

# ANATOMIA E FISILOGIA DOS **Animais de Fazenda**

SÉTIMA EDIÇÃO

## **Rowen D. Frandson, BS, DVM, MS**

Professor Emeritus, Department of Anatomy and Neurobiology  
College of Veterinary Medicine and Biomedical Sciences  
Colorado State University  
Fort Collins, Colorado

## **W. Lee Wilke, DVM, PhD**

Associate Professor Emeritus, Department of Biomedical Sciences  
College of Veterinary Medicine and Biomedical Sciences  
Colorado State University  
Fort Collins, Colorado

## **Anna Dee Fails, DVM, PhD**

Assistant Professor, Department of Biomedical Services  
College of Veterinary Medicine and Biomedical Sciences  
Colorado State University  
Fort Collins, Colorado



# Embriologia

**Desenvolvimento das Camadas Germinativas, 39**  
**Neurulação, 41**  
**Diferenciação de Outros Tecidos, 41**

**E**mbriologia é o estudo do desenvolvimento pré-natal inicial de um animal. Como uma disciplina descritiva, foi suplantada em grande parte nos currículos escolares pela biologia do desenvolvimento, disciplina que tende a focar os eventos celulares, genéticos e moleculares que permeiam o desenvolvimento do embrião. Apesar disso, o conhecimento das alterações morfológicas que são o assunto da embriologia pode facilitar a compreensão da anatomia e, certamente, tornar mais lógico o entendimento dos defeitos encontrados ao nascimento.

O desenvolvimento começa com a fertilização do **óvulo** por um **espermatozoide** para formar o **zigoto** (ver Capítulo 28). O óvulo e o espermatozoide podem contribuir, cada um, com metade dos cromossomos nucleares para o zigoto recém-formado. As células do zigoto sofrem divisão, migração e diferenciação, tornando-se sucessivamente **mórula**, **blástula**, **gástrula** e então embrião. Em termos estritos, o **período embrionário** termina quando os vários órgãos e sistemas estão formados. O embrião então torna-se um feto, que lembra mais ou menos um adulto da mesma espécie. O **período fetal** abrange especialmente o aumento de tamanho e diferenciação funcional de órgãos. Em bovinos, o embrião torna-se feto aproximadamente no fim do segundo mês de gestação. O feto torna-se um **neonato** (animal recém-nascido) no momento do **parto** (nascimento).

## Desenvolvimento das Camadas Germinativas

O zigoto unicelular sofre as primeiras divisões mitóticas, conhecidas como **clivagens**, logo após a fertilização. A clivagem

aumenta o número de células (denominadas **blastômeros**), sem aumentar o volume do embrião em desenvolvimento, de modo que, após cada divisão celular, as células-filhas têm massa citoplasmática menor. No entanto, os núcleos das células-filhas são de tamanho normal e contêm um complemento completo de cromossomos. O aglomerado de pequenas células resultantes da clivagem tem um aspecto lobulado que lembra uma amora, daí a denominação de **mórula** (do latim, *pequena amora*) dada a esse estágio (Figura 3.1).

Quando a **mórula** alcança o útero, forma-se uma cavidade, a **blastocèle**, dentro dela, transformando a **mórula** em uma bola oca denominada **blástula**. A **blástula** compreende uma camada de células, o **trofoblasto**, circundando a **blastocèle**, em que a coleção de células, a **massa celular interna**, se sobressai. Por fim, a massa celular interna forma o corpo do embrião. O **trofoblasto** irá desenvolver-se nos tecidos extraembrionários, inclusive a placenta.

Como retêm o potencial de tornar-se qualquer célula do embrião (excluindo os tecidos extraembrionários), as células da massa celular interna em geral são descritas como **pluripotenciais**. Essas células do embrião inicial, as chamadas **células-tronco embrionárias**, são motivo de grande interesse e debate na comunidade científica (ver final deste capítulo).

**É o estágio de blástula que é colhido de animais doadores para transferência de embriões.**

A parte da massa celular interna mais próxima do **trofoblasto** é o **epiblasto**, enquanto a parte adjacente à **blastocèle** é o **hipoblasto**. À medida que a massa celular interna se desenvolve forma-se uma cavidade dorsal no **epiblasto**, a **cavidade amniótica**.

Um pouco antes da segunda semana de desenvolvimento, o **epiblasto** começa a espessar-se com células em proliferação sobre o eixo longitudinal do embrião. Esse espessamento é a **linha primitiva**, e daí as células do **epiblasto** migram para o interior do embrião, localizando-se profundamente na camada externa de células (agora chamada **ectoderma**) e deslocando o **hipoblasto** para criar uma camada profunda, o **endoderma**. Entre o **ectoderma** e o **endoderma**, é estabelecida a terceira e última camada, o **mesoderma**. Essa migração de células é a **gastrulação** (Figura 3.2), com que o embrião estabelece as três linhagens celulares básicas que darão origem a todos os tecidos no corpo adulto.



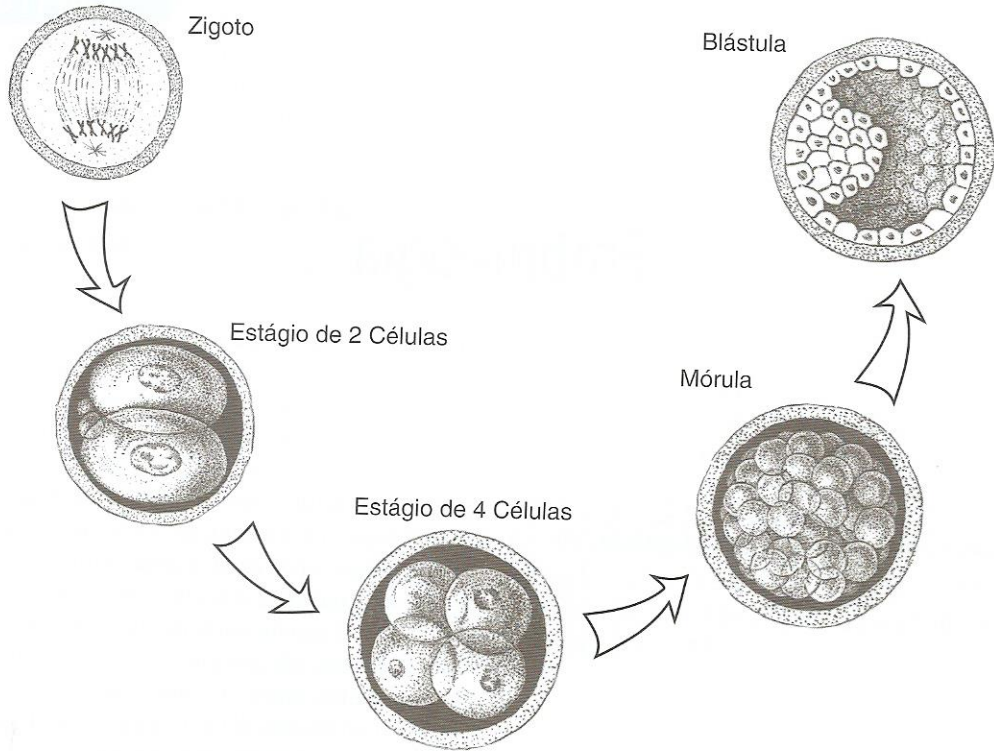
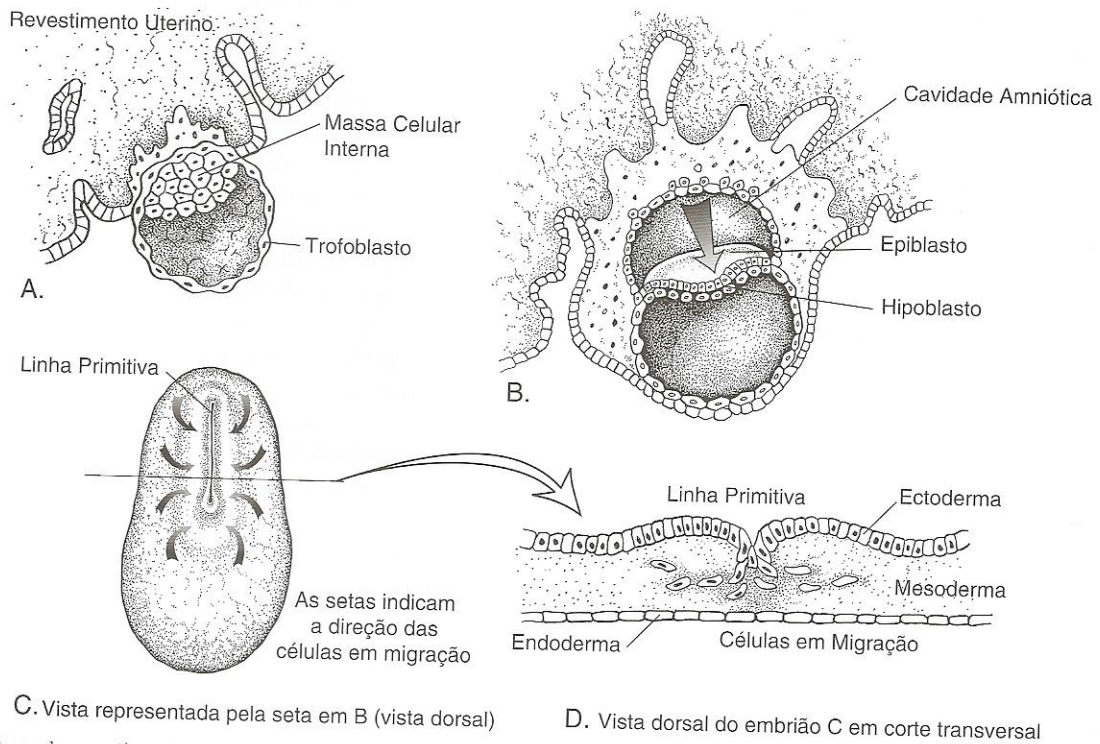


Figura 3.1 Desenvolvimento do zigoto até blástula.



C. Vista representada pela seta em B (vista dorsal)

D. Vista dorsal do embrião C em corte transversal

Figura 3.2 Gastrulação. A) e B) Na época da implantação, quando o embrião está firmado na parede uterina, a massa celular interna torna-se um disco de duas camadas distintas, o epiblasto e o hipoblasto. C) Embrião visto de cima, como indicado pela seta em B. As células da região da linha primitiva começam a proliferar-se e a migrar na direção da linha primitiva longitudinal na linha média dorsal. D) Corte transversal através da linha primitiva. As células em migração movem-se para o interior do embrião, onde tornam-se o mesoderma.

O ectoderma da superfície dorsal do embrião irá tornar-se a epiderme e o tecido nervoso. O endoderma é a linhagem de células germinativas, destinadas a tornar-se o revestimento dos sistemas gastrintestinal e respiratório, das partes epiteliais das glândulas associadas ao sistema digestório e do sistema reprodutor. O mesoderma dá origem aos músculos, esqueleto, sistemas urinário e cardiovascular, bem como a partes do sistema reprodutor.

## Neurulação

Com início em torno da segunda semana de desenvolvimento, o mesoderma na linha média do embrião em desenvolvimento condensa-se em uma haste longitudinal, o **notocórdio**, que nos vertebrados é essencial para a formação do sistema nervoso sobrejacente e para a diferenciação do mesoderma adjacente nas vértebras definitivas.

O ectoderma sobrejacente ao notocórdio é induzido por ele a espessar-se, formando a **placa neural**. A partir desse ponto, essas células, destinadas a tornar-se o sistema nervoso, constituem o **neuroectoderma**. As margens laterais da placa neural espessam-se e crescem em sentido dorsal, transformando-a em um **sulco neural**. O crescimento dorsal das margens do sulco neural prossegue até que elas se encontram e se fundem formando o **tubo neural** (Figura 3.3). A formação do tubo neural prossegue do sentido cranial para caudal, de modo que o encéfalo se desenvolve antes das

partes caudais da medula espinal. O lúmen do tubo neural persiste no adulto como o sistema ventricular do encéfalo e o canal central da medula espinal.

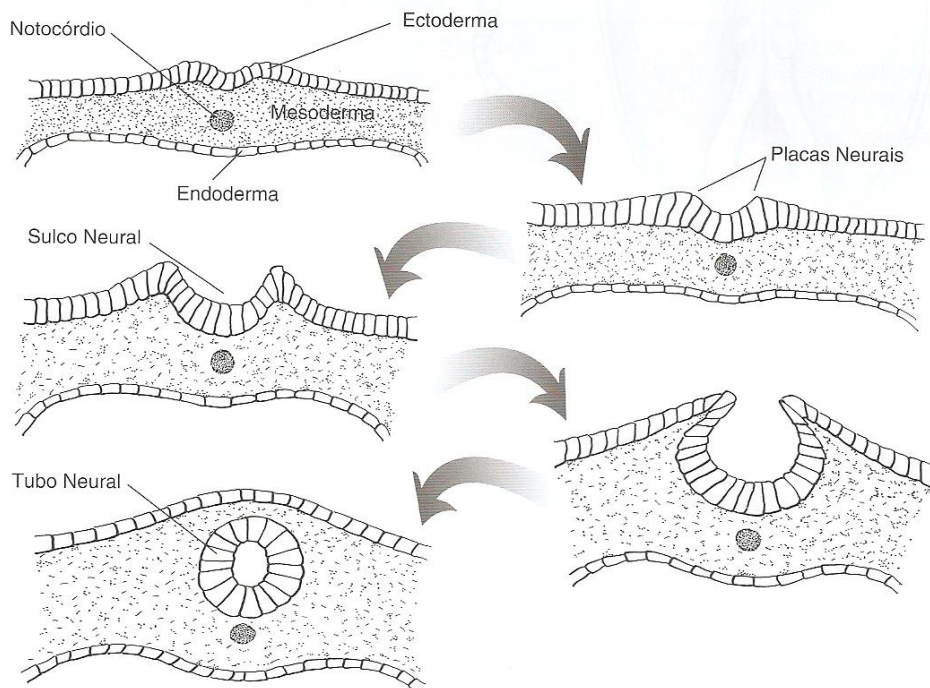
## Diferenciação de Outros Tecidos

As células mesodérmicas de cada lado do notocórdio condensam-se em uma série de massas pareadas semelhantes a um bloco. Essas constituem os **somit**s, dispostos de forma segmentar, que por sua vez desenvolvem-se nas vértebras e músculos. O mesoderma lateral aos somitos denomina-se **mesoderma nefrogênico (intermediário)**. Ele irá originar os órgãos urogenitais (Figura 3.4).

O mesoderma mais lateral, a **placa mesodérmica lateral**, divide-se em duas camadas, formando uma cavidade, o **celoma**, que irá tornar-se as cavidades torácica, abdominal e pélvica.

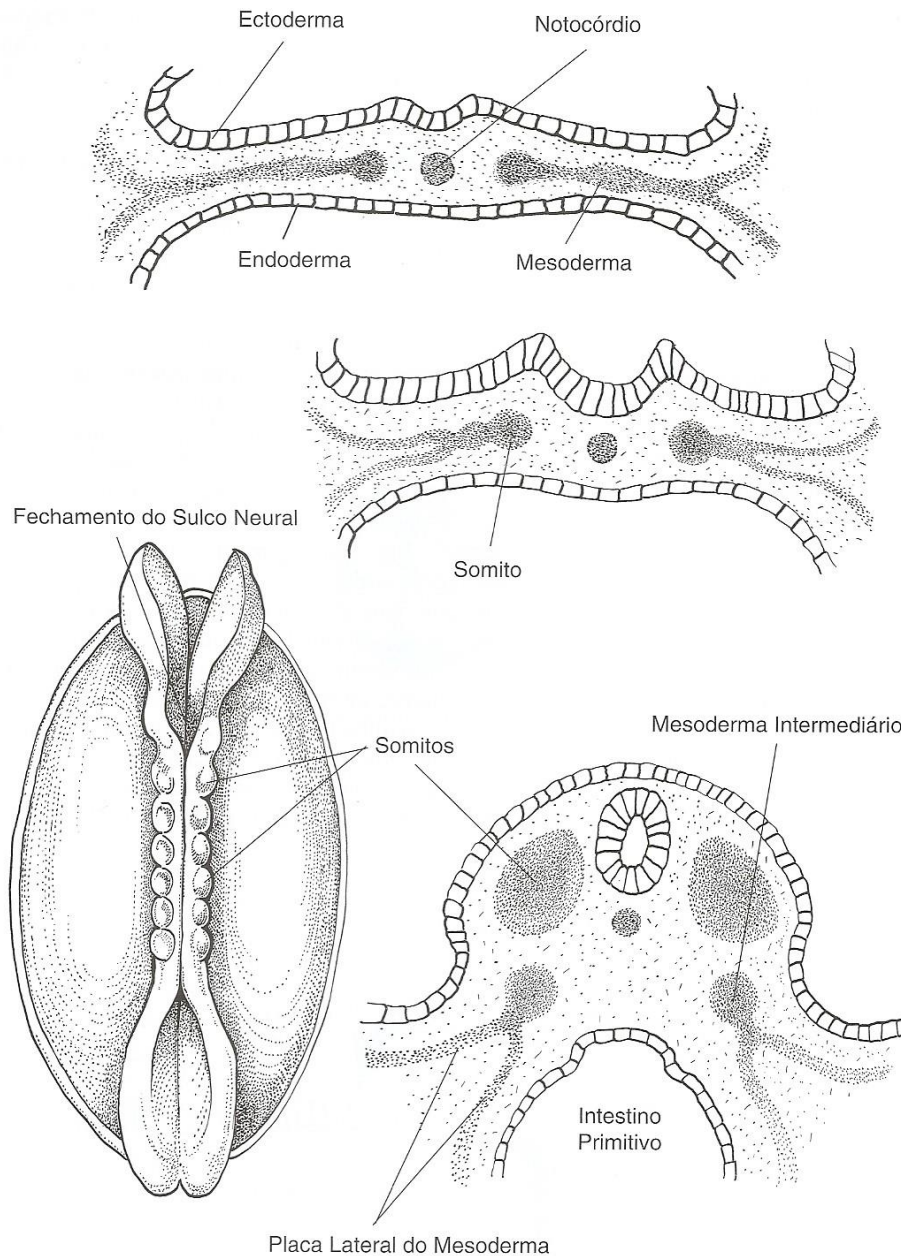
A camada externa da placa mesodérmica lateral e o ectoderma adjacente compõem a **somatopleura**, que forma parte da parede corporal e entra na formação das membranas fetais. A camada interna da placa mesodérmica lateral e o endoderma constituem a **esplanopleura**, que forma a parede intestinal (Figura 3.5).

A diferenciação das células relativamente indiferenciadas de cada uma das três camadas germinativas para formar células teciduais especializadas denomina-se **histogênese**. Sabe-se muito sobre quando e onde desenvolvem-se vários



**Figura 3.3** Neurulação. Em corte transversal, o ectoderma sobrejacente ao notocórdio é induzido a espessar-se formando a placa neural. O crescimento diferencial de células da placa neural produz uma depressão, o sulco neural. As margens do sulco neural aproximam-se uma da outra e fundem-se, criando o tubo neural, precursor da medula espinal e do encéfalo.



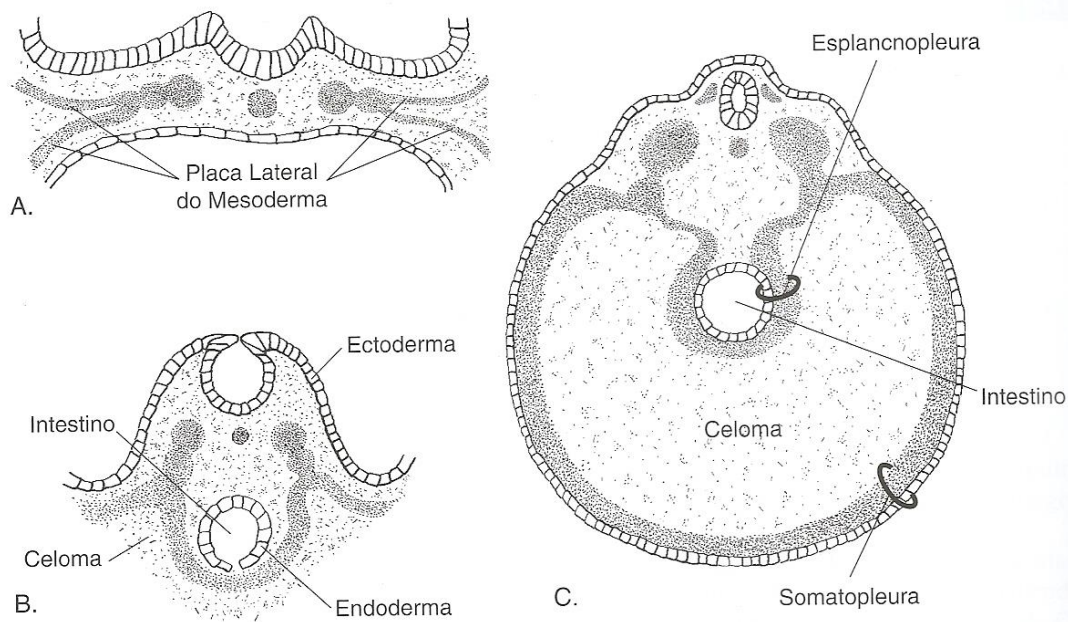


**Figura 3.4** Diferenciação do mesoderma. Os somitos formam-se mais medialmente, dando origem aos músculos e ossos associados à coluna vertebral. Lateral aos somitos está o mesoderma intermediário, que irá diferenciar-se nos tecidos do sistema urogenital. Mais lateralmente, a placa mesodérmica lateral irá fazer parte das paredes gastrintestinal e corporal.

tecidos e órgãos, assim os biólogos do desenvolvimento estão começando a desvendar os eventos moleculares e genéticos que permeiam o desenvolvimento. Por exemplo, as moléculas da superfície celular que instruem células a migrarem e a se agregarem foram identificadas, assim como outras que fazem as células modificarem a expressão de seus genes. Uma vez que uma célula tenha alterado a expressão de seu genoma para assumir um papel mais especializado, é considerada *comprometida*. Cada uma das três linhagens

germinativas está comprometida para formar certos tipos de tecidos (Quadro 3.1). A *diferenciação* ocorre à medida que essas células assumem o aspecto e as funções características do tipo celular com que estão comprometidas.

As *células-tronco embrionárias* são capazes de diferenciar-se em múltiplos tipos de tecidos, característica denominada *pluripotência*. Ao contrário da maioria dos tecidos diferenciados, elas podem sobreviver muito tempo em cultura (fora do corpo). As células-tronco embrionárias



**Figura 3.5** A) A placa mesodérmica lateral divide-se no início do desenvolvimento, criando o celoma (cavidade corporal primitiva). B) A camada externa associa-se ao ectoderma sobrejacente, enquanto a camada interna associa-se ao endoderma do intestino em desenvolvimento. C) O ectoderma mais a camada externa da placa mesodérmica lateral constituem a somatopleura, que se tornará a parede corporal. O mesoderma interno e o endoderma são a esplanopleura, que depois se torna a parede do trato gastrintestinal.

### Quadro 3.1 Camadas Germinativas na Origem dos Tecidos

<i>Ectoderma</i>	<i>Mesoderma</i>	<i>Endoderma</i>
Epiderme, incluindo glândulas cutâneas, pelos, unhas (garras, cascos), lente	Músculo (de todos os tipos)	Epitélios de:
Epitélios dos órgãos dos sentidos, cavidade nasal, seios paranasais, cavidade oral	Cartilagem	Faringe, incluindo a raiz da língua tuba auditiva, tonsilas,
Esmalte dentário	Osso	Laringe, traqueia, pulmões
Tecido nervoso	Sangue, medula óssea	Tireoide, paratireoides, timo
Adeno-hipófise	Endotélio	Tubo digestório e glândulas
Células cromafins da glândula adrenal	Mesotélio (revestimento de cavidades serosas)	Bexiga urinária
	Epitélio dos rins e ureteres	Vagina, vestibulo
	Epitélio das gônadas, ductos genitais	Uretra e glândulas associadas
	Córtex adrenal	
	Sinóvia	

são profundamente interessantes para os pesquisadores biomédicos, pois parece que, quando cultivadas, podem ser induzidas a diferenciar-se em uma ampla variedade de tipos de tecidos, técnica promissora como um novo caminho para tratar doenças que envolvem a perda de tecidos normais. Algumas das muitas possibilidades incluem o uso de células-tronco para criar (1) células hematopoéticas para regenerar precursores sanguíneos normais para o tratamento de distúrbios hematológicos e imunes, (2) cartilagem e osso para substituir compo-

nentes esqueléticos danificados e (3) precursores neuronais para substituir neurônios perdidos na doença de Parkinson ou na de Alzheimer. A pesquisa com células-tronco embrionárias humanas tem implicações éticas discutíveis, pois em geral essas células são obtidas de embriões e fetos abortados. A pesquisa com embriões de animais tende a ter menos problemas éticos, mas naturalmente trará debates à medida que as técnicas desenvolvidas em modelos animais sejam incorporadas para uso na medicina humana.