



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
Campus "Luiz de Queiroz"  
Centro de Energia Nuclear na Agricultura



# Porque estudar a evolução?

Ou seja porque estudar de onde viemos  
e outras perguntas importantes...

Prof. Francisco Scaglia Linhares

CENA/USP

# A pergunta mais importante da evolução é quem vem antes o ovo ou a galinha?

- ▶ Estudos evolutivos nos permitem ter uma ótica diferente sobre vários problemas complexos, inclusive aqueles que parecem sem resposta!



# A evolução não quer dizer melhor, pior ou diferente. Quer dizer mudança!

- ▶ Na natureza não existe o conceito de melhor ou pior, existe o conceito de mudança. A seleção natural ou seleção antrópica, definirão se aquela evolução fará aquele indivíduo ter vantagens evolutivas, ou seja ser mais “fit” (adequado) para aquele estilo de vida.
- ▶ De fato é o ambiente externo que determina a fixação de uma mutação ou não. A mesma mutação pode ser exitosa em um certo momento e não se-la mais pra frente. Exemplo os dodos.



# Lamarque, Darwin e Mendel, pioneiros dos conceitos evolutivos.

- ▶ Lamarque deu muito azar enquanto o exemplo mais citado de sua teoria evolutiva do uso e desuso, ou seja o pescoço da girafa, era errado.
- ▶ De fato Lamarque virou chacota durante décadas como o cientista que criou uma teoria completamente equivocada e simplista.
- ▶ Hoje sabemos que na realidade acertou muito mais do que descrito.
- ▶ Darwin estabeleceu os princípios da evolução, e mais importante ainda os conceitos de seleção natural.
- ▶ Somente que o DNA naquela época não era conhecido, portanto os conceitos eram muito vagos.
- ▶ A genética de Mendel, a pesar de ter sido descoberta na mesma época de Darwin, não foi apreciada pela comunidade científica até 1900.

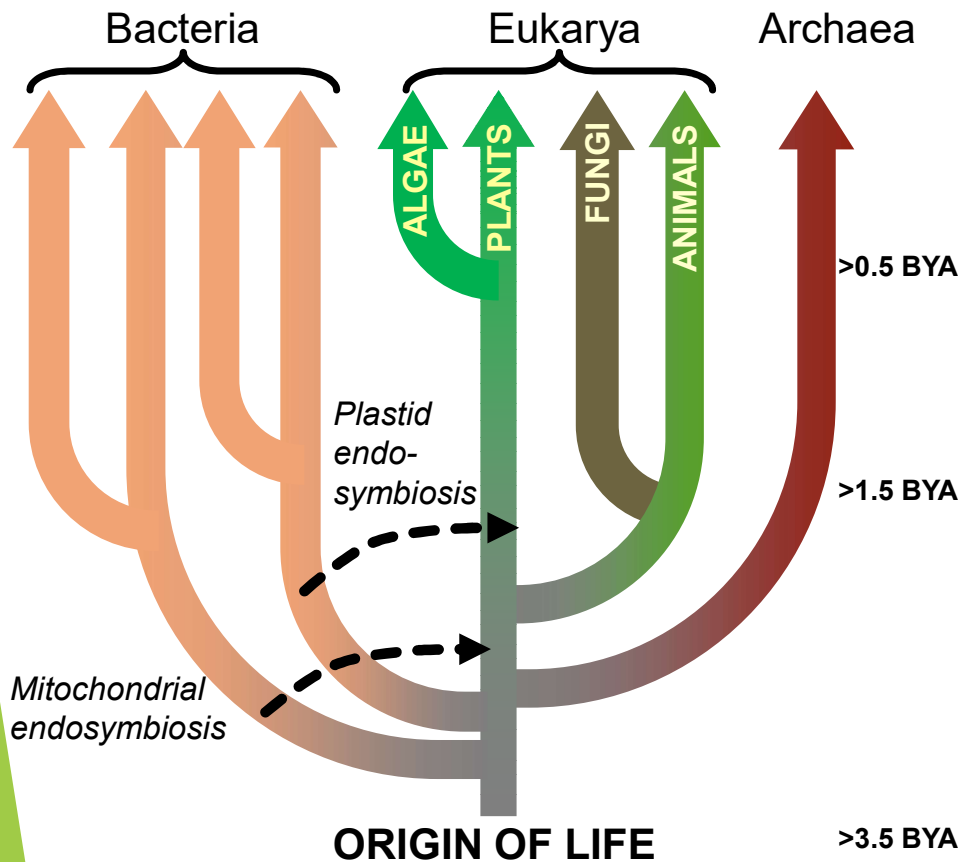
# Os conceitos de Darwin surgem antes mesmo do conhecimento do DNA

- ▶ De fato quando os conceitos de DNA, RNA e proteínas são descobertos, tenta-se encaixar a teoria de Darwin baixo uma ótica dos genes a “teoria da síntese evolutiva moderna”. Encaixaram o modelo de fluxo de informação gênica na teoria da evolução de Darwin, gerando o NeoDarwinismo.
- ▶ O paradigma genético daquela época porém era incompleto, enquanto se supunha somente que o DNA fosse o livro da vida, o RNA os genes ativos e as proteínas os efetores das respostas.
- ▶ A adaptação da síntese predizia que a evolução era feita por mutações pontuais e casuais que modificavam as estruturas dos genes e que a seleção natural selecionava aquelas novas moléculas que funcionavam melhor. Se supunha tb que a taxa de mutação fosse constante ao longo do tempo, o que porém chocava com as explosões de novas espécies em certos momentos da história evolutiva dos seres vivos.

# O advento da era Genômica em sistemas modelo

- ▶ O que é um sistema modelo?
- ▶ Experimentos de expressão gênica massiva e contemporânea
  - ▶ qPCR, microarranjos e depois NGS
- ▶ Sequenciamento de genomas inteiros e diversidades entre estruturas de diferentes espécies
- ▶ Menos de 1% de diferenças a nível de DNA entre macacos e humanos. Como se explica a diferença tão pequena entre organismos tão diferentes?
- ▶ Em 2001 foi terminado o projeto genoma humano, que conseguiu definir a sequência linear contínua do genoma do humano médio. Não leva em consideração a variabilidade individual.
- ▶ Porém o conhecimento do livro da vida (genoma) evidenciou vários limites da teoria de síntese moderna da evolução.
- ▶ Se descobriu que nem todo DNA idêntico produzia o mesmo resultado, pois o DNA, que compõe um gene, não é o único fator que influencia se este gene terá ou não influência sobre um caractere específico.
- ▶ Faltavam algumas peças do quebra-cabeça!

# Eventos cruciais que separaram os reinos



A fotossíntese evoluiu em bactérias. Todos os eucariotos fotossintetizantes adquiriram esta habilidade através de endossimbiose com bactérias fotossintéticas.

Portanto os genes plastidiais se parecem mais com genes bacterianos, de onde derivam.

# Conceito que modificou a idéia da evolução

- ▶ Evolução molecular e evolução morfológica são a mesma coisa?
  - ▶ A evolução molecular depende, pelo que se sabe hoje, das razões explicadas nas próximas slides.
  - ▶ Já a evolução morfológica e de consequência a evolução das espécies não segue somente os conceitos de mutação, mas também do processo de desenvolvimento de um organismo.
  - ▶ Portanto a evolução morfológica = mutação + processo de desenvolvimento.
- ▶ Outro conceito importante é que a evolução morfológica é muito maior que a evolução das espécies. Ex. Variedade de cães, dentro da mesma espécie, ou salto da barreira da espécie como nos gatos? Porque?
  - ▶ Evolução da espécie acontece, quando há uma evolução morfológica que altera características gametofíticas. Portanto desde um ponto de vista evolutiva a evolução das espécies é um dos tipos de evolução morfológica



# Duplicações gênicas, regionais e cromossômicas

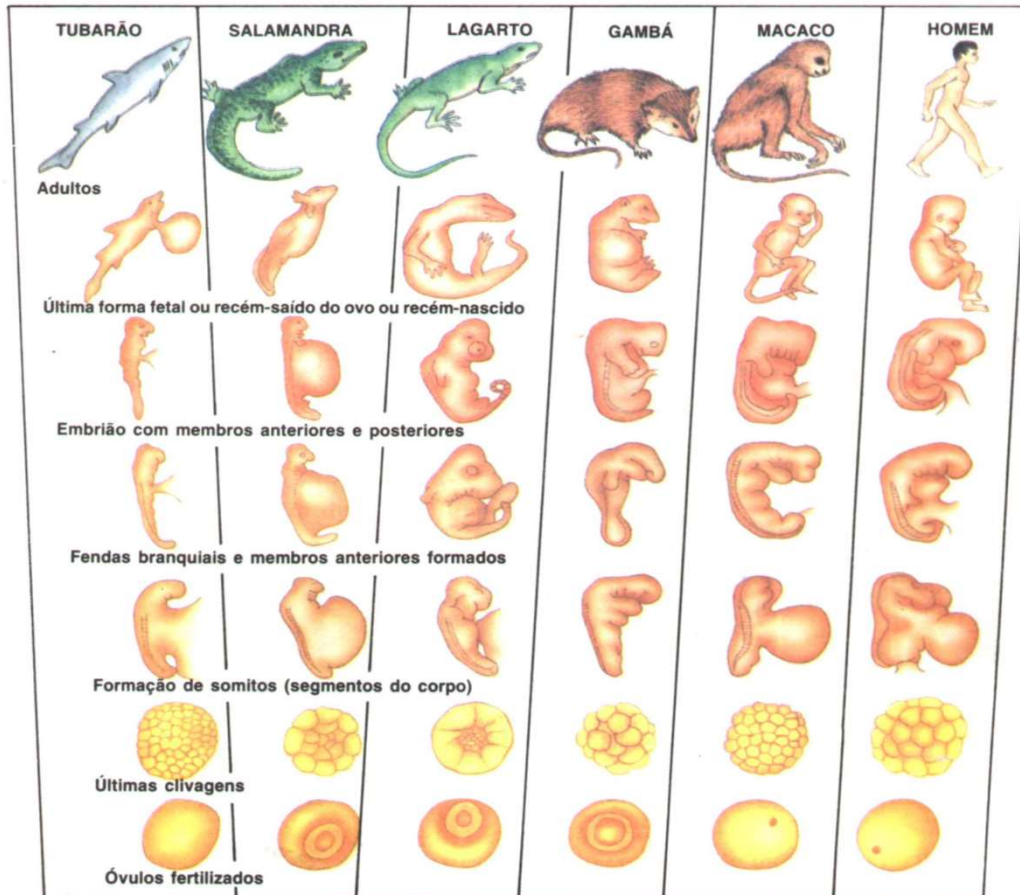
- ▶ Os processos de mitose e meiose podem acontecer de maneira não perfeita e portanto o número dos cromossomos pode aumentar.
- ▶ O fato que a meiose em plantas acontece de maneira mais complexa que em animais (meiose 1 e meiose 2 separadas) parece ter direcionado a evolução genômica das plantas a aumentar o tamanho dos genomas, enquanto os animais tendem a ter mais cromossomos porém mais compactos.

Outro pedaço do quebra-cabeça. A reavaliação dos trabalhos de Ernst Haeckel sobre filogenia e ontologia - outra teoria doida que foi descreditada por muito tempo e que atualmente é revista dentro de evolução morfológica.

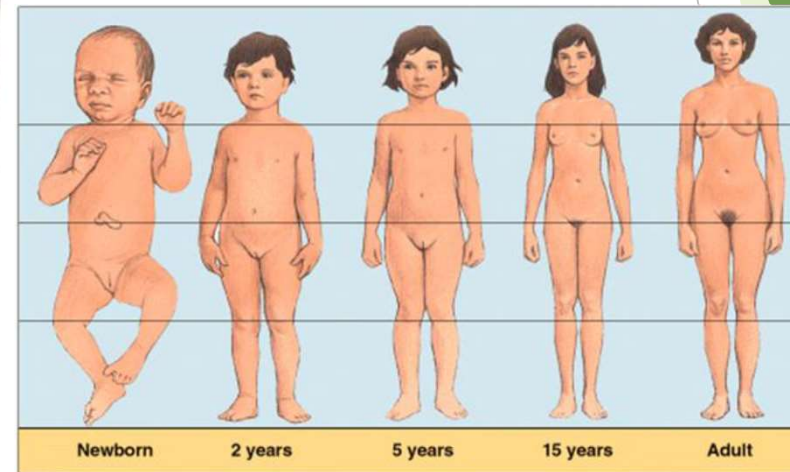
- ▶ Ernst Heinrich Haeckel (1834-1919)
- ▶ Anthropogenie oder Entwicklungsgeschichte des Menschen (1874)
- ▶ “A Ontogenia recapitula a Filogenia”



Durante a embriogênese animal todos os órgãos são preformados



Embriologia comparativa, do peixe ao homem.



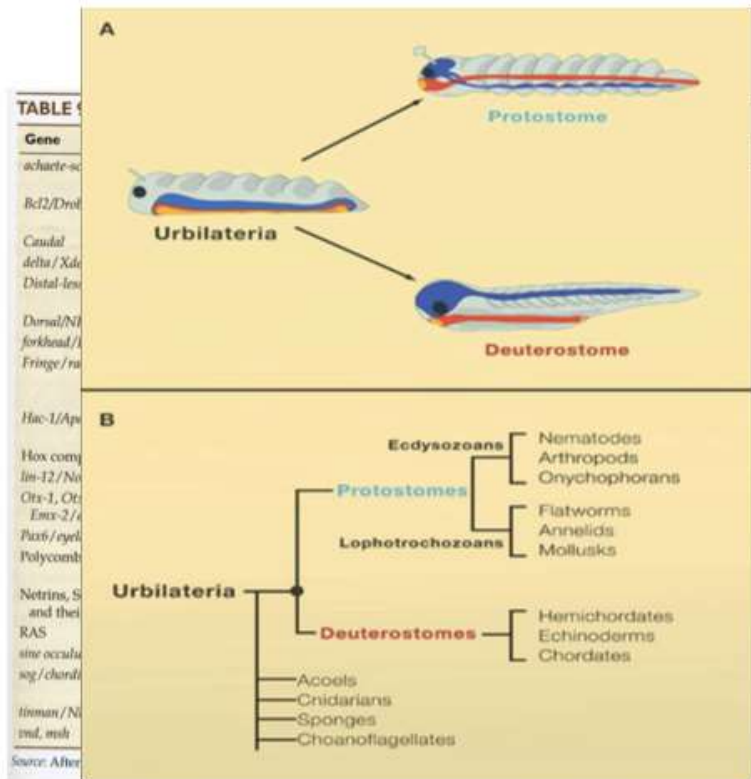
# Histórico

- No final da década de 70 e início da década de 80 a junção da Genética, Embriologia e Evolução começa a acontecer por diversos fatores.
- Gould – Ontogenia e Filogenia (1977) – heterocronia
- “*Francois Jacobs*” - (1977) - Propôs que na verdade as novidades morfológicas surgiriam a partir de sistemas regulatórios já existentes - “*Evolution acts as tinkering*”.
- King and Wilson (1977) - Sequenciaram proteínas de vários primatas e observaram que não haviam diferenças entre estas seqüências codificantes. Propuseram então que as diferenças morfológicas entre os primatas seriam na regulação da produção das proteínas responsáveis pelo desenvolvimento e não nas proteínas propriamente ditas.
- Surgimento de técnicas de estudo a nível molecular, tais como sequenciamento de proteínas e ácidos nucleicos, bem como localização de transcritos *in situ*.
- Genes que atuam durante o desenvolvimento embrionário são conservados entre os diferentes animais (*Drosophila* a camundongo) – Genes Hox década de 80.
- Necessidade de se estudar o desenvolvimento embrionário não somente dos organismos-modelo.

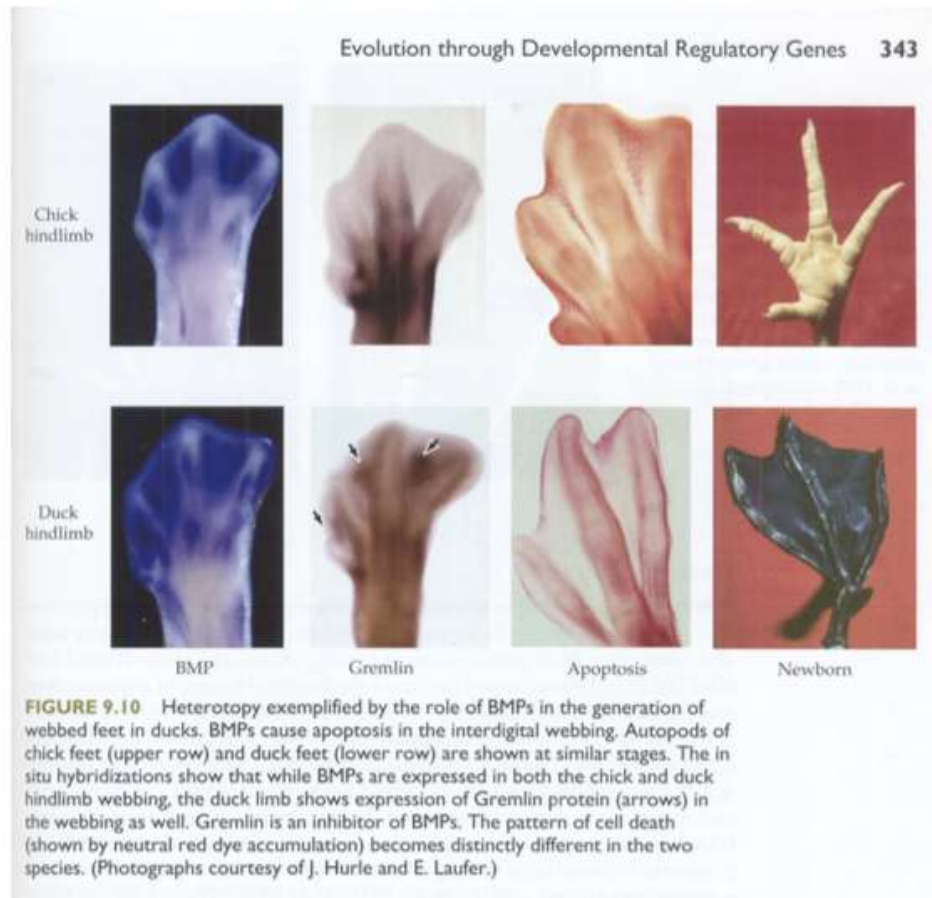




- (2) *Complexidade Genética Ancestral*
- - Animais morfologicamente bem diferentes (principalmente quando adultos) e que divergiram a partir de um ancestral comum muitos milhões de anos atrás possuem um constituinte genético (“toolkit - caixa de ferramentas”) muito similar de genes responsáveis pela padronização do corpo.



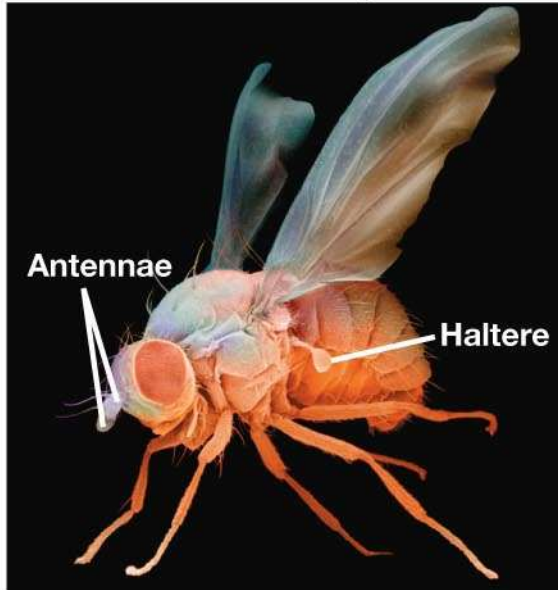
## Heterotopia - Mudança no local da expressão gênica



Expressão do inibidor de BMP Gremlin é necessária para evitar a apoptose da região de interdígitos que ocorre em galinhas e não em patos.

# mutantes homeóticos

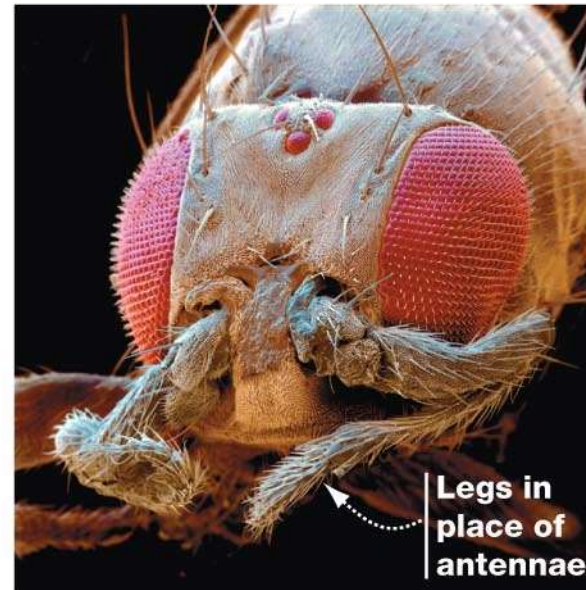
Normal fruit fly

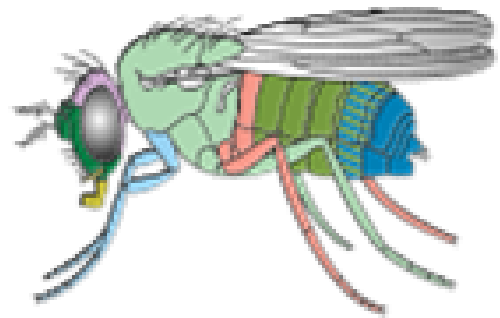


Homeotic mutant



Homeotic mutant



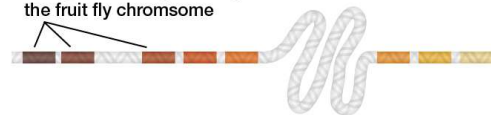


ANT-C

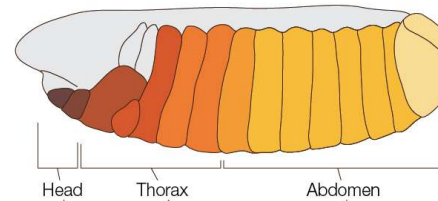
BX-C



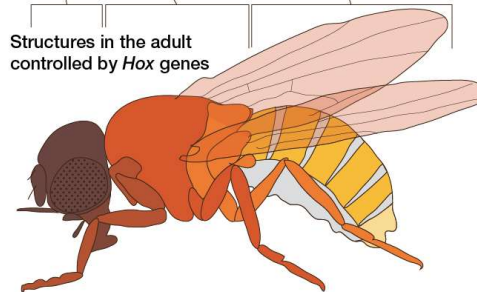
Hox genes arranged along the fruit fly chromosome



Zones of Hox gene activity in the embryo

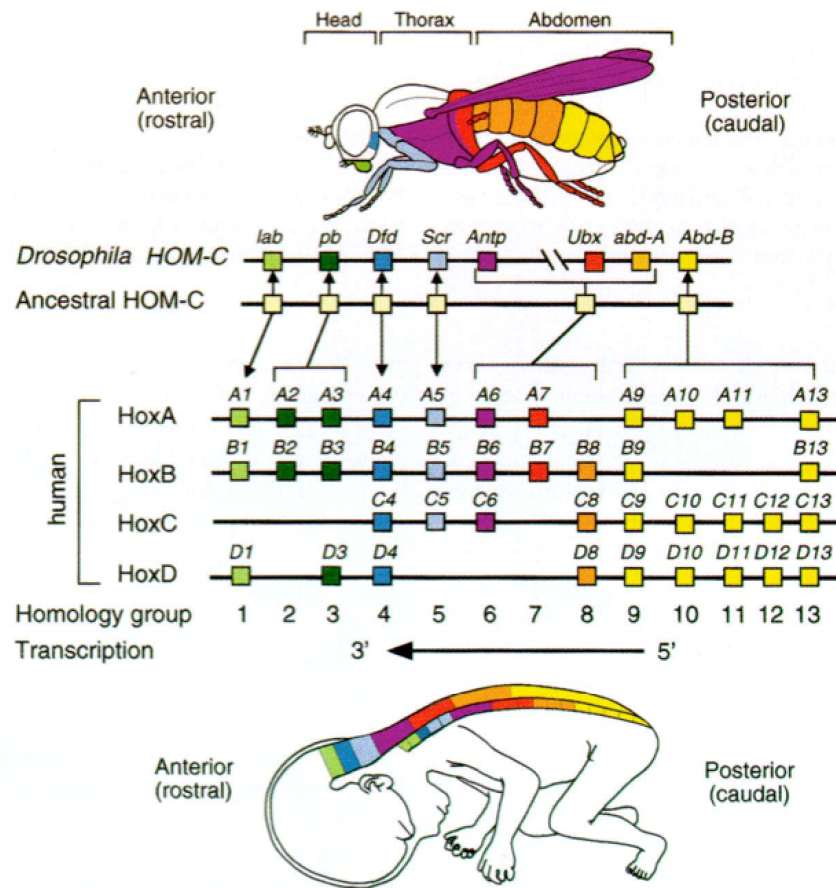


Structures in the adult controlled by Hox genes





# Genes Hox em espécies diferentes



**Figure 3. The colinearity principle.**

Reprinted by permission from Macmillan Publishers Ltd: *Pediatric Research*, Mark, M., Rijli, F.M. and Chambon, P., Homeobox genes in embryogenesis and pathogenesis. *Pediatric Research* 42, 421-429. Copyright 1997

## Fisiologia humana centrada em torno de sistemas

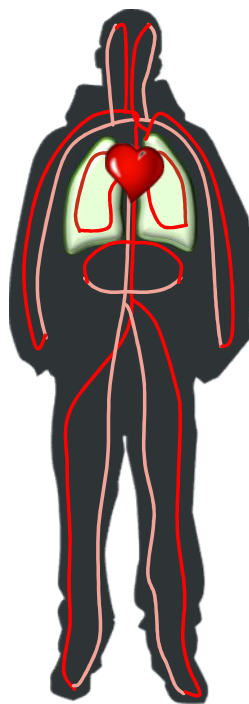
**Sistema respiratório**  
Troca de gases



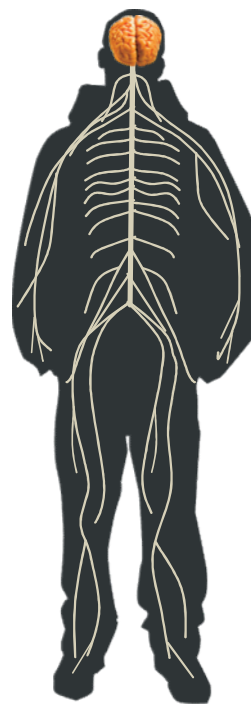
**Sistema digestivo**  
Assimilação água e nutrientes



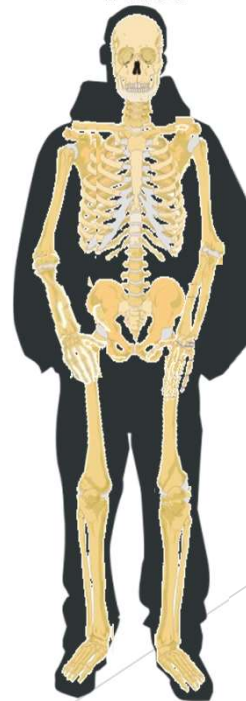
**Sistema circulatório**  
Transporte de nutrientes



**Sistema nervoso**  
Percepção e controle



**Sistema esquelético**  
Suporte físico



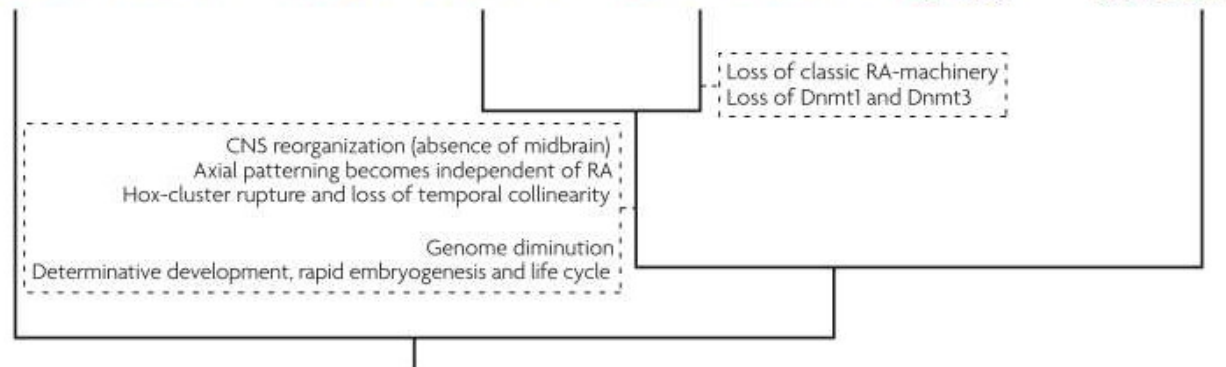
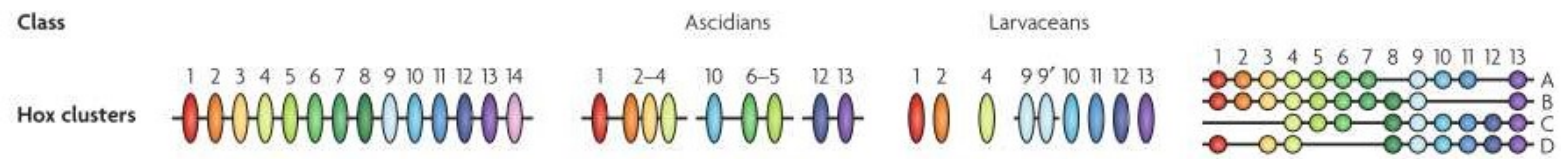
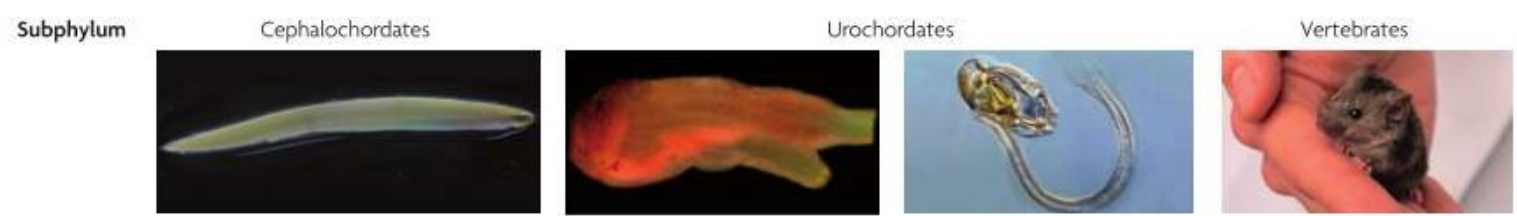


Figure 3 | **Genome contraction and morphology.** Stem urochordates adopted a determinative mode of development, reduced the size of their genomes, lost temporal collinearity of Hox-gene expression, broke up their Hox-gene cluster and lost the need to use retinoic acid (RA) for anteroposterior axial patterning associated with the reorganization of their CNS. Larvaceans lack the classic genetic machinery to synthesize, degrade and detect RA, and they also lack a complete genetic system for DNA methylation (carried out by DNA methyltransferases (Dnmts), but nevertheless build a complete chordate body plan that is retained throughout life. Mouse image courtesy of Getty Images.

Details Notes Contents

These details need reviewing. You can mark them correct, or search the Mendeley catalog.

Details are Correct Search

Type: Journal Article

**Evolutionary developmental biology and genomics**

Authors: C. Cañestro, H. Yokoi, J. Postlethwait

View research catalog entry for this paper

Journal:

Year: 2007

Volume: 8

Issue: december

Pages: 932-942

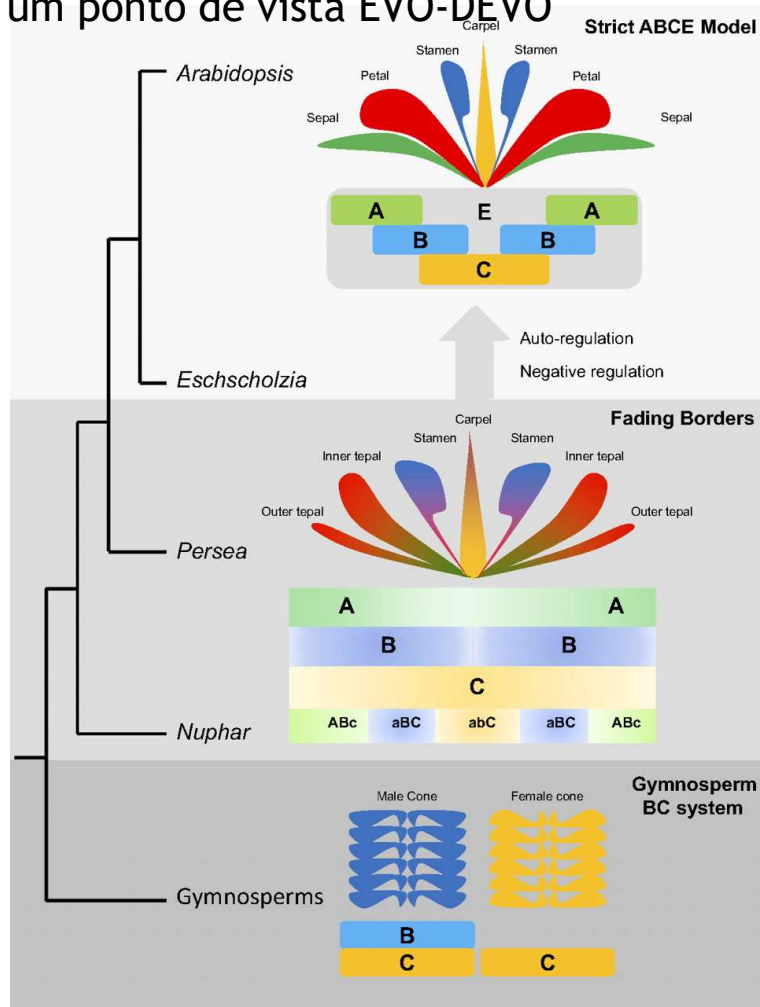
**Abstract:**

**Tags:**

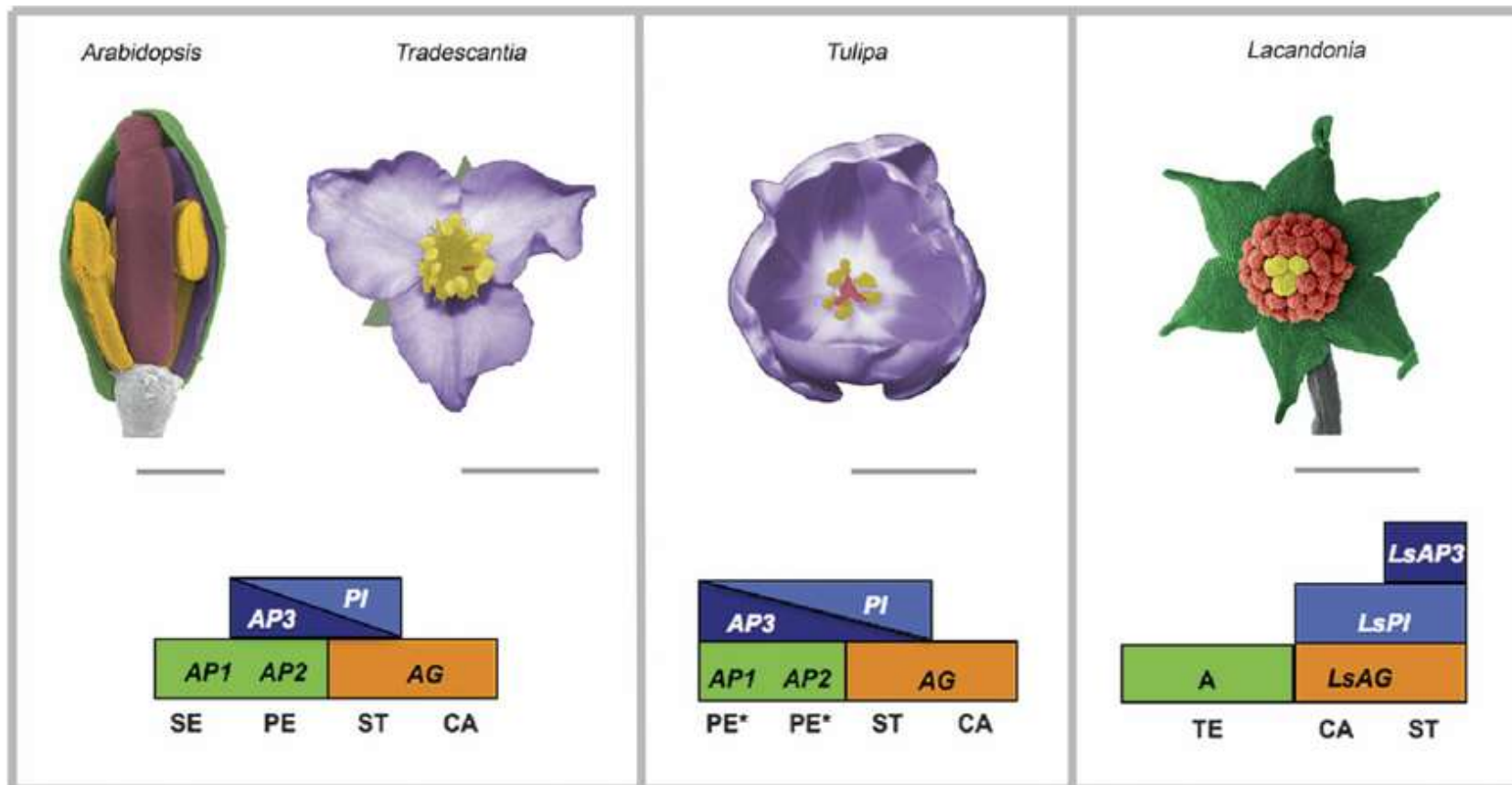
**Author Keywords:**

**URL:**

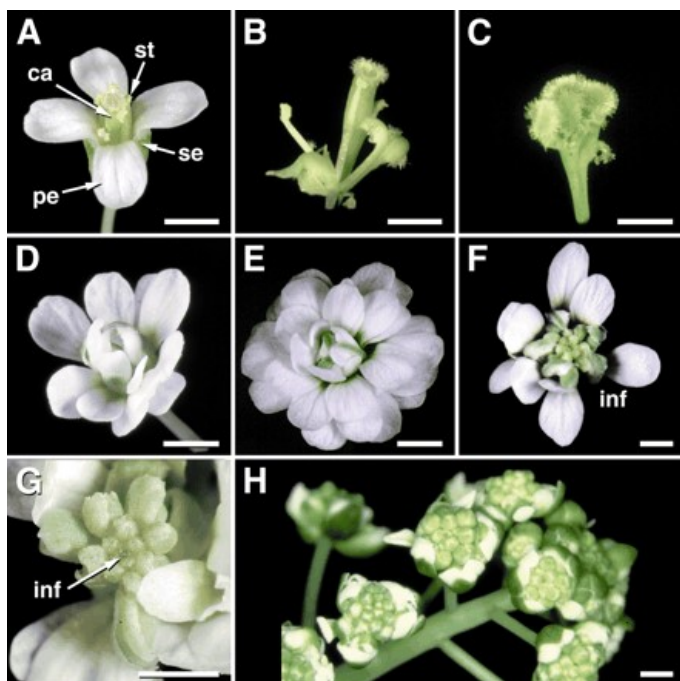
Modelo ABCE desde um ponto de vista EVO-DEVO



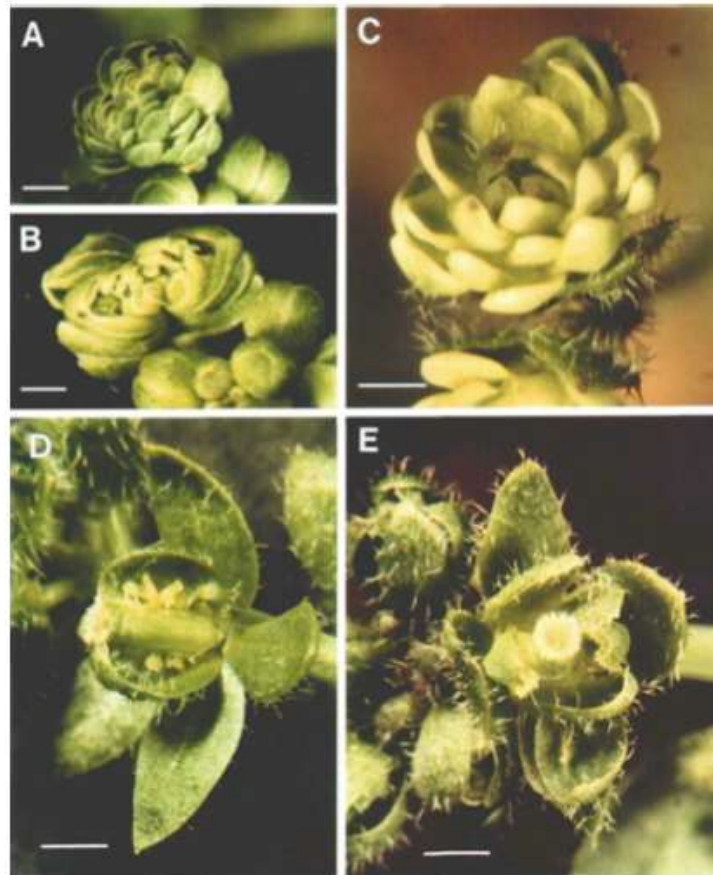




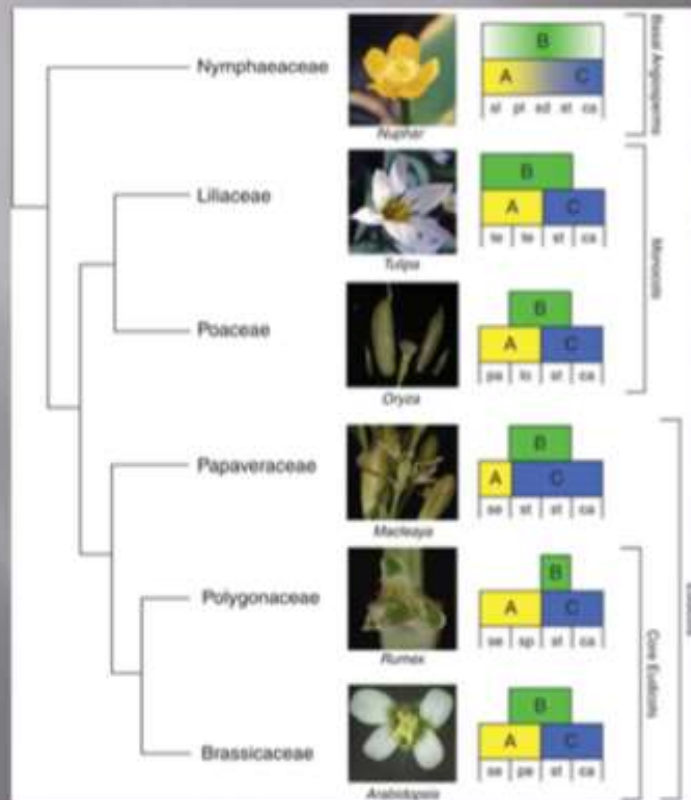
Mutações homeóticas que caracterizam as diferentes morfologias estruturais de diferentes espécies.



A - *ag/ap3*  
B - *ag/pi*  
C - *ag/ap2*  
D - *ap2/pi*  
E - *ap2/ap3*

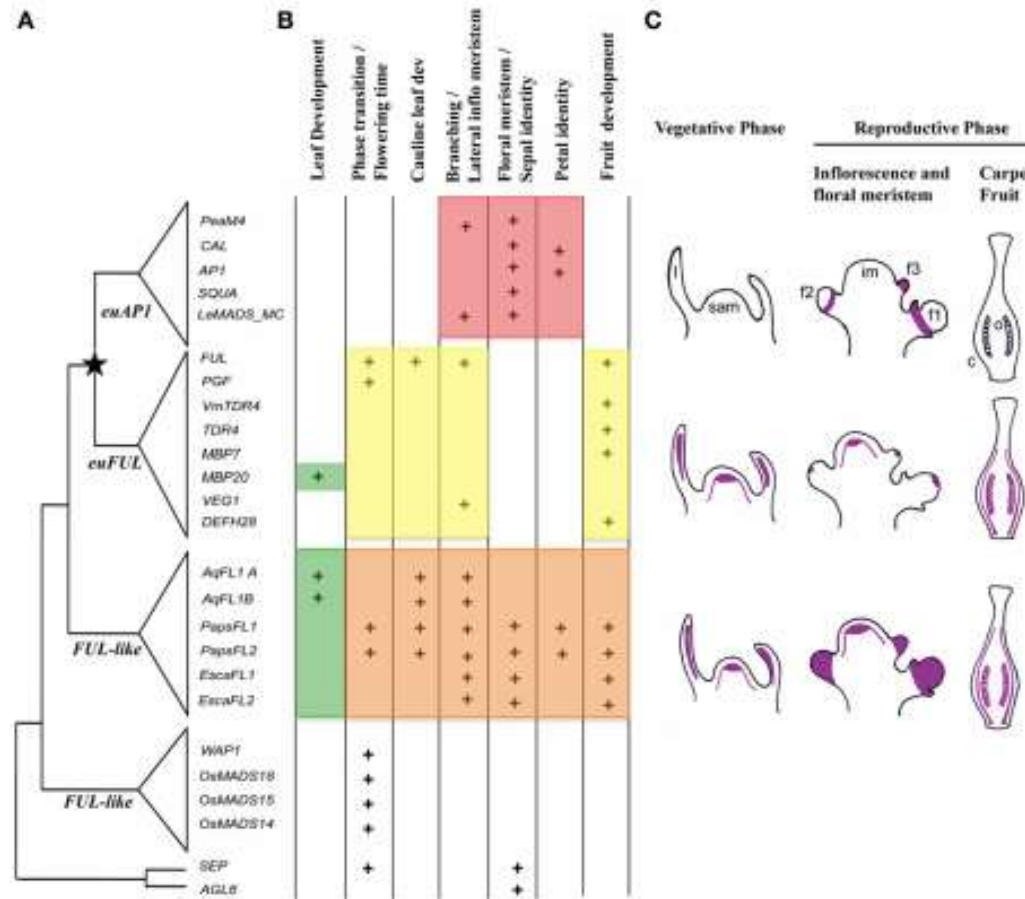


# Modelo ABCE e a diversidade





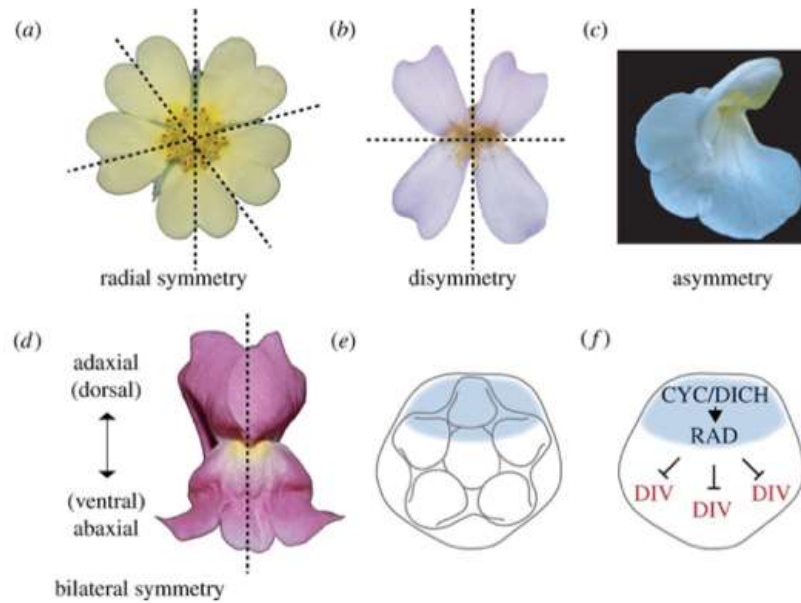
# Variação espaços-temporal dos domínios de expressão de genes do desenvolvimento



**FIGURE 1 | Summary of: (A) duplication events, (B) functional evolution and (C) expression patterns of APETALA1/FRUITFULL homologs in angiosperms. (A)** Gene tree showing a major duplication

*FL2* from *Eschscholzia californica* (Pabón-Mora et al., 2012, 2013). In monocots: *WAP1* in *Triticum aestivum* (Murai et al., 2003), *OsMADS18*, *14*, *15* in *Oryza sativa* (Moon et al., 1999; Kobayashi et al., 2012). **(B)** Summary

Diferenças de simetria floral dependem de genes presentes nos ancestrais e neo-funcionalizados.



DICH - Dicotoma  
 CYC - Cycloidea  
 RAD - Radialis  
 DIV - Divaricata



# Modulações da expressão de determinados genes explicam os eventos de especiação

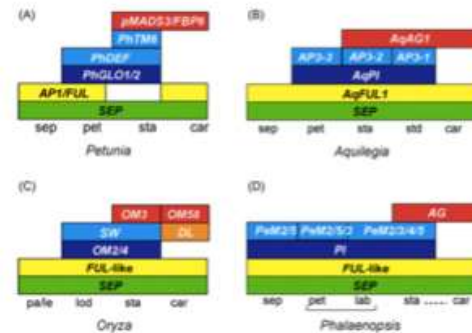
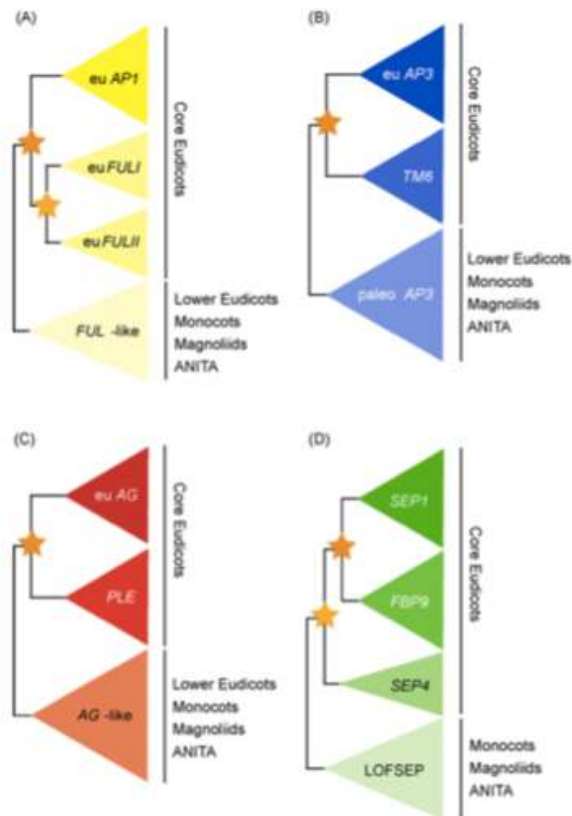


Fig. 3. Modified ABC models for a variety of model systems. (A) *Petunia*. (B) *Aquilegia*. (C) *Oryza*. (D) *Orchid*. Note that expression patterns are indicated for AP1/FUL lineage members but should not be taken to denote "A" function. Yellow = AP1/FUL, Blue = AP3/P1, Red = AG, Green = LOFSEP based on expression and functional data. In some cases, expression patterns of multiple paralogs are summarized if functional data is unavailable or suggests extensive redundancy. In these instances, the gene lineage name is used rather than the specific gene names. See text for references. (A) *Petunia*. (B) *Aquilegia*. The AP3-1/2/3 paralog domains represent late expression patterns. (C) *Oryza*. OM = OMMADS. (D) *Phalaenopsis*. P1M = P1MADS. For the pet and lab organs, the bracket indicates that they are actually members of the same whorl. The dotted line between the sta and car indicates that they are fused to form a single structure. sep = sepal, pet = petal, sta = stamen, car = carpel, std = stammodium, pale = palea/lemma, lab = labellum.

genies of the AP1/FUL (A), AP3 (B), AG (C) and SEP (D) lineages based on [4-7]. Orange stars indicated inferred gene duplication events.

# Modulação conjunta da evolução morfológica com sistemas reprodutivos

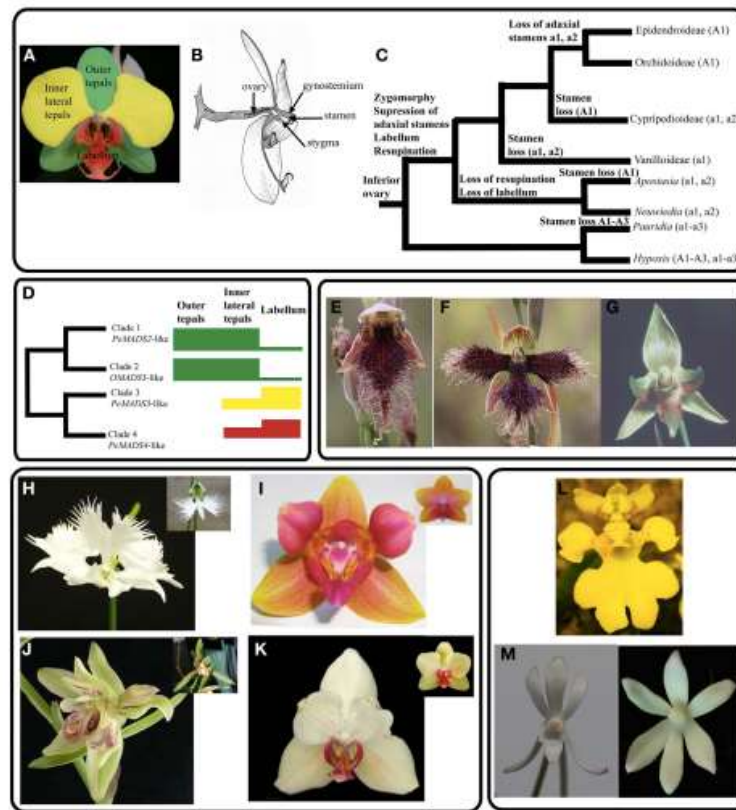
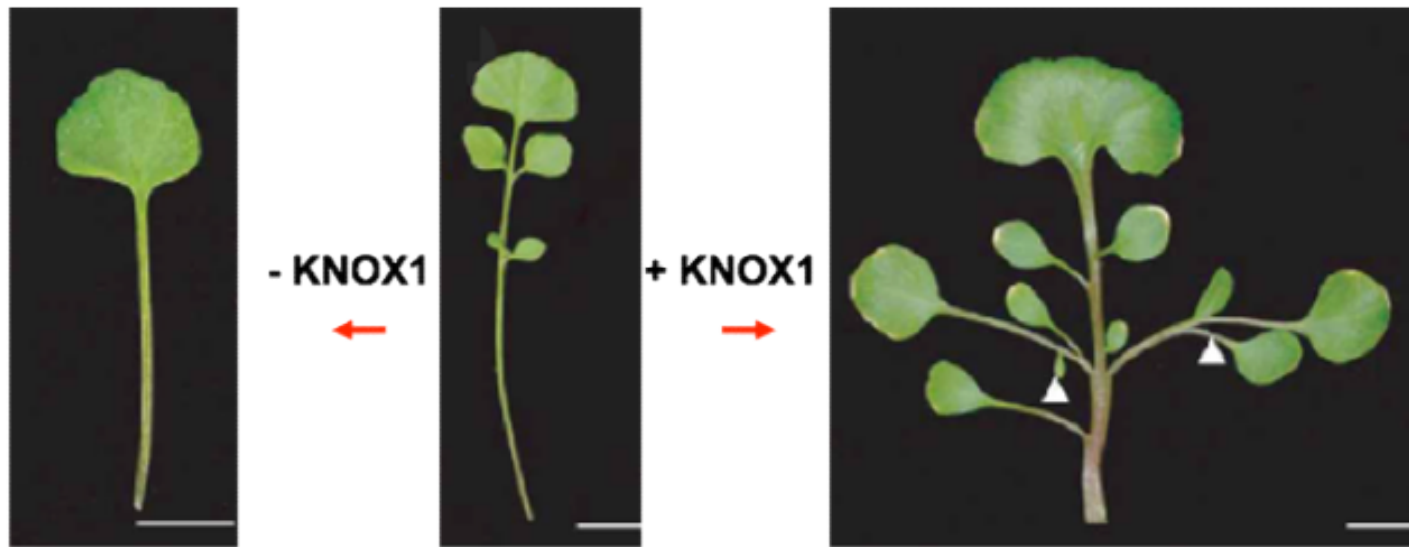


FIGURE 1 | Wild type and peloric orchids in evo-devo and genomics. perianth and their association to perianth organ identity specification. For

# Expression of KNOX1 transcription factors correlates with leaf complexity



Wild-type  
*Cardamine hirsuta*

Reprinted by permission from Macmillan Publishers, Ltd: NATURE GENETICS 38: 942-947. Hay, A., and Tsiantis, M. The genetic basis for differences in leaf form between *Arabis alpina* and its wild relative *Cardamine hirsuta*. Copyright (2006).





# Potencial inexplorado de cada espécie demonstrado pela domesticação de *Brassica oleracea* sp.

## 6 vegetables that are the same plant

Over hundreds of years farmers have been breeding one plant – called *Brassica Oleracea* – into dozens of different varieties. These six vegetables you can find in the grocery store are actually all the same plant.

### BRUSSELS SPROUTS

Lateral leaf buds



### BROCCOLI

Flower buds/stems



### CABBAGE

Terminal leaf bud



### CAULIFLOWER

Flower buds



### KALE

Leaves



### KOHLRABI

Stem



**WILD MUSTARD PLANT**  
(*Brassica Oleracea*)

SOURCE: Botanist in the Kitchen

TECHINSIDER

# Eco-Evo-Devo- ou seja a co-evolução de organismos que interagem.

