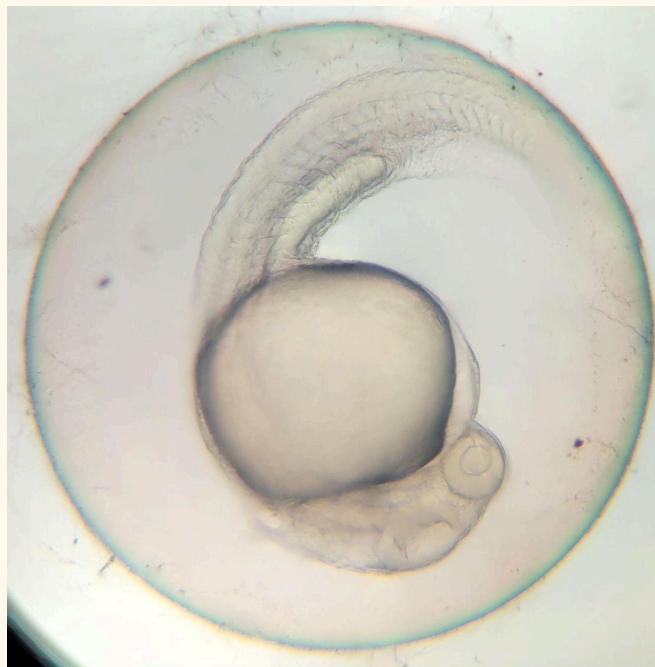


**DA CÉLULA AO
PEIXINHO:
ATLAS DO
DESENVOLVIMENTO DO
PEIXE-ZEBRA (*Danio rerio*)**



**RAFAEL ROEFERO MARQUES DA SILVA
REINALDO JOSÉ DE CASTRO
PATRÍCIA CRISTINA VIZZOTTO**



Rafael Roefero Marques da Silva

Reinaldo José de Castro

Patrícia Cristina Vizzotto

Da célula ao peixinho:

Atlas do desenvolvimento do peixe-zebra (*Danio rerio*)

São Carlos

2026



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS



Pró-Reitora de Extensão

<https://www.proex.ufscar.br/>



Departamento de Hidrobiologia

<http://www.dhb.ufscar.br/>



Laboratório de Dinâmica de Populações de Peixes

**Laboratório de Dinâmica de Populações de Peixes e
Histologia**

Programa de extensão/ProEx/UFSCar
Ecologia e Biologia de Peixes Neotropicais e Avaliação de Ambientes Aquáticos
Coordenação: Reinaldo José de Castro

Atividade de extensão/ProEx/UFSCar
Confecção de material didático para aulas práticas das disciplinas de Biologia do
Desenvolvimento (10413) e Reprodução de Peixes (1003337)
Coordenação: Patrícia Cristina Vizzotto

Livro eletrônico produzido através da atividade de extensão/ProEx/UFSCar
Da célula ao peixinho: Atlas do desenvolvimento do peixe-zebra (*Danio rerio*)

Autoria

Rafael Roefero Marques da Silva
Reinaldo José de Castro
Patricia Cristina Vizzotto

Imagens

Rafael Roefero Marques da Silva

Apoio

Biotério Central/UApBC/CCBS/UFSCar

Apoio técnico

Claudinei Archanjo de Oliveira
Jurity Antonia Machado Milan

Agradecimentos

Hirla Costa Silva Fukushima
Ricardo Carneiro Borra

Autorização CEUA/UFSCar
7131201224

SUMÁRIO

Parte 1 – Bem-vindos ao mundo do desenvolvimento!

1. Apresentação – Uma viagem que começa em uma célula 1
2. Conhecendo nosso mascote: o peixe-zebra 8
3. Do zigoto ao organismo: uma visão geral 13

Parte 2 – Atlas do desenvolvimento do peixe-zebra (*Danio rerio*)

4. Zigoto (0–0,75 hpf) 20
5. Clivagem (0,75–2,25 hpf) 22
6. Blástula (2,25–5,25 hpf) 24
7. Gástrula (5,25–10 hpf) 26
8. Somitogênese (10–24 hpf) 28
9. Organogênese primária (24–36 hpf) 30
10. Farínghula (36–48 hpf) 32
11. Larva primária (72–120 hpf) 34

Parte 3 – Desenvolvimento, evolução e diversidade dos peixes

12. Peixes na árvore da vida – por que estudá-los? 36
13. Como outros peixes se desenvolvem? 39

Parte 4 – Materiais para o professor

14. Sugestões de aulas e atividades 44
15. Glossário de termos de desenvolvimento 48
16. Referências 50

Parte 1 – Bem-vindos ao mundo do desenvolvimento!

Capítulo 1: Apresentação – Uma viagem que começa em uma célula

1.1 Um recado do nosso “guia”

Oi! Eu sou o peixe-zebra.

Um dia, eu fui apenas **uma célula**. Sim, exatamente como você também já foi: um único ponto bem pequeno, que carregava tudo o que eu precisava para virar um peixe inteirinho, com cabeça, olhos, coração, músculos, barbatanas e cérebro.

Este atlas conta a minha história desde o encontro entre um óvulo e um espermatozoide até os meus primeiros dias de vida, quando já nado, como e fujo dos perigos. No caminho, você vai descobrir que **muito do que acontece comigo também acontece com outros vertebrados**, como sapos, aves, gatos... e com os seres humanos.

Se quiser, pense neste livro como um ônibus microscópico: eu vou na frente, guiando, e você vem junto, espiando cada parada da viagem. Vamos?

1.2 Todo mundo já foi uma célula

Quando olhamos um animal, um peixe, um cachorro, uma pessoa, vemos um corpo cheio de partes diferentes: pele, ossos, músculos, órgão internos, sangue, cérebro. Dá até vontade de pensar que ele “sempre foi assim”.

Mas a Biologia mostra outra história: **todos os organismos pluricelulares começam a vida como uma única célula**, chamada **zigoto**. Essa célula se forma quando um óvulo (célula reprodutiva da mãe) se une a um espermatozoide (célula reprodutiva do pai). A partir daí:

- essa célula **se divide muitas e muitas vezes**;
- as novas células **começam a se organizar em grupos**;
- esses grupos se diferenciam e formam **tecidos** (como músculos, epitélios, nervos, etc.);
- os tecidos se combinam em **órgãos**, e os órgãos, em **sistemas**.

No fim de milhões de divisões e diferenciações celulares, aparece algo que reconhecemos: um corpo funcionando, capaz de respirar, se alimentar, se movimentar, perceber o ambiente, se reproduzir.

Ou seja: **para entender de verdade como um organismo funciona, não basta estudá-lo pronto, é preciso acompanhar sua construção**. É aí que entra a **Biologia do Desenvolvimento**.

1.3 O que é Biologia do Desenvolvimento?

A **Biologia do Desenvolvimento** é a área da ciência que estuda **como um organismo se forma desde a fecundação até a fase adulta**. Ela tenta responder perguntas como:

- Como uma única célula dá origem a trilhões de células diferentes?
- Por que algumas células viram neurônios, outras células musculares, outras células da pele?
- Como aparece a forma do corpo – com cabeça, cauda, lados direito e esquerdo, frente e trás?
- O que garante que os órgãos surjam no lugar certo, na hora certa?
- O que acontece quando alguma etapa desse processo falha?

Para investigar isso, cientistas observam:

- **formas** (morfologia) em diferentes estágios do desenvolvimento;
- **tecidos e órgãos** em cortes histológicos corados;
- **movimentos celulares** – células que migram, se dobram, se organizam em camadas;
- **sinais químicos e genes** que ativam e inativam instruções ao longo do tempo.

Neste atlas, você vai ver principalmente dois tipos de imagem:

1. **Fotomicrografias de embriões e larvas inteiras**
– mostrando o formato geral do corpo, do ovo à larva que já nada.
2. **Fotomicrografias de lâminas histológicas**
– cortes muito finos do corpo do peixe, corados para destacar tecidos e órgãos ao microscópio.

Juntas, essas imagens permitem acompanhar **não só o que está aparecendo por fora, mas também o que está se organizando por dentro**.

Caixa “Para o professor” – Objetivos deste capítulo

- Introduzir, em linguagem acessível, a ideia de que **todos os vertebrados começam como uma única célula**.
 - Apresentar o campo da **Biologia do Desenvolvimento** sem tecnicismo excessivo. Preparar o estudante para a leitura de imagens (microscópicas) que serão usadas nos capítulos seguintes.
 - Estimular a curiosidade e a percepção de padrões comuns entre diferentes seres vivos, favorecendo discussões sobre **unidade e diversidade da vida**.
-

1.4 Por que estudar embriões ajuda a entender a vida (e a própria saúde)?

À primeira vista, acompanhar a história de um peixinho microscópico pode parecer uma curiosidade. Mas a Biologia do Desenvolvimento tem impacto direto em vários temas importantes para a sociedade:

1. Entender o corpo humano

Muitos processos que acontecem durante o desenvolvimento do peixe-zebra também ocorrem em humanos: formação do tubo neural, surgimento do coração, organização dos somitos (blocos de tecido que darão origem à coluna e aos músculos), desenvolvimento de olhos e orelhas internas.

Estudar esses eventos em um animal mais simples e transparente permite descobrir **como órgãos se formam**, o que ajuda a entender, por exemplo, por que certas doenças congênitas aparecem.

2. Compreender doenças e malformações

Alguns problemas de saúde têm origem em **falhas em etapas precoces do desenvolvimento**: um gene que não funciona bem, uma célula que não migra para onde deveria, um órgão que não cresce na proporção correta.

Ao observar o desenvolvimento normal e compará-lo com casos em que algo foi alterado, cientistas podem **mapear causas e propor tratamentos**.

3. Investigar efeitos do ambiente

Temperatura, luz, oxigênio, nutrição e presença de poluentes podem influenciar a forma como o embrião se desenvolve.

O peixe-zebra é muito usado em estudos que avaliam se uma substância química é perigosa para seres vivos, observando se ela atrasa o desenvolvimento, altera a forma de órgãos ou afeta o comportamento das larvas.

4. Explorar a evolução dos organismos

Quando comparamos o desenvolvimento de diferentes animais, percebemos que muitos passos são parecidos. Isso sugere que **eles compartilham ancestrais comuns** e que certos “planos de construção do corpo” foram herdados e modificados ao longo da evolução.

Assim, olhar para embriões também é uma forma de estudar **como a vida se diversificou**.

1.5 Por que um peixe? Por que o peixe-zebra?

Você poderia perguntar: “Mas por que escolher logo um peixe para estudar desenvolvimento?”

O peixe-zebra é um dos organismos mais usados no mundo para esse tipo de pesquisa porque:

- seus **embriões são transparentes**, o que permite ver órgãos se formando sem precisar abrir o corpo;
- ele se reproduz rápido e em grande número – um casal pode produzir **centenas de ovos**;
- seu desenvolvimento é **muito acelerado**: em poucos dias já há coração batendo, circulação funcionando, larva nadando;
- muitos genes que controlam seu desenvolvimento têm **funções parecidas** em outros vertebrados, incluindo os humanos.

Além disso, ele é pequeno, ocupa pouco espaço em aquários e se adapta bem às condições de laboratório, o que facilita sua utilização em pesquisas e em projetos de ensino. É um organismo modelo.

Neste atlas, o peixe-zebra vira também um **personagem**, um “guia” que ajuda a tornar os conceitos de embriologia mais concretos para estudantes de diferentes idades.

Caixa “Para o professor” – Conexão com o currículo

Este capítulo pode ser articulado com:

- **Ciências (EF II)** – origem dos seres vivos; células; reprodução; níveis de organização (célula → tecido → órgão → sistema → organismo).
 - **Biologia (EM)** – embriologia básica; genética e hereditariedade; evolução e ancestralidade comum; efeitos de fatores ambientais sobre o desenvolvimento.
Sugestões:
 - Antes da leitura, pedir aos alunos que respondam: “Como você imagina que era você mesmo quando tinha um dia de vida?” e, depois, retomar a pergunta à luz do conceito de zigoto.
 - Construir, em cartaz ou digitalmente, um esquema do “caminho” célula → organismo, preenchendo com exemplos ao longo do curso.
-

1.6 Como usar este atlas

Este atlas foi pensado para ser usado por **professores e estudantes de diferentes níveis de ensino**. Para facilitar, ele traz:

- **Textos principais**, voltados ao estudante, em linguagem clara, com apoio de metáforas e exemplos;
- **Imagens microscópicas** dos embriões e larvas, com legendas;
- **Fotomicrografias de lâminas histológicas**, evidenciando tecidos e órgãos em formação;
- **Caixas “Para o professor”**, com explicações mais técnicas, sugestões de atividades, perguntas para discussão e formas de adaptar o conteúdo às faixas etárias;
- **Glossário**, com termos técnicos usados ao longo do livro.

Você pode usar o atlas de diferentes formas:

- **Como leitura guiada em sala**
 - projetando as imagens e lendo trechos em voz alta.
- **Como material de apoio em aulas práticas**
 - se a escola tiver microscópio e lâminas, os alunos podem observar cortes de tecidos e, em seguida, comparar o que viram com as fotos do atlas.
- **Como fonte de pesquisa para trabalhos e feiras de ciências**
 - grupos de alunos podem escolher um estágio (por exemplo, gástrula ou larva primária) e montar painéis explicativos com base nas imagens e textos do livro.
- **Como ponte entre escola e universidade**
 - o atlas nasceu de um projeto de extensão universitária e foi feito com material produzido em laboratório. Ele pode servir de ponto de partida para visitas, parcerias e projetos de iniciação científica júnior.

Caixa “Para o professor” – Dicas de uso por nível

Anos finais do EF

- Foco na ideia de que todos os animais começam como uma célula;
- Explorar imagens de forma mais qualitativa (“o que mudou de uma foto para outra?”);
- Relacionar com temas de reprodução e desenvolvimento humano de maneira cuidadosa.

Ensino Médio

- Introduzir termos como zigoto, clivagem, blástula, gástrula, organogênese, larva;
 - Relacionar as fases com processos moleculares básicos (divisão celular, diferenciação);
 - Integrar com genética (expressão gênica), evolução (homologia) e saúde (doenças congênitas, poluição).
-

1.7 O que você vai encontrar nos próximos capítulos?

A partir do capítulo seguinte, vamos acompanhar o peixe-zebra passo a passo. Cada fase do desenvolvimento terá:

- uma “**ficha técnica**” com o nome do estágio e o intervalo de tempo (em horas pós-fecundação);
- uma **descrição do que se vê ao microscópio**;
- uma **descrição do que aparece nos cortes histológicos**;
- uma explicação sobre **o que está acontecendo por dentro** – quais estruturas estão surgindo, quais movimentos celulares ocorrem;
- uma seção “**Comparando com outros vertebrados**”, mostrando semelhanças e diferenças em relação a outros animais;
- **ideias de atividades** e perguntas para investigação.

Ao final da leitura, a ideia é que você:

- consiga **reconhecer os principais estágios** do desenvolvimento do peixe-zebra;
- entenda, de forma geral, **como um organismo vertebrado se organiza a partir de uma única célula**;
- perceba que **desenvolvimento, evolução, ambiente e saúde** estão profundamente conectados;
- e, quem sabe, se anime a olhar o mundo microscópico com outros olhos!

Capítulo 2: Conhecendo o nosso mascote: o peixe-zebra

2.1 Quem é o peixe-zebra?

O peixe-zebra, ou *Danio rerio*, é um pequeno peixe de água doce da família dos ciprinídeos – a mesma de várias carpas e “peixinhos de aquário” conhecidos.

Na natureza, ele vive em riachos, canais e pequenas lagoas na região sul da Ásia, especialmente em países como Índia, Bangladesh, Nepal e Mianmar.

Ele mede poucos centímetros de comprimento e tem corpo alongado, com listras claras e escuras que vão da cabeça até a cauda. Essas listras lembram o padrão de uma zebra e deram origem ao seu nome comum. No Brasil também é conhecido como paulistinha, devido à semelhança do seu padrão de listras com a bandeira do estado de São Paulo. Seu nome popular em inglês é *zebrafish*.

Neste atlas, o peixe-zebra é o nosso **mascote**: é acompanhando a sua história de vida que vamos aprender sobre Biologia do Desenvolvimento.

2.2 Onde ele vive na natureza?

Os ambientes em que o peixe-zebra vive costumam ter algumas características em comum:

- **Água rasa**, muitas vezes não passando do joelho de uma pessoa;
- **Correnteza fraca ou moderada**, que traz oxigênio sem arrastar tudo;
- **Muita vegetação aquática e raízes nas margens**, que funcionam como esconderijo;
- **Fundo de areia, cascalho ou lama**, onde vivem pequenos invertebrados que servem de alimento.

Na natureza, o peixe-zebra quase nunca está sozinho: ele vive em **cardumes**, grupos com vários indivíduos nadando juntos. Isso ajuda a:

- confundir predadores (é mais difícil focar em um peixe só);
- encontrar alimento com mais eficiência;
- manter interações sociais importantes entre os membros do grupo.

O peixe-zebra ocupa uma posição intermediária na cadeia alimentar: se alimenta de organismos menores (como insetos e suas larvas), mas também serve de alimento para peixes maiores, aves e outros predadores.

2.3 Como é o corpo do peixe-zebra?

O corpo do peixe-zebra é simples à primeira vista, mas cheio de detalhes interessantes:

- é **alongado e comprimido lateralmente**, facilitando a natação em espaços estreitos;
- apresenta **listras horizontais** azuladas ou prateadas que percorrem quase todo o corpo; as nadadeiras (peitorais, dorsal, anal e caudal) são relativamente pequenas, mas permitem mudanças rápidas de direção;
- os **olhos grandes** ajudam na visão em ambientes com luminosidade variável.

Machos e fêmeas são parecidos, mas têm diferenças discretas:

- machos tendem a ser **mais esguios** e, às vezes, um pouco mais coloridos;
- fêmeas costumam apresentar o **abdômen mais arredondado**, principalmente quando estão cheias de óvulos.

Essas características não são aleatórias: elas ajudam o peixe-zebra a:

- movimentar-se com agilidade entre plantas e raízes;
- camuflar-se parcialmente no ambiente, quebrando o contorno do corpo com as listras;
- se comunicar visualmente com outros indivíduos do cardume.

2.4 Uma visão rápida do ciclo de vida

Para entender em que parte da vida do peixe-zebra o atlas vai se concentrar, é útil ter uma visão geral do seu **ciclo de vida**:

1. Desova e fecundação

Em épocas favoráveis, machos e fêmeas se aproximam do fundo, entre pedras e plantas, e liberam suas células reprodutivas na água.

A fêmea libera **óvulos** e o macho libera **espermatozoides**. A fecundação acontece fora do corpo – é uma **fecundação externa**.

2. Estágios embrionários

Assim que o espermatozoide entra no óvulo, forma-se o **zigoto**.

A partir daí, seguem-se as fases que veremos em detalhe na Parte 2:

- zigoto;
- clivagem;
- blástula;
- gástrula;
- somitogênese;
- organogênese primária;
- farínghula.

3. Nessas etapas, o embrião está envolvido por uma membrana protetora, o **córion**.

4. Larva

Quando rompe o córion, dizemos que houve **eclosão**.

A larva ainda é muito delicada e depende de uma reserva de nutrientes (o **vitelo**) para se alimentar nos primeiros dias, até começar a se alimentar no ambiente.

5. Juvenil

Com o crescimento, o corpo se alonga, as nadadeiras se definem e as listras ficam mais evidentes. A aparência vai se aproximando à de um peixe adulto, mas o animal ainda não se reproduz.

6. Adulto

O peixe está completamente formado e produz gametas femininos (óvulos) ou masculinos (espermatozoides). A partir daí, pode participar de novas desovas, reiniciando o ciclo.

Neste atlas, vamos acompanhar principalmente as fases **do zigoto à larva primária (até 5 dias pós-fecundação)**, justamente o período em que acontecem as mudanças mais rápidas e impressionantes do desenvolvimento.

2.5 Do riacho ao laboratório: o peixe-zebra como mascote e organismo modelo

Hoje, o peixe-zebra é encontrado não só em ambientes naturais, mas também em **aquários de laboratórios de pesquisa** e, às vezes, em aquários domésticos.

Em laboratório:

- a água é mantida em **temperatura adequada e qualidade controlada**;
- os peixes recebem **alimentação regular**;
- há um **ciclo de luz e escuro** bem definido;
- os aquários são organizados para permitir que vários peixes vivam em grupo.

Essas condições garantem o bem-estar dos animais e permitem que pesquisadores e professores observem seu desenvolvimento com segurança.

Foi em um ambiente assim que foram mantidos os peixes utilizados para obtenção das **fotomicrografias** que você verá na Parte 2.

Os mesmos embriões e larvas que servem para pesquisa universitária também são importantes, aqui, para a produção do material didático para escolas – aproximando a sala de aula do mundo da ciência.

Caixa “Para o professor” – Como aproveitar este capítulo

Objetivos do capítulo

- Apresentar o peixe-zebra como **organismo real**, com habitat, corpo e ciclo de vida, e não apenas como “animal de laboratório”;
- Situar o leitor sobre **em que fase do ciclo de vida** o atlas vai se concentrar (do zigoto à larva primária);
- Introduzir, de forma leve, a ideia de **organismo modelo** e de **cuidado com os animais** usados em pesquisa e ensino.

Sugestões de atividades

- Pedir que os estudantes desenhem o **ciclo de vida do peixe-zebra** (ovo → embrião → larva → juvenil → adulto) e marquem, com uma cor diferente, as etapas que serão trabalhadas na Parte 2.
 - Comparar o ciclo de vida do peixe-zebra com o de outro organismo conhecido pela turma (por exemplo, sapo, borboleta ou ser humano), destacando semelhanças e diferenças.
 - Usar mapas para localizar a região de origem do peixe-zebra no mundo e discutir como uma espécie nativa da Ásia acabou se tornando um dos principais **modelos de pesquisa** usados em vários países.
-

Capítulo 3: Do zigoto ao organismo: uma visão geral

3.1 Como transformar uma célula em um corpo inteiro?

No capítulo 1 você viu que todos os vertebrados, inclusive nós, começamos como uma única célula, o **zigoto**. Agora vamos dar um passo a mais: acompanhar, de forma panorâmica, **quais são as grandes fases** que transformam esse pontinho microscópico em um peixinho completo.

Os cientistas que estudam o desenvolvimento do peixe-zebra dividem essa viagem em períodos, de acordo com o que está acontecendo com a forma do embrião e com as células lá dentro. Um dos esquemas mais usados no mundo é o de Kimmel e colegas (1995), que organiza os primeiros dias de vida do peixe-zebra em etapas como zigoto, clivagem, blástula, gástrula, segmentação (ou somitogênese), faríngula e larva.

Neste atlas, nós adotamos uma versão adaptada para fins didáticos, cobrindo o intervalo de **0 a 120 horas pós-fecundação (hpf)**:

1. **Zigoto (0–0,75 hpf)** – o embrião é uma única célula, recém-formada pela união do óvulo com o espermatozoide.
2. **Clivagem (0,75–2,25 hpf)** – o zigoto começa a se dividir em muitas células, sem aumentar de tamanho.
3. **Blástula (2,25–5,25 hpf)** – forma-se um aglomerado de células sobre o vitelo; o embrião organiza sua primeira “plataforma de construção”.
4. **Gástrula (5,25–10 hpf)** – as células se movimentam, mergulham e se reorganizam em camadas que darão origem aos tecidos e órgãos.
5. **Somitogênese (10–24 hpf)** – o embrião alonga o corpo e forma blocos de tecido, os **somitos**, que darão origem a músculos e parte do esqueleto.
6. **Organogênese primária (24–36 hpf)** – coração, cérebro, olhos e outros órgãos se tornam claramente identificáveis.
7. **Faríngula (36–48 hpf)** – a região da cabeça se torna mais complexa, aparecem estruturas relacionadas à boca e às brânquias.
8. **Larva primária (72–120 hpf)** – o embrião eclode, começa a nadar e em seguida começa a se alimentar: já é uma larva, ainda muito dependente do vitelo, mas funcional.

Nos próximos capítulos, vamos olhar cada uma dessas fases com uma lente de aumento. Aqui, a ideia é entender “**o filme inteiro**”: quais processos básicos se repetem, o que muda de uma etapa para outra e como tudo isso é parecido – com adaptações – em outros vertebrados.

3.2 Primeira parada: do zigoto à blástula

Logo após a fecundação, o zigoto do peixe-zebra se parece com um ovo “meio dividido”: embaixo, uma grande bola de **vitelo**, que é a reserva de alimento; em cima, uma região mais clara, onde fica o núcleo e onde as primeiras células irão se formar.

Em pouco tempo, começam as **clivagens**:

- o zigoto se divide em 2, depois em 4, 8, 16 células...
- essas divisões são **rápidas e sincronizadas**, com ciclos celulares bem curtos;
- o **número de células aumenta**, mas o volume total do embrião quase não muda: é como cortar uma barra de chocolate em muitos quadradinhos, sem ganhar chocolate novo.

No caso do peixe-zebra (e de muitos peixes ósseos) a quantidade de vitelo é tão grande que as clivagens acontecem apenas em um “disco” de citoplasma no topo do ovo (é incompleta), por isso dizemos que a clivagem é **meroblástica discoidal**. O resultado é uma pilha de células apoiada sobre o vitelo.

À medida que novas divisões acontecem, o embrião entra na fase de **blástula**. As células formam uma camada chamada **blastoderme**, que começa a se espalhar sobre o vitelo. Por dentro, a máquina genética também muda: os primeiros ciclos são controlados, principalmente, por moléculas herdadas da mãe; depois, o embrião começa a **ativar seus próprios genes**, marcando uma transição importante no desenvolvimento.

É como se, nas primeiras horas, o *Danio* ainda usasse um “roteiro pronto” deixado pela mãe no ovo. A partir da blástula, ele assume o controle do próprio caderno de instruções.

3.3 Remodelando o embrião: o show da gástrula

Se na clivagem o foco é **multiplicar células**, na **gástrula** o foco é **mover e organizar** essas células. É aqui que o “aglomerado” começa a ganhar **estrutura**.

Durante a gástrula, três grandes camadas se formam:

- **Ectoderma** – ficará mais para fora e dará origem à pele, ao sistema nervoso e a partes dos órgãos dos sentidos;
- **Mesoderma** – camada intermediária, que originará músculos, ossos, parte dos rins, coração, vasos sanguíneos, entre outros;
- **Endoderma** – camada mais interna, que formará revestimentos do tubo digestório e de órgãos como fígado e pâncreas.

Essas camadas surgem graças a **movimentos coordenados de células**:

- **Epibolia** – as células da superfície “escorregam” e se estendem para recobrir totalmente o vitelo;
- **Convergência e extensão** – grupos de células se aproximam da linha mediana e alongam o embrião, definindo o eixo cabeça-cauda;
- **Involução e ingresso** – algumas células “mergulham” para dentro, formando camadas internas.

Em termos de forma, o embrião do peixe-zebra deixa de ser apenas um “capuz” de células sobre o vitelo e ganha um eixo corporal mais claro, com uma região que será a cabeça, outra que será a cauda e os lados direito e esquerdo bem definidos. É na gástrula que é possível observar, de fato, **o plano básico do corpo**.

Se algo importante dá errado aqui, por exemplo, se certas células não recebem o sinal para ir ao lugar certo, toda a construção posterior fica comprometida. Por isso, muitos biólogos consideram a gástrula uma das fases mais críticas de todo o desenvolvimento.

3.4 Alongando e refinando: somitogênese e organogênese

Terminada a “obra grossa” da gástrula, começa uma fase em que o embrião se alonga e passa a lembrar cada vez mais um peixinho.

Somitogênese (10–24 hpf)

Na superfície do embrião aparece uma linha central, a **notocorda**, e, ao lado dela, surgem blocos de tecido em série: são os **somit**os.

- Cada somito é como um “tijolinho” que dará origem a partes da coluna, às costelas (ou estruturas equivalentes) e à musculatura segmentada típica dos peixes.
- Contar o número de somitos é uma das formas mais usadas pelos pesquisadores para saber em que ponto do desenvolvimento o embrião está.

Enquanto isso, o sistema nervoso começa a se organizar a partir de uma faixa de ectoderma espessada, a **placa neural**, que se dobra e fecha formando o **tubo neural**, futuro cérebro e medula espinhal.

Nesta etapa, se você observar um embrião de peixe-zebra ao microscópio, já consegue ver:

- a cabeça se destacando da região do tronco;
- o olho em formação, como uma bolha lateral;
- o coração iniciando seus batimentos;
- o corpo fazendo pequenos movimentos de flexão.

Organogênese primária e farínghula (24–48 hpf)

A partir de cerca de 24 horas pós-fecundação, o embrião entra em uma fase em que os **órgãos principais ficam bem evidentes**:

- o coração bate de forma rítmica e empurra o sangue por vasos que já se conectam;
- o cérebro se subdivide em regiões (prosencefalo, mesencefalo, rombencefalo), e os olhos se pigmentam;
- a cauda se alonga e o embrião começa a se soltar do vitelo.

Entre 36 e 48 hpf, o peixe entra no que chamamos de **farínghula**:

- a região da garganta se torna mais complexa;
- aparecem arcos faríngeos que, mais tarde, formarão estruturas das **brânquias** e de suporte;
- a boca se forma, embora a alimentação ativa ainda não tenha começado.

É como se, nesse intervalo, *Danio* “instalasse” o sistema de circulação, o sistema nervoso central e a base do aparelho respiratório.

3.5 Dos primeiros batimentos à larva que nada

Depois de aproximadamente dois dias, o embrião está quase pronto para deixar a proteção do envoltório do ovo. Entre 48 e 72 hpf, muitos peixes-zebra entram no período de **eclosão**: rompem o envoltório e passam a ser chamados de **larvas**.

Na fase de **larva primária (72–120 hpf)**, que é o último foco deste atlas:

- o peixinho já nada ativamente, embora ainda dependa bastante do vitelo como fonte de energia;
- a boca e o intestino passam a funcionar, permitindo que ele comece a obter alimento no ambiente;
- as brânquias amadurecem, tornando a respiração aquática mais eficiente;
- o sistema nervoso coordena comportamentos básicos, como fuga de ameaças e busca de alimento.

Do ponto de vista histológico, os cortes de larvas mostram:

- tecidos mais diferenciados – músculos organizados, epitélios bem definidos, cartilagens em formação, vasos sanguíneos cheios de eritrócitos (hemácias);
- órgãos que se assemelham aos de peixes juvenis e adultos, apenas em escala reduzida.

É importante notar que, embora o peixinho já consiga viver fora do ovo, o desenvolvimento **não termina** aqui. Ele ainda vai crescer, formar novas estruturas (como escamas e elementos do esqueleto axial mais complexos) e passar por outros ajustes ao longo da vida.

3.6 Três ideias para guardar

Antes de mergulhar com detalhes em cada estágio, vale guardar três ideias-chave:

1. **As células compartilham o mesmo “livro de receitas”, mas leem capítulos diferentes.**

Em praticamente todas as células do corpo de *Danio*, o DNA é o mesmo. O que muda são quais genes estão ativos ou inativos em cada tecido. É isso que faz uma célula virar neurônio, outra virar fibra muscular, outra virar célula da pele.

2. **Desenvolver é multiplicar, mover e conversar.**

O embrião não apenas aumenta o número de células; ele faz com que elas se movam, mudem de forma e troquem sinais umas com as outras. Esses processos, **proliferação, migração, diferenciação e indução**, se repetem do zigoto à larva.

3. **O tempo importa.**

No peixe-zebra as primeiras 24 horas concentram mudanças impressionantes: em um único dia, surgem os eixos corporais, o sistema nervoso central em esboço, o coração, a base dos músculos segmentados. Depois disso, o desenvolvimento continua, mas com foco em refinar e fazer crescer o que já foi esboçado.

Nos capítulos seguintes, vamos revisitar cada fase com calma, usando fotos, lâminas histológicas e comparações com outros vertebrados. Agora que você já viu o “trailer” da história é hora de acompanhar a viagem quadro a quadro.

Caixa “Para o professor” – Como trabalhar este capítulo em sala

- **Objetivo principal:** fornecer uma visão panorâmica da embriogênese do peixe-zebra, conectando termos clássicos (zigoto, clivagem, blástula, gástrula, organogênese) à sequência de imagens que será explorada na Parte 2 do atlas.
- **Sugestão de atividade simples:** pedir aos alunos que construam, em cartolina ou digitalmente, uma “linha do tempo” do desenvolvimento de *Danio rerio*, posicionando fotos ou esquemas dos oito estágios e resumindo, em uma frase, o que acontece em cada um.
- **Integrações possíveis:**
 - com **Genética**, ao discutir a ativação do genoma do embrião na transição de blástula (midblastula transition);
 - com **Fisiologia**, ao relacionar falhas em gástrula e organogênese a malformações congênitas;
 - com **Evolução**, destacando que as três camadas germinativas e muitos aspectos da gastrulação são compartilhados por todos os vertebrados.

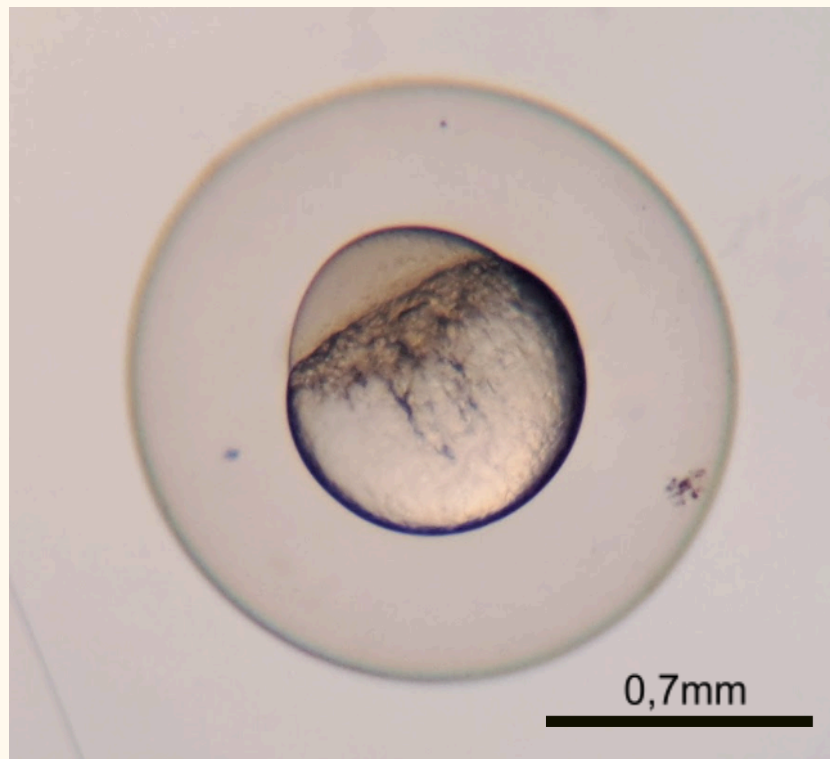
No próximo capítulo, começaremos a viagem pelo primeiro estágio: **o zigoto**, essa única célula cheia de potencial.

Parte 2 – Atlas do desenvolvimento do peixe-zebra (*Danio rerio*)

Capítulo 4: Zigoto (0–0,75 hpf)

4.1 Ficha do estágio

- **Intervalo:** 0–0,75 horas pós-fecundação (hpf)
- **Palavras-chave:** fecundação, uma célula, polos animal e vegetativo, vitelo



Zigoto de *Danio rerio* logo após a fecundação. A região superior é o polo animal, onde se concentra a maior parte do citoplasma ativo.

4.2 O que você vê na foto?

O zigoto lembra uma bolinha de gude muito pequena: consiste em uma esfera transparente, com uma região mais homogênea na parte superior (polo animal) e uma porção mais densa na parte inferior (polo vegetativo), rica em vitelo.

4.3 O que está acontecendo por dentro?

Logo após a fecundação:

- os materiais genéticos do óvulo e do espermatozoide se unem;
- o zigoto reorganiza seu citoesqueleto e as organelas;
- começa a se preparar para a primeira divisão celular (clivagem).

É um estágio curto, mas decisivo: aqui se estabelece a “base” a partir da qual todas as outras células surgirão.

4.4 Comparando com outros vertebrados

O zigoto do peixe-zebra se parece com o de outros vertebrados ovíparos que possuem **muito vitelo**, como muitos peixes ósseos e répteis. Já em mamíferos placentários, o zigoto é menor e tem pouco vitelo, pois a nutrição será garantida pela placenta, mas a ideia de “uma célula que dará origem ao organismo inteiro” é a mesma.

Caixa “Para o professor” – Sugestões de atividades

- Pedir que os alunos desenhem o zigoto e indiquem o **polo animal**, o **polo vegetativo** e o **vitelo**.
 - Usar uma bola de isopor para representar o ovo e massinha colorida para marcar a região do polo animal.
 - Perguntar: “Se tudo começa em uma célula, o que isso diz sobre o parentesco entre os seres vivos?”
-

Capítulo 5: Clivagem (0,75–2,25 hpf)

5.1 Ficha do estágio

- **Intervalo:** 0,75–2,25 hpf
- **Palavras-chave:** clivagem meroblástica discoidal, blastômeros, multiplicação celular



Estágios iniciais de clivagem em *Danio rerio* (2, 4 e 8 células). As divisões ocorrem apenas na região do polo animal.

5.2 O que você vê nas fotos?

Nas imagens de embrião inteiro, a região homogênea do polo animal passa a parecer um “**aglomerado de bolhas**”: primeiro 2 células, depois 4, 8, 16, 32... As células (blastômeros) vão diminuindo de tamanho conforme se dividem. O vitelo permanece como uma massa grande e relativamente imóvel na base.

5.3 O que está acontecendo por dentro?

- o zigoto se divide rapidamente, sem tempo para crescimento entre uma divisão e outra;
- o número de células aumenta muito, mas o volume total do embrião praticamente não muda;
- a clivagem é **meroblástica discoidal**: só a parte superior do ovo (o disco de citoplasma) se divide, porque o vitelo é muito volumoso.

É como se o embrião estivesse “picando” uma mesma porção de massa em pedaços cada vez menores, preparando o material para as próximas etapas.

5.4 Comparando com outros vertebrados

Em anfíbios, a clivagem costuma ser **holoblástica** (o ovo inteiro se divide), pois a quantidade de vitelo é menor. Em aves, a clivagem também é meroblástica discoidal, lembrando bastante o padrão observado no peixe-zebra. Esses tipos de clivagem refletem adaptações à quantidade e à distribuição do vitelo no ovo.

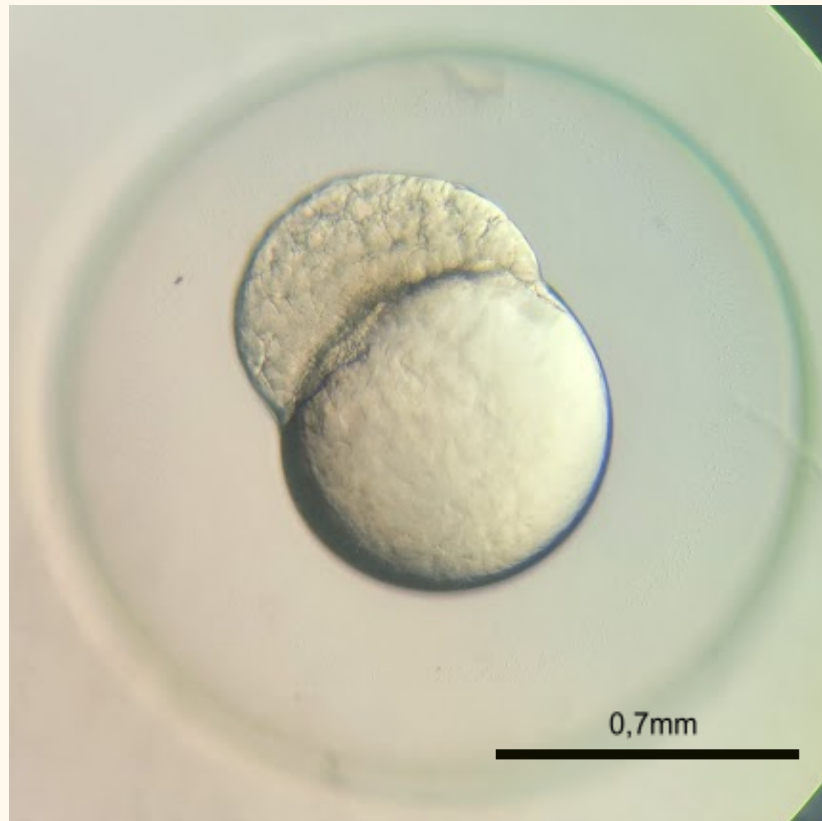
Caixa “Para o professor” – Sugestões de atividades

- Construir uma sequência de desenhos (ou recortes) mostrando 1, 2, 4, 8, 16 células.
 - Usar um pedaço de massinha representando citoplasma e outro representando vitelo, para mostrar que **apenas a parte “sem vitelo”** sofre clivagem.
 - Propor a pergunta: “Por que é útil ter muitas células bem cedo, mesmo sem o embrião ficar maior?”
-

Capítulo 6: Blástula (2,25–5,25 hpf)

6.1 Ficha do estágio

- **Intervalo:** 2,25–5,25 hpf
- **Palavras-chave:** blastoderme, domo, cavidade, ativação do genoma embrionário



Embrião de peixe-zebra em blástula. A blastoderme de células cobre parcialmente o vitelo.

6.2 O que você vê na foto?

A região de células no polo animal agora se parece com um “**capuz celular**” mais espesso e **organizado** sobre o vitelo:

- a borda entre blastoderme e vitelo fica mais nítida;
- em certos momentos, parece que as células formam uma cúpula sobre o vitelo, é o chamado **estágio de domo**.

6.3 O que está acontecendo por dentro?

Na blástula:

- o embrião já tem **centenas de células**;
- ocorre uma transição importante: o controle do desenvolvimento passa a ser cada vez mais exercido pelo **genoma do embrião** e não apenas por moléculas maternas depositadas no ovo;
- a blastoderme se organiza para iniciar os movimentos dramáticos da próxima fase, a **gástrula**.

É como se, até aqui, *Danio* estivesse usando um “roteiro emprestado” e, na blástula, finalmente começasse a escrever as próximas páginas com a própria caneta.

6.4 Comparando com outros vertebrados

Blástulas aparecem em praticamente todos os animais com desenvolvimento embrionário complexo. O formato pode variar (esfera oca, disco de células, estruturas mais achatadas), mas a ideia básica é a mesma: um conjunto de células organizadas pronto para sofrer gastrulação.

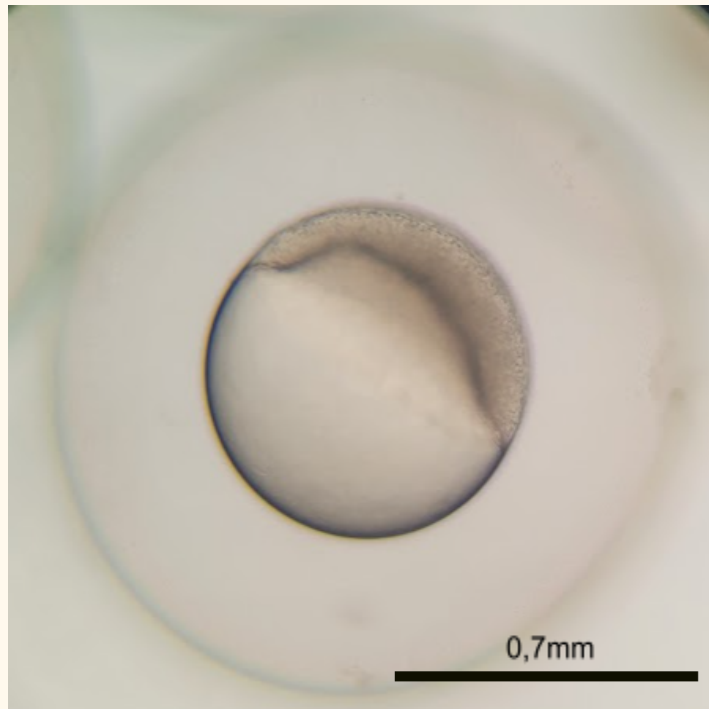
Caixa “Para o professor” – Sugestões de atividades

- Pedir que os alunos desenhem a blástula comparando com os estágios de clivagem, destacando o “capuz” de células.
 - Discutir o que significa o embrião “começar a usar seus próprios genes” – interação com a genética.
 - Propor uma linha do tempo com fotos: zigoto → clivagem → blástula.
-

Capítulo 7: Gástrula (5,25–10 hpf)

7.1 Ficha do estágio

- **Intervalo:** 5,25–10 hpf
- **Palavras-chave:** gastrulação, camadas germinativas, epibolia, convergência, extensão



Embrião de peixe-zebra em fase de gástrula. O anel germinativo circunda o vitelo, e o escudo embrionário marca o futuro eixo do corpo.

7.2 O que você vê na foto?

Nas imagens de embrião inteiro:

- a blastoderme se estende cada vez mais sobre o vitelo (epibolia);
- aparece uma região espessada em um dos lados, o **escudo embrionário**, que indica onde será a futura “costas” do peixe;
- o limite entre a parte já recoberta de células e a parte ainda exposta do vitelo forma o **anel germinativo**.

7.3 O que está acontecendo por dentro?

A gastrulação é uma etapa de **reorganização intensa**:

- as células mudam de posição e de forma;
- surgem três camadas embrionárias principais:
 - ectoderma – dará origem a pele e sistema nervoso;
 - mesoderma – formará músculos, ossos, coração, vasos sanguíneos, rins;
 - endoderma – formará o revestimento do tubo digestório e órgãos associados;
- define-se o **plano básico do corpo**: frente (anterior) e trás (posterior), cima (superior) e baixo (inferior), lados direito e esquerdo.

Se a clivagem multiplicou as células, a gastrulação é o momento de **colocá-las nos lugares certos**.

7.4 Comparando com outros vertebrados

Todos os vertebrados passam por algum tipo de gastrulação. A maneira como as células se movem varia (invaginação, epibolia, involução, ingressão), mas o resultado, a formação das três camadas germinativas, é um traço compartilhado ao longo da evolução. Isso reforça a ideia de um ancestral comum e de um “plano corporal” básico herdado e modificado ao longo do tempo.

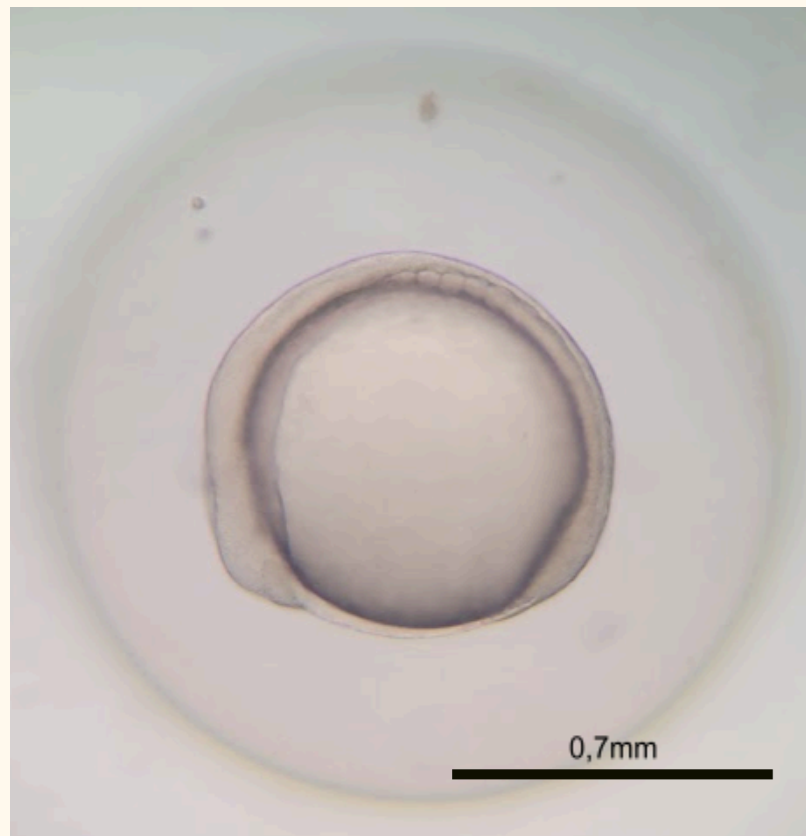
Caixa “Para o professor” – Sugestões de atividades

- Usar massa de modelar para simular uma “bola de células” que se dobra e forma camadas internas.
 - Pedir que os alunos indiquem, em um desenho, onde ficaria a futura cabeça e a futura cauda na gástrula.
 - Discutir por que a gastrulação é considerada uma das fases mais críticas do desenvolvimento.
-

Capítulo 8: Somitogênese (10–24 hpf)

8.1 Ficha do estágio

- **Intervalo:** 10–24 hpf
- **Palavras-chave:** somitos, notocorda, tubo neural, eixo cabeça-cauda



Embrião de peixe-zebra em somitogênese. Os somitos aparecem como blocos segmentados ao longo do eixo do corpo.

8.2 O que você vê na foto?

Na vista lateral:

- o embrião está mais alongado;
- ao lado da linha central, vê-se uma série de “quadrinhos” ou blocos: são os **somitos**;
- a cabeça começa a se diferenciar do restante do corpo;
- a cauda começa a se projetar para longe do vitelo.

8.3 O que está acontecendo por dentro?

Durante a somitogênese:

- o embrião define com mais clareza seu eixo anteroposterior (cabeça–cauda);
- somitos vão surgindo ritmicamente, um após o outro, em direção à cauda;
- o sistema nervoso central (tubo neural) se organiza e se fecha;
- começam os primeiros movimentos de flexão do corpo.

Essa fase é importante porque estabelece a **segmentação do corpo**, característica marcante de muitos vertebrados (evidente na disposição dos músculos e das vértebras).

8.4 Comparando com outros vertebrados

Somitos também aparecem em anfíbios, répteis, aves e mamíferos. A contagem de somitos é usada em embriologia comparada para alinhar estágios entre espécies diferentes: um embrião de peixe e um de galinha com número semelhante de somitos podem estar em momentos funcionais parecidos de desenvolvimento, apesar de diferenças no aspecto geral.

Caixa “Para o professor” – Sugestões de atividades

- Propor que os alunos contem, em uma foto, quantos somitos conseguem identificar.
 - Relacionar a segmentação vista no embrião com a organização de músculos e vértebras em um peixe adulto.
 - Se houver esqueleto de peixe disponível, compará-lo com a imagem de somitogênese.
-

Capítulo 9: Organogênese (24–36 hpf)

9.1 Ficha do estágio

- **Intervalo:** 24–36 hpf
- **Palavras-chave:** coração, cérebro, olhos, circulação



Embrião de peixe-zebra em organogênese primária. Olhos e cérebro em desenvolvimento, coração em posição ventral.

9.2 O que você vê na foto?

Nas imagens de embrião inteiro:

- a cabeça está bem marcada, com os **esboços dos olhos** aparecendo como estruturas arredondadas;
- o **coração** já pode ser visto como uma estrutura curva na região ventral;
- a cauda está mais comprida e se afasta do vitelo;
- em microscopia com boa resolução, é possível observar fluxo sanguíneo nos vasos.

9.3 O que está acontecendo por dentro?

Na organogênese primária:

- os órgãos principais **aparecem claramente pela primeira vez**;
- o coração começa a bater de forma rítmica, impulsionando sangue;
- olhos, cérebro, medula espinhal, intestino, fígado e outras estruturas entram em fase de definição;
- o embrião começa a se preparar para a vida fora do envoltório do ovo.

É um período em que o embrião já “parece um animal”, mesmo que ainda esteja longe da forma definitiva.

9.4 Comparando com outros vertebrados

Em muitos vertebrados, existe um momento em que o embrião passa a ser reconhecido como um “pequeno vertebrado genérico”: cabeça grande, olho lateral, coração simples, somitos. A partir daí, cada grupo segue sua trajetória específica, mas essas semelhanças intermediárias são um forte indício de parentesco evolutivo.

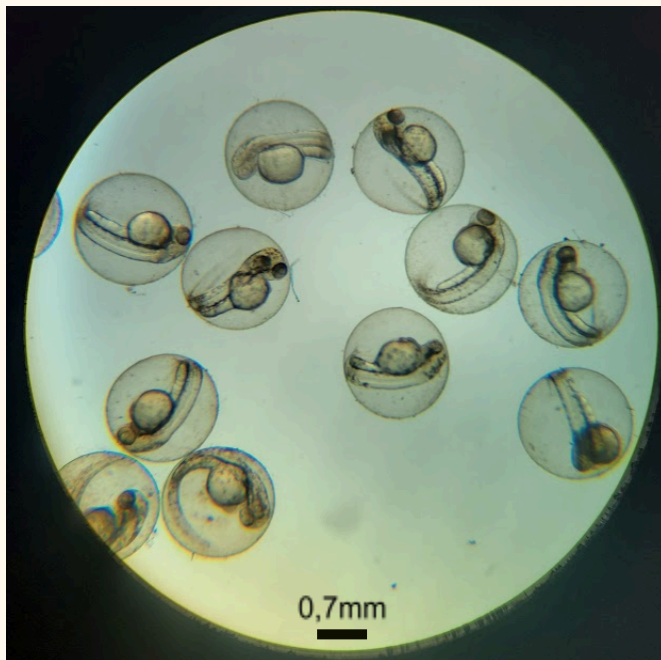
Caixa “Para o professor” – Sugestões de atividades

- Pedir que os alunos marquem, em uma foto, onde está o coração, onde estão os olhos e onde estão os somitos.
 - Relacionar a aparição do coração batendo com a importância da circulação para o crescimento rápido do embrião.
 - Discutir por que tantos vertebrados dão a impressão de serem “parecidos” nessa fase.
-

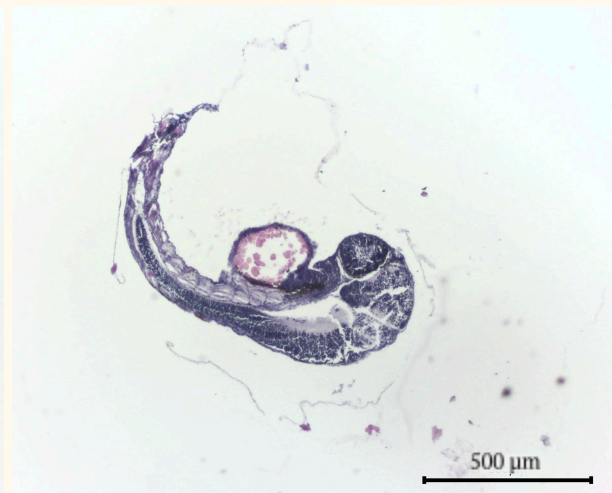
Capítulo 10: Faríngula (36–48 hpf)

10.1 Ficha do estágio

- **Intervalo:** 36–48 hpf
- **Palavras-chave:** faringe, arcos faríngeos, cabeça, pigmentação



Embrião de peixe-zebra em faríngula. A cabeça e a região faríngea tornam-se mais complexas; pigmentos começam a surgir na pele.



Corte transversal e longitudinal do embrião de peixe-zebra em faríngula. Nota-se a estrutura do tubo nervoso e da notocorda.

10.2 O que você vê nas fotos?

Nas vistas externas:

- a **cabeça está maior e mais detalhada**;
- a região da garganta (faringe) mostra estruturas segmentadas – os **arcos faríngeos**;
- **pigmentos escuros (melanóforos)** começam a aparecer na pele;
- o coração e os vasos sanguíneos estão bem visíveis, com circulação ativa.

Na histologia:

- organização dorsal do **tubo nervoso** e da **notocorda**.

10.3 O que está acontecendo por dentro?

Na farínghula:

- no embrião se intensifica a **organização da cabeça e da faringe**;
- estruturas que, posteriormente, irão sustentar as brânquias são esboçadas;
- a musculatura da cabeça e do tronco começa a se especializar;
- os olhos se pigmentam mais e o sistema nervoso central ganha detalhes.

É um momento em que o embrião já tem **contornos de peixe bem definidos**, mas ainda está protegido pelo envoltório.

10.4 Comparando com outros vertebrados

Em vertebrados terrestres, os arcos faríngeos dão origem a estruturas bastante diferentes: ossos da orelha média, cartilagens da laringe, partes da mandíbula e do pescoço. No peixe, muitos desses arcos permanecerão associados às brânquias. Essa “reutilização” evolutiva de um mesmo conjunto de estruturas é um clássico exemplo de homologia.

Caixa “Para o professor” – Sugestões de atividades

- Pedir que os alunos localizem, na figura, a região que se tornará a boca e a região onde se formarão as brânquias.
 - Comparar esquemas de arcos faríngeos em peixes e em humanos (versão simplificada).
 - Discutir a ideia de “mesma estrutura, funções diferentes” na evolução.
-

Capítulo 11: Larva primária (72–120 hpf)

11.1 Ficha do estágio

- **Intervalo:** 72–120 hpf (3 a 5 dias pós-fecundação)
- **Palavras-chave:** eclosão, natação, alimentação, bexiga natatória



Larvas de peixe-zebra recém-eclodidas. Corpo alongado, olhos grandes pigmentados, vitelo ainda visível.

11.2 O que você vê nas fotos?

A larva de peixe-zebra:

- tem corpo **bem alongado**, com cabeça, tronco e cauda distintos;
- possui **olhos grandes e pigmentados**;
- mostra uma região volumosa no abdômen – o **saco vitelínico** ainda presente;
- apresenta **bexiga natatória** visível e inflada, que ajuda na flutuação;
- exibe padrões de **pigmentos escuros (melanóforos)** ao longo do corpo.

11.3 O que está acontecendo por dentro?

Na larva primária:

- o peixe já **saiu do ovo** e explora o ambiente;
- os órgãos principais estão formados e em funcionamento;
- o vitelo começa a se esgotar, e a larva passa a depender cada vez mais de alimento externo;
- o sistema nervoso, os músculos e os órgãos dos sentidos coordenam comportamentos como fuga, busca de alimento e resposta à luz.

Ainda há muito desenvolvimento pela frente (crescimento, maturação sexual, formação de escamas e estruturas ósseas mais robustas), mas a base do organismo já está definida.

11.4 Comparando com outros vertebrados

A larva de peixe-zebra lembra, em parte, as larvas de outros peixes e até os girinos de anfíbios, que também são estágios jovens adaptados à vida aquática e ainda vão se modificar bastante até alcançar a forma adulta final. Em mamíferos, fases equivalentes ocorrem dentro do útero, longe dos olhos – uma das vantagens didáticas do peixe-zebra é justamente permitir acompanhar esse momento de transição de forma direta.

Caixa “Para o professor” – Sugestões de atividades

- Pedir que os alunos identifiquem, em uma foto, as seguintes estruturas: olhos, saco vitelínico, bexiga natatória, cauda.
 - Discutir: “Em que momento podemos dizer que o embrião se tornou um ‘animal’ do ponto de vista funcional?”
 - Relacionar o esgotamento do vitelo com a necessidade de aprender a obter o alimento no ambiente.
-

Parte 3 – Desenvolvimento, evolução e diversidade dos peixes

Capítulo 12: Peixes na árvore da vida – por que estudá-los?

12.1 Onde os peixes entram na árvore da vida?

Quando falamos em “árvore da vida”, estamos falando de um grande **mapa de parentesco** entre os seres vivos. Nessa árvore:

- os animais formam um grande grupo;
- dentro dele, há os **Bilateria**, seres com simetria bilateral (lado direito/esquerdo) e três camadas germinativas (ectoderma, mesoderma e endoderma);
- dentro dos Bilateria, um dos ramos é o dos **deuterostômios**, onde estão os **cordados** e, entre eles, os **vertebrados**.

Os vertebrados compartilham algumas características importantes:

- **notocorda** - bastão flexível que serve de eixo para o corpo na fase embrionária;
- **tubo nervoso dorsal** – que dará origem ao cérebro e à medula espinhal;
- **fendas faríngeas** - em algum momento do desenvolvimento;

Dentro dos vertebrados, os peixes representam o **ramo mais antigo e diverso**:

- incluem desde peixes sem mandíbulas até tubarões e raias (peixes cartilagosos) e a imensa variedade de peixes ósseos;
- mesmo nós, mamíferos terrestres, descendemos de ancestrais aquáticos (“**peixes**” no sentido amplo).

Do ponto de vista evolutivo, estudar peixes é, em parte, estudar as **raízes da história dos vertebrados**.

12.2 Um grupo enorme e diverso

Quando pensamos em “peixe”, é fácil imaginar sempre o mesmo tipo de animal. Mas, na verdade, os peixes formam um grupo **muito diverso**:

- vivem em rios, lagos, brejos, manguezais, recifes de coral, mar aberto, águas profundas;
- variam em tamanho de poucos milímetros até mais de 10 metros;
- podem ser coloridíssimos (recifes) ou quase transparentes (profundezas);
- alguns migram milhares de quilômetros, outros passam a vida em poucos metros quadrados.

Em número de espécies, os peixes representam **mais da metade de todas as espécies de vertebrados conhecidas**, ocupando praticamente todos os tipos de ambientes aquáticos.

Essa diversidade torna os peixes um “**campo de testes**” da evolução:

formas de corpo, tipos de nadadeira, modos de alimentação, estratégias de reprodução... tudo isso foi sendo “experimentado” ao longo de centenas de milhões de anos.

12.3 O que o desenvolvimento dos peixes revela sobre evolução?

Apesar de toda essa variedade, o **desenvolvimento inicial** dos vertebrados é surpreendentemente parecido. Do ponto de vista da embriologia comparada:

- peixes, anfíbios, aves e mamíferos apresentam um padrão comum: formação de **tubo nervoso dorsal**, **notocorda**, **somitos** e outras estruturas básicas do plano corporal.
- esses passos iniciais são coordenados por **conjuntos de genes muito conservados**, que se repetem de espécie em espécie.

Isso significa que:

- olhar para um embrião de peixe ajuda a entender **etapas que também acontecem no embrião humano**;
- muitas diferenças entre adultos (um peixe, um sapo, uma ave, uma pessoa) surgem **depois** de uma base de desenvolvimento muito parecida.

Em resumo, o estudo do desenvolvimento dos peixes abre uma **janela para a compreensão da evolução a partir de ancestrais comuns dos vertebrados**.

12.4 Por que tantos estudos usam peixes (e o peixe-zebra em especial)?

Entre os vertebrados, **peixes e anfíbios** se destacam como modelos de pesquisa porque:

- produzem **muitos ovos que são liberados no meio externo**;
- os ovos são fecundados fora do corpo, o que permite acompanhar o desenvolvimento desde o início;
- usam **processos e genes semelhantes** aos de outros vertebrados para formar eixos corporais e órgãos.

O peixe-zebra, em particular, se tornou um dos principais modelos de estudo porque:

- produz grandes ninhadas durante o ano todo;
- é fácil de manter em laboratório;
- seus embriões são transparentes e se desenvolvem rápido fora do corpo da mãe;
- foi o primeiro vertebrado submetido a grandes rastreios de mutagênese para estudar malformações e funções gênicas.

Mas ele não é o único. Outros peixes, como a **piapara** (*Leporinus elongatus*), um peixe nativo do Brasil, e várias outras espécies usadas em aquicultura, também têm seu desenvolvimento descrito em detalhes. Esses estudos ajudam a:

- entender melhor a **história de vida inicial** da espécie;
- aperfeiçoar técnicas reprodutivas para criação e repovoamento;
- esclarecer relações de parentesco e diferenças morfofisiológicas entre peixes.

Ou seja, a Biologia do Desenvolvimento de peixes não serve apenas para responder perguntas teóricas sobre evolução, mas também para apoiar **conservação, manejo de estoques e produção de alimentos**.

Caixa “Para o professor” – Como aproveitar este capítulo

Objetivos principais

- Situar os peixes na **árvore da vida**, destacando seu lugar entre os vertebrados;
- Mostrar a **importância dos peixes** como modelos de estudo em Biologia do Desenvolvimento e Evolução, com ênfase no peixe-zebra, mas também em espécies brasileiras;
- Introduzir a ideia de que **semelhanças embrionárias** reforçam hipóteses de ancestralidade comum.

Atividades sugeridas

- Construir um **cladograma simplificado** em cartolina ou digitalmente, marcando onde entram: peixes, anfíbios, répteis, aves e mamíferos.
 - Pedir aos alunos que respondam: “Por que faz sentido dizer que ‘todo mundo já teve um ancestral aquático?’” e discutir as respostas.
 - Trazer exemplos de peixes nativos (lambari, piapara, etc.) e exóticos (tilápia, peixe-zebra, etc) e discutir por que conhecer o **desenvolvimento dessas espécies** pode ser importante para a conservação do meio ambiente e aquicultura.
-

Capítulo 13: Como outros peixes se desenvolvem?

13.1 Um roteiro em comum

Se compararmos o desenvolvimento do peixe-zebra com o de outros peixes, veremos que eles seguem um **roteiro básico parecido**:

1. formação do **zigoto** após a fecundação;
2. **clivagem** do ovo em muitas células (blastômeros);
3. organização dessas células em uma **blástula**;
4. **gastrulação**, com formação de três camadas germinativas;
5. formação de **tubo neural, notocorda, somitos** e demais estruturas do eixo corporal;
6. **organogênese**, quando órgãos ficam reconhecíveis;
7. fase de **larva** e, depois, de juvenil e adulto.

Em vertebrados, especialmente peixes e anfíbios:

- ovos são liberados em grande número no ambiente;
- a clivagem e a gastrulação ocorrem fora do corpo materno;
- os mesmos tipos de movimentos celulares (epibolia, invaginação, involução, etc.) posicionam ectoderma, mesoderma e endoderma.

Ou seja: **o peixe-zebra não está sozinho** – muitos outros peixes seguem etapas bem semelhantes, ainda que em escalas de tempo e ambientes diferentes.

13.2 O papel do vitelo: ovos grandes, ovos pequenos

Uma das principais diferenças entre o desenvolvimento de espécies de peixes está na **quantidade de vitelo** presente no ovo e na forma como o embrião se alimenta nas fases iniciais.

Alguns pontos importantes:

- o vitelo é uma **reserva de nutrientes** que sustenta o embrião até que ele consiga se alimentar sozinho;
- ovos com muito vitelo tendem a ser maiores e permitem um desenvolvimento inicial mais prolongado antes da eclosão;
- ovos com menos vitelo, em geral, produzem larvas que precisam começar a se alimentar mais cedo no ambiente externo.

Além disso, a quantidade e distribuição de vitelo influenciam:

- o **tipo de clivagem** (por exemplo, meroblástica discoidal em muitos peixes ósseos, como o peixe-zebra);
- o padrão de **desenvolvimento direto**, quando o recém-nascido já se parece com o adulto, ou **indireto**, com fase larval e metamorfose.

Nos peixes, o mais comum é um **desenvolvimento indireto**, com larvas que se nutrem inicialmente de vitelo e depois passam a obter alimento no meio ambiente, como vimos na larva do peixe-zebra.

13.3 Exemplo 1 – Peixes ósseos de rios brasileiros

A **piapara** (*Leporinus elongatus*) é um peixe nativo do Brasil, de água doce, de importância econômica e ecológica, que também tem seu desenvolvimento descrito em detalhes.

Alguns pontos do desenvolvimento embrionário e larval da piapara:

- vive em rios e necessita de **águas relativamente quentes** para que seus ovos se desenvolvam bem;
- realiza **desova sazonal**, com pico em períodos mais quentes, liberando grande quantidade de ovos na coluna d'água;
- os ovos são **telolécitos**, com grande suprimento de vitelo e espaço perivitelino, característica importante para o desenvolvimento em ambientes de correnteza;

O desenvolvimento embrionário descrito para a piapara passa por fases de:

- ovo, blástula, gástrula, nêurula, embrião, larva, pós-larva e juvenil;
- formação inicial de coração, olhos, intestino primitivo e somitos, de forma comparável ao que observamos em outros teleósteos.

A ontogênese dessa espécie é importante porque:

- ajuda a **identificar ovos e larvas na natureza**, útil em programas de monitoramento;
- fornece subsídios para a **aquicultura** e o manejo de espécies;
- permite relacionar características histológicas e anatômicas com **hábitos e comportamentos** (alimentação, migração, uso de diferentes habitats ao longo da vida).

Comparando com o peixe-zebra:

- ambos têm desenvolvimento externo com fases embrionárias e larvais bem marcadas;
- a piapara possui ovos maiores, com mais vitelo e larvas que eclodem em tempos e condições adaptadas a rios tropicais;
- em *Danio rerio*, tudo é muito mais rápido e “miniaturizado”, o que facilita seu uso em laboratório.

13.4 Exemplo 2 – Tubarões e raias

Os peixes cartilagosos (tubarões, raias e quimeras) apresentam **estratégias reprodutivas e de desenvolvimento bastante diferentes** das dos peixes ósseos.

Em muitas espécies:

- a **fecundação é interna**, com acasalamento e transferência de espermatozoides diretamente para o corpo da fêmea;
- parte delas é **ovípara**, depositando ovos grandes, com muito vitelo, envolvidos por cápsulas resistentes (“bolsas de sereia”);
- outras são **ovovivíparas ou vivíparas**, mantendo o embrião dentro do corpo da mãe até estágios avançados ou até o “nascimento”.

Do ponto de vista do desenvolvimento:

- embriões de tubarão também passam por clivagem, formação de blástula, gastrulação, neurulação e organogênese – ou seja, o roteiro básico é o mesmo;
- o grande volume de vitelo e o ambiente protegido (útero ou cápsula) permitem que muitas estruturas já estejam bem desenvolvidas antes de o filhote encontrar o ambiente externo;
- o tempo de desenvolvimento costuma ser mais longo e o número de filhotes, menor.

Essas diferenças ilustram como a evolução “experimental” com as mesmas etapas básicas de desenvolvimento embrionário, combinando-as a meios reprodutivos e contextos ecológicos variados.

13.5 Ligando tudo de volta ao peixe-zebra

Comparando todos esses exemplos:

- **Peixe-zebra** – pequeno teleósteo de água doce, desenvolvimento rápido, ovos relativamente pequenos, larvas transparentes que eclodem em poucos dias. Excelente modelo para pesquisa.
- **Piapara e outros peixes neotropicais** – ovos com mais vitelo, adaptados a rios com correnteza, desenvolvimento ligado à sazonalidade e à temperatura, importante para manejo e conservação.
- **Tubarões e raias** – desenvolvimento interno ou em cápsulas resistentes, menos filhotes, mais investimento em cada embrião, longos períodos de gestação.

Em todos, porém, encontramos:

- zigoto → clivagem → blástula → gástrula → órgãos em formação → larva/filhote;
- notocorda, tubo nervoso dorsal, somitos, coração inicial, olhos em desenvolvimento...

Essa combinação de **unidade e diversidade** é justamente o que torna o estudo do desenvolvimento de peixes uma ferramenta tão poderosa para entender a evolução dos vertebrados.

Caixa “Para o professor” – Como aproveitar este capítulo

Objetivos principais

- Evidenciar **semelhanças e diferenças** entre o desenvolvimento de peixes de grupos distintos;
- Conectar desenvolvimento com **ecologia e estratégias reprodutivas**;
- Mostrar como o conhecimento de desenvolvimento de espécies nativas (piapara) tem impacto em **aquicultura, conservação e manejo**.

Atividades sugeridas

- Pedir que os alunos montem uma **tabela comparativa** entre: peixe-zebra, um peixe brasileiro de interesse local (como piapara ou lambari) e um tubarão, preenchendo colunas como: tipo de fecundação, quantidade de vitelo, desenvolvimento direto/indireto, número de filhotes.
 - Propor uma discussão: “Se uma espécie produz poucos filhotes grandes e bem desenvolvidos e outra produz muitos filhotes pequenos e frágeis, que vantagens e desvantagens cada estratégia pode ter?”
 - Relacionar o desenvolvimento de peixes com temas de **impacto ambiental** (barragens, poluição, aquecimento da água) e sua influência sobre os períodos de reprodução e sobrevivência de larvas.
-

Parte 4 – Materiais para o professor

Capítulo 14: Sugestões de aulas e atividades

Este capítulo reúne **propostas práticas** para usar o atlas em diferentes níveis de ensino. Elas podem ser adaptadas conforme a realidade de cada escola (tempo de aula, presença ou não de microscópios, acesso a laboratório, etc.).

14.1 Sequências didáticas para anos finais do Ensino Fundamental

a) “Todo mundo já foi uma célula”

Conteúdos: célula, reprodução, zigoto, níveis de organização.

Capítulos do atlas: 1, 2 e 3.

1. Iniciar com a pergunta:
“Como você acha que era você mesmo(a) com um dia de vida?”
2. Ler, em voz alta, trechos dos capítulos 1 e 3 que falam sobre o zigoto e a formação do corpo.
3. Pedir que os alunos desenhem uma sequência simples:
célula única → “conjunto de células” → “esboço de corpo” → organismo.
4. Discutir o que é um **tecido**, um **órgão** e um **sistema**, usando exemplos humanos e do peixe-zebra.

Produto final: um painel coletivo mostrando “da célula ao organismo”.

b) “Conhecendo o *Danio*: ciclo de vida do peixe-zebra”

Conteúdos: ciclo de vida, larva, juvenil, adulto, desenvolvimento indireto.

Capítulos: 2 a 11.

1. Apresentar imagens do **ciclo de vida** do peixe-zebra: ovo, embrião, larva, juvenil, adulto.
2. Pedir que a turma descreva o que muda de um estágio para outro.
3. Comparar com o ciclo de vida de outro animal conhecido (borboleta, sapo, galinha).
4. Introduzir os conceitos de **desenvolvimento direto e indireto**.

Produto final: linha do tempo desenhada em grupo, com legendas simples.

c) “Embriões parecem... o quê?”

Conteúdos: semelhanças entre vertebrados, evolução.

Capítulos: 3, 8, 9 e 13.

1. Mostrar imagens de embriões de peixes, anfíbios, aves e mamíferos em estágios intermediários (pode-se usar ilustrações do professor).
2. Pedir que os alunos tentem adivinhar qual embrião pertence a qual grupo.
3. Discutir por que eles são tão parecidos, mesmo se tornando adultos tão diferentes.
4. Relacionar com a ideia de **ancestralidade comum e homologia**.

14.2 Sequências didáticas para o Ensino Médio

a) “Do zigoto à larva: analisando imagens reais”

Conteúdos: estágios embrionários, clivagem, gastrulação, organogênese.

Capítulos: 4 a 11.

1. Distribuir cópias (ou projetar) de fotos e lâminas dos estágios do atlas, sem legendas.
 2. Em grupos, os alunos tentam ordenar as imagens e justificar o porquê.
 3. Depois, com o atlas em mãos, conferem a ordem correta e completam uma **tabela-resumo** com: nome do estágio, tempo (hpf), eventos principais.
 4. Discutir os processos por trás de cada etapa (proliferação, migração, diferenciação).
-

b) “Comparando desenvolvimentos: peixe-zebra, piapara e humanos”

Conteúdos: desenvolvimento comparado, vitelo, tipos de ovo, estratégias reprodutivas.

Capítulos: 3, 11, 12, 13.

1. Formar grupos e atribuir a cada um um “pacote de informações”:
 - Grupo A: peixe-zebra;
 - Grupo B: piapara (usando trechos do artigo);
 - Grupo C: humano (material de embriologia básica).
 2. Cada grupo prepara um mini-pôster comparando: tipo de fecundação, quantidade de vitelo, local de desenvolvimento (interno/externo), presença de larva ou não.
 3. Em plenária, discutir vantagens e desvantagens de cada estratégia.
-

c) “Ambiente e desenvolvimento: o que pode dar errado?”

Conteúdos: efeitos de temperatura, poluentes e outros fatores sobre desenvolvimento.

Capítulos: 1 (1.4), 11, 13.

1. Retomar o trecho do atlas que fala do uso do peixe-zebra para testar efeitos de substâncias químicas.
2. Pedir que os alunos pesquisem exemplos de poluentes que afetam o desenvolvimento de peixes (ou trazer resumos prontos).

3. Simular, em papel, diferentes cenários: água aquecida demais, presença de metais pesados, presença de hormônios sintéticos.
 4. Discutir: que etapas do desenvolvimento seriam mais sensíveis? Que consequências isso teria para populações naturais e para a alimentação humana?
-

14.3 Atividades de feira de ciências e projetos de extensão

- **“Do laboratório à escola”**: alunos do Ensino Médio visitam um laboratório universitário (ou recebem um pesquisador convidado) e, depois, preparam uma mostra na escola com painéis sobre desenvolvimento de peixes.
- **“Microscópio aberto”**: se a escola tiver microscópio, os alunos podem observar lâminas (emprestadas da universidade) e compará-las com as fotomicrografias do atlas.
- **“Adote um estágio”**: cada grupo escolhe um estágio (gástrula, somitogênese, etc.) e produz um material didático (cartaz, vídeo curto, maquete) para apresentar às turmas mais novas.

Capítulo 15: Glossário de termos de desenvolvimento

Zigoto – primeira célula de um novo organismo, formada pela união do óvulo com o espermatozoide.

Clivagem – série de divisões celulares rápidas que transformam o zigoto em muitas células menores, sem aumento do volume total do embrião.

Blastômero – cada uma das células produzidas durante a clivagem.

Blástula – estágio em que o embrião é formado por uma massa ou camada de células organizadas, pronta para sofrer gastrulação.

Blastoderme – camada de células que se forma sobre o vitelo em ovos de muitos peixes.

Vitelo – material nutritivo presente no ovo, rico em reservas que alimentam o embrião nas fases iniciais.

Saco vitelínico – estrutura volumosa, cheia de vitelo, que se projeta no abdômen de embriões e larvas, sendo usado como fonte de energia.

Gastrulação – conjunto de movimentos celulares que reorganiza o embrião e forma as três camadas germinativas (ectoderma, mesoderma e endoderma).

Camadas germinativas (folhetos) – grupos de células que darão origem aos tecidos e órgãos:

- **Ectoderma** – mais externa; origina a pele e o sistema nervoso.
- **Mesoderma** – intermediária; dá origem a músculos, ossos, coração, rins e outros tecidos.
- **Endoderma** – mais interna; forma o revestimento do tubo digestório e órgãos associados.

Epibolia – movimento em que camadas de células se espalham para recobrir outras camadas mais internas, comum durante a gastrulação em peixes.

Notocorda – estrutura alongada e flexível que serve de eixo para o corpo em embriões de cordados e participa da organização do sistema nervoso e da coluna vertebral.

Somito – bloco de tecido que surge em série ao longo do eixo do embrião e dará origem a músculos segmentados e parte do esqueleto.

Neurulação – processo de formação do tubo neural, que dará origem ao cérebro e à medula espinhal.

Organogênese – fase em que órgãos e sistemas começam a se tornar reconhecíveis e funcionais.

Embrião – fase de desenvolvimento em que as estruturas básicas do corpo estão sendo formadas, antes da eclosão ou do nascimento.

Larva – fase jovem que, em muitos animais, é bastante diferente do adulto e pode ocupar outro tipo de ambiente ou dieta; no peixe-zebra, a larva já nada e se alimenta, mas ainda tem saco vitelínico.

Desenvolvimento direto – tipo de desenvolvimento em que o recém-nascido já se parece com o adulto em miniatura, sem uma fase larval muito distinta.

Desenvolvimento indireto – tipo de desenvolvimento em que há uma fase larval bem marcada, seguida por metamorfose até a forma adulta.

Fecundação externa – encontro entre óvulos e espermatozoides ocorre fora do corpo dos progenitores, geralmente na água (como em muitos peixes e anfíbios).

Fecundação interna – fecundação ocorre dentro do corpo da fêmea, após acasalamento (comum em tubarões, raias, mamíferos).

Organismo-modelo – espécie escolhida para estudos científicos porque apresenta características que facilitam a pesquisa (muitos descendentes, fácil manutenção, ciclo de vida curto, etc.).

Fotomicrografia – fotografia feita ao microscópio, mostrando detalhes de células e tecidos.

hpf (horas pós-fecundação) – número de horas transcorridas desde a fecundação do ovo, usado para marcar o momento do desenvolvimento em peixes como o peixe-zebra.

dpf (dias pós-fecundação) – número de dias transcorridos desde a fecundação do ovo

Capítulo 16: Referências

16.1 Livros de referência em Biologia do Desenvolvimento e Zoologia

- **GILBERT, S. F.; BARRESI, M. J. F.**
Biologia do Desenvolvimento. 11. ed. Porto Alegre: Artmed, 2019.
Obra abrangente, com forte ênfase em mecanismos moleculares e exemplos de organismos-modelo, incluindo o peixe-zebra.
- **GILBERT, S. F.**
Biologia do Desenvolvimento. 5. ed. Ribeirão Preto: Funpec, 2003.
Versão anterior, ainda muito útil para consultas gerais e ilustrações clássicas.
- **HICKMAN, C. P. Jr. et al.**
Princípios Integrados de Zoologia. 16. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.
Excelente para revisar conceitos de zoologia, diversidade de peixes e fundamentos de vertebrados.
- **WOLPERT, L.**
Princípios de Biologia do Desenvolvimento. Porto Alegre: Artmed, 2000.
Foca em princípios gerais de desenvolvimento, com linguagem clara e muitas figuras.
- **JOHANSON, Z.; UNDERWOOD, C.; RICHTER, M.**
Evolution and Development of Fishes. Cambridge University Press, 2019.
Livro de evo-devo de peixes, relacionando padrão de desenvolvimento com evolução de esqueleto, nadadeiras e outras estruturas.

16.2 Artigos científicos sobre desenvolvimento de peixes

- **KIMMEL, C. B. et al.** 1995.
Stages of embryonic development of the zebrafish.
Artigo clássico que descreve os estágios de desenvolvimento do peixe-zebra, base para a divisão em fases usada no atlas.
- **BASILIO, G. C. et al.** 2014.
O desenvolvimento embrionário da piapara, Leporinus elongatus (Pisces, Anostomidae).
Pesquisa Veterinária Brasileira 34(Supl.1):92–98.
Descreve o desenvolvimento embrionário e larval da piapara, com foco em histologia, osteogênese e expressão de BMP-2/BMP-4, destacando aplicações em aquicultura e conservação.

Como citar:

SILVA, R. R. M.; CASTRO, R. J.; VIZZOTTO, P. C.. **Da célula ao peixinho: atlas do desenvolvimento do peixe-zebra (*Danio rerio*)**. São Carlos: E-book/ProEx/UFSCar. 2026. 56p.



Esse livreto digital está licenciado com uma Licença Creative Commons - Atribuição-Compartilha Igual 4.0 Internacional.