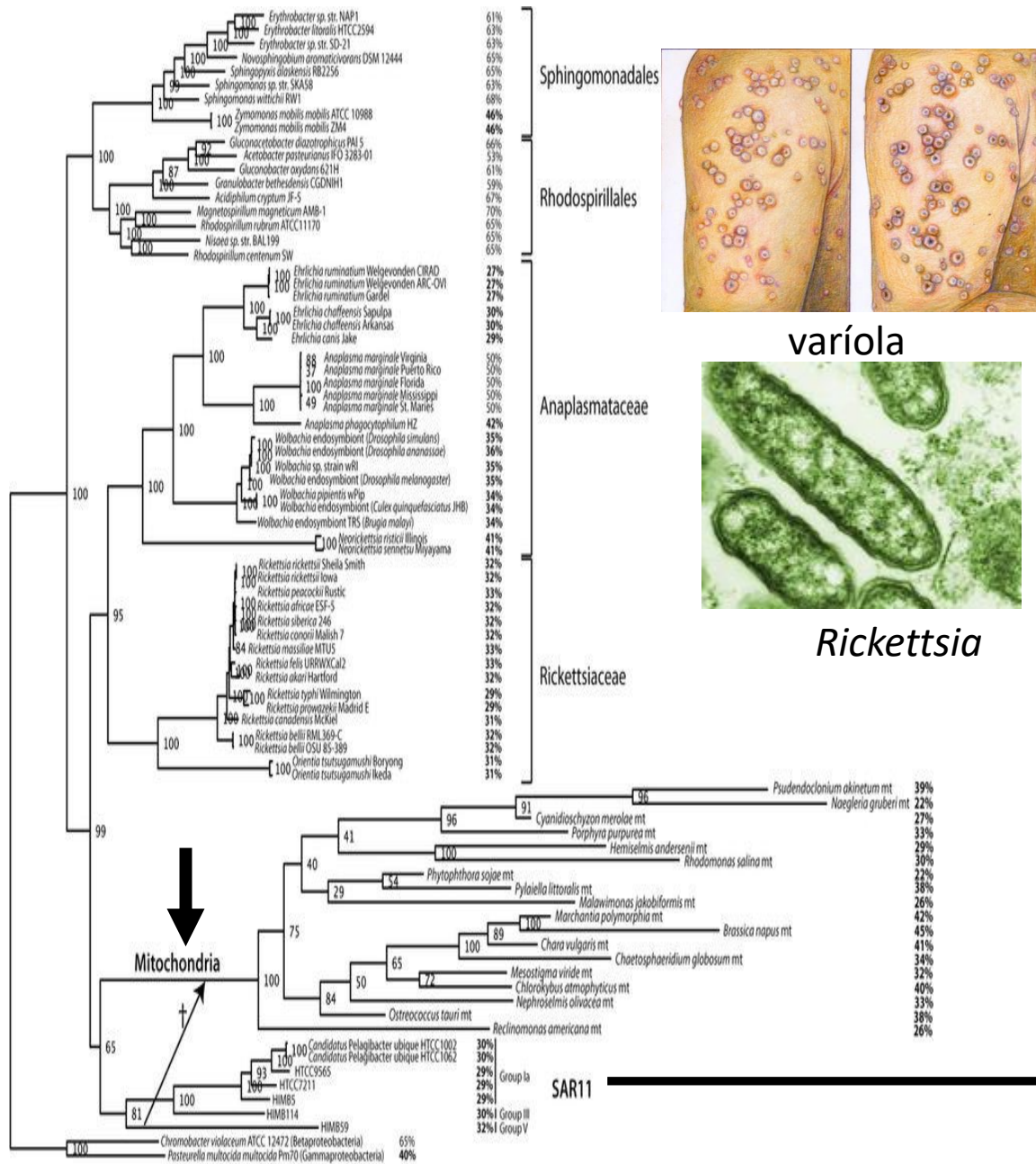


DNA mitochondrial (mtDNA): mapa



Thrash et al. (2011):
mitocôndria são próximas
das bactérias do clado SAR11
(formam 25% da massa
planctônica, com origem
provável no Pré-Cambriano)

Endossimbiose em 1,6 bilhão
de anos (300 milhões de anos
mais antiga que a simbiose com
os cloroplastos)



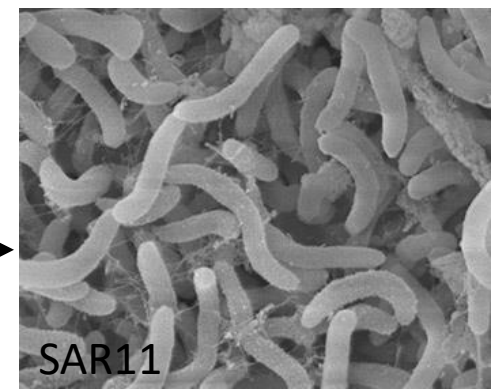
varíola



Rickettsia



Mitocôndrias



SAR11

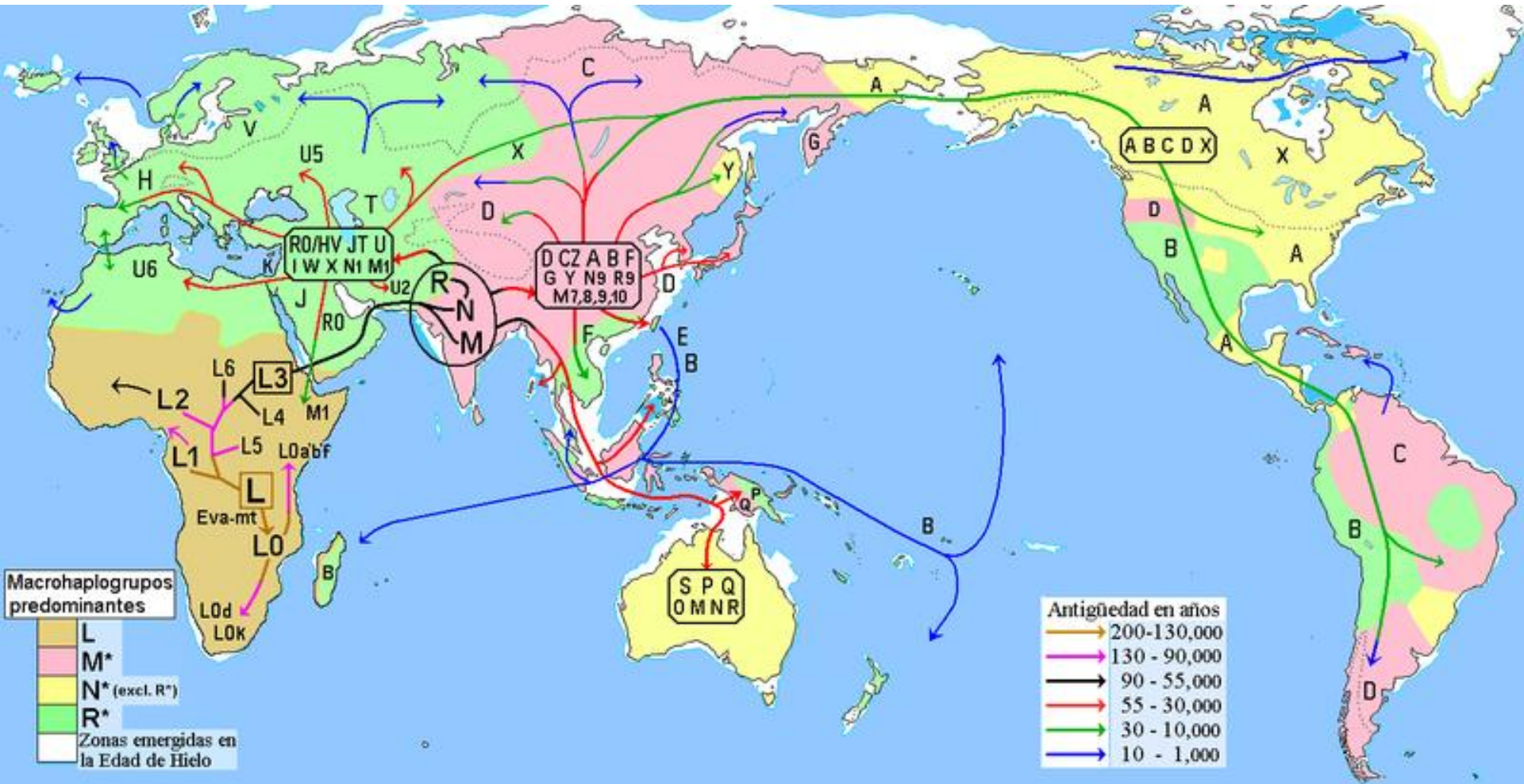
Eva mitocondrial



Mãe, obrigado
pelas
mitocôndrias!

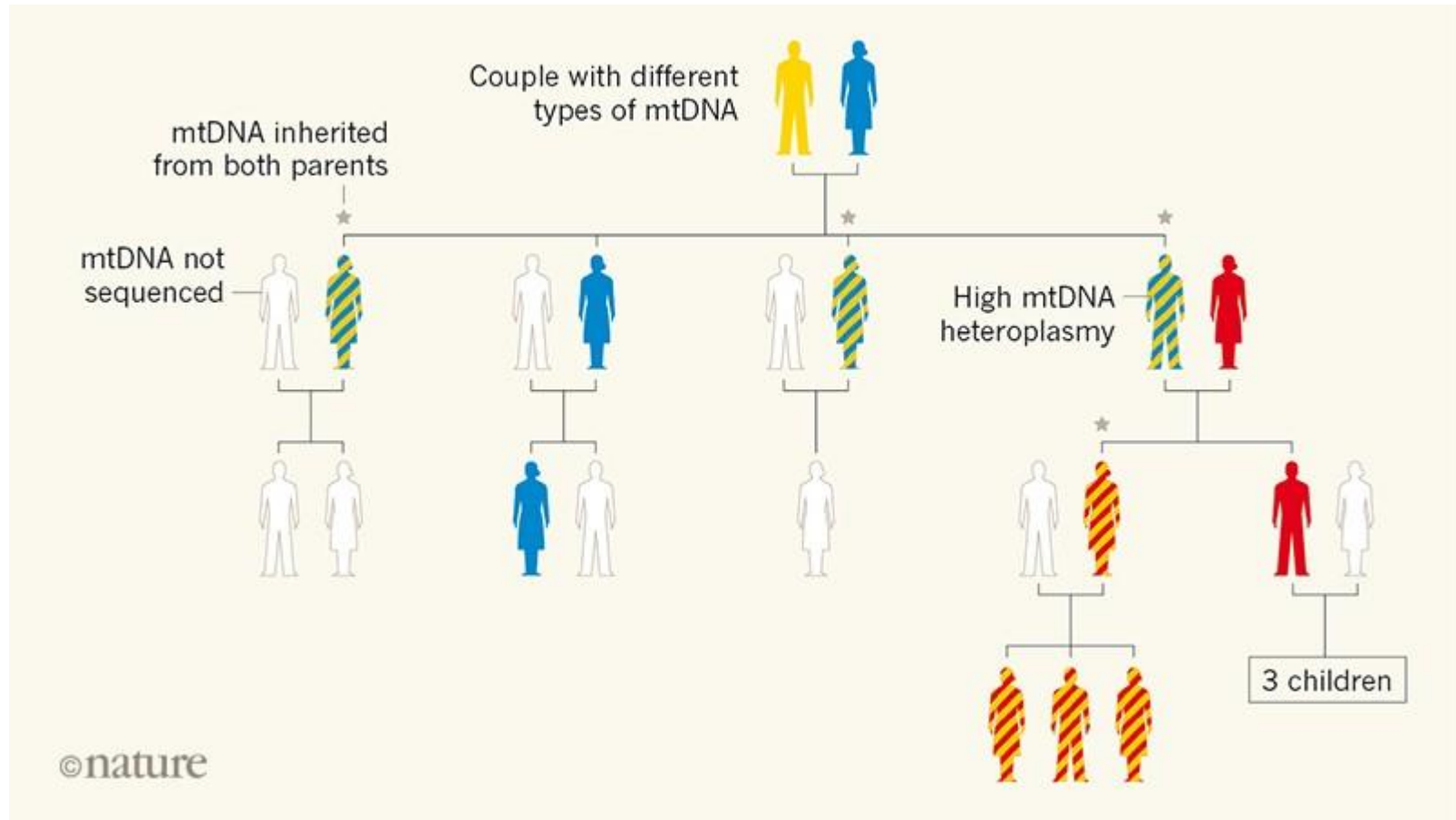


Eva mitocondrial



Uma única mulher que viveu na África há 200 mil anos

Entretanto...

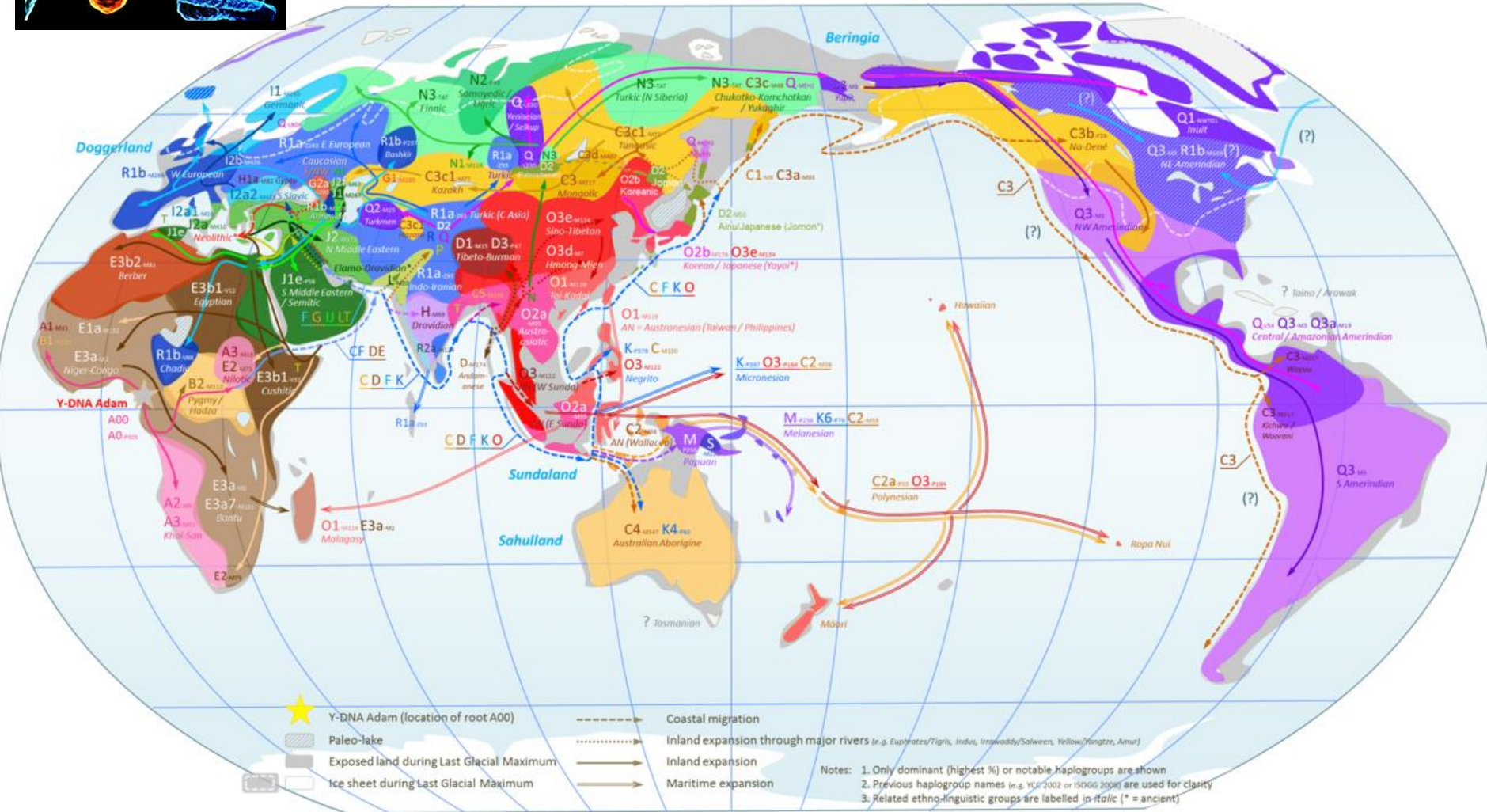


Luo et al. (2019) <https://www.nature.com/articles/d41586-019-00093-1>

Adão cromossomial



World Map of Y-DNA Haplogroups Dominant Haplogroups in Native Populations with Possible Migration Routes



Um único homem que viveu há 338.000 mil anos

Definições de Simbiose:

Gilbert, S., Sapp, J., Tauber, A., Handling Editor James D. Thomson, & Associate Editor Stephen C. Stearns. (2012). A Symbiotic View of Life: We Have Never Been Individuals. *The Quarterly Review of Biology*, 87(4), 325-341.

[doi:10.1086/668166](https://doi.org/10.1086/668166)

Oulhen, N., Schulz, B. J., & Carrier, T. J. (2016). English translation of Heinrich Anton de Bary's 1878 speech, "Die Erscheinung der Symbiose" ("De la symbiose"). *Symbiosis*, 69(3), 131–139. <https://doi.org/10.1007/s13199-016-0409-8>

Pradeu, T. (2011). A Mixed Self: The Role of Symbiosis in Development. *Biological Theory*, 6, 80–88. <https://doi.org/10.1007/s13752-011-0011-5>

Sapp, J. (1994). *Evolution by association: A history of symbiosis*. New York: Oxford University Press.