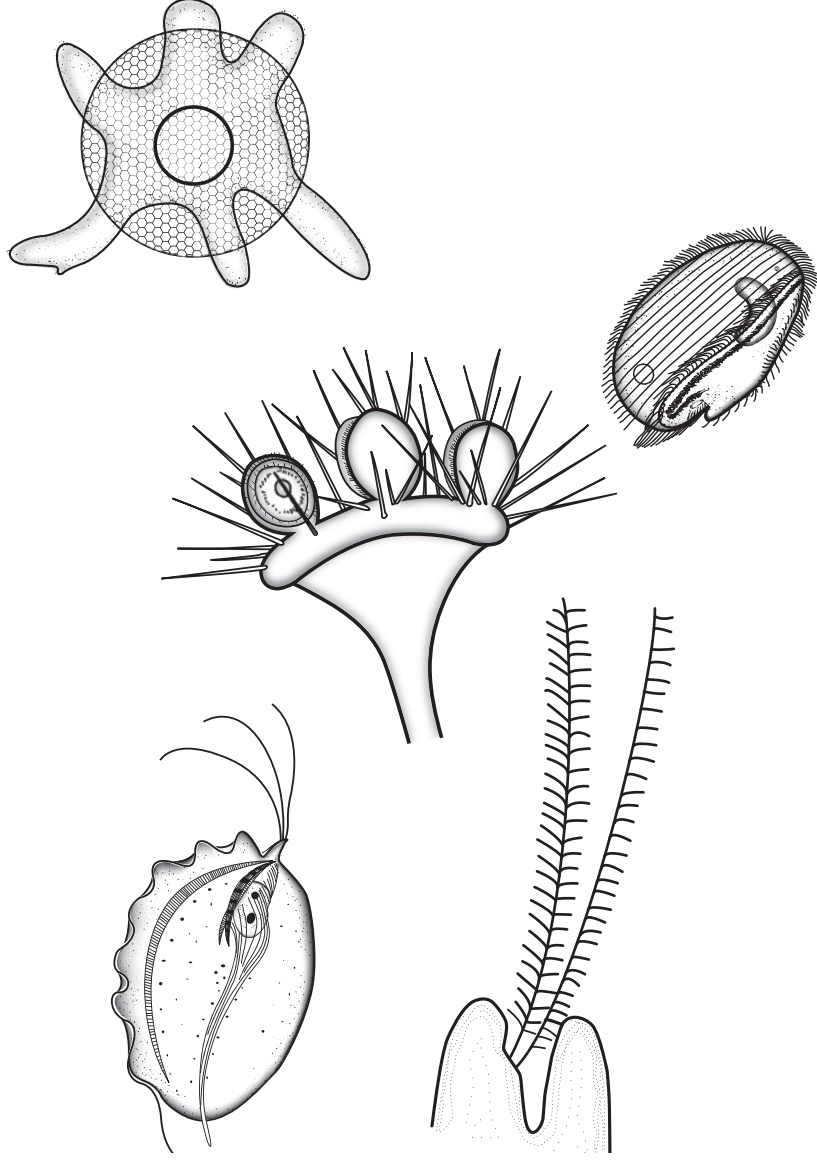


CAPÍTULO 4



O Reino Protista

*Neste capítulo vamos **descrever** a hipótese dos endosimbiontes, **analisando** o impacto do mutualismo como explicação para o surgimento do nível de complexidade dos eucariontes. **Discutiremos** as características dos protistas que sustentam esta hipótese. Com base na arquitetura dos protistas vamos **diferenciar** as principais estruturas de seu corpo e suas funções. **Comparando** os sistemas de classificação de base lineana com os de base haeckeliana, vamos **distinguir** as principais formas destes eucariontes unicelulares.*

4.1 A Origem dos Eucariontes - teoria dos endosimbiontes (simbiogênese)

Seres heterotróficos

Seres vivos que não sintetizam seu alimento; necessitam ingerir outros organismos ou absorver matéria orgânica.

Radiação

Padrão evolutivo onde uma linha filética dá origem a várias linhas rapidamente, como uma explosão de diversidade.

Seres procariontes

[*pro* = anterior + *carion* = núcleo + *onte* = ser]

Seres vivos que surgiram antes do núcleo estar organizado; os procariontes não têm o sistema interno de membranas, portanto não tem núcleo nem organelas citoplasmáticas.

Archaeobacteria

Bactérias muito antigas produtoras de metano; atualmente vivem em fontes geotérmicas de água.

Provavelmente, os primeiros organismos vivos surgiram no planeta antes de 3,5 bilhões de anos, após uma evolução orgânica. Viveram como **heterotróficos** fermentadores de matéria orgânica sintetizada pré-biologicamente. À **radiação** dos **procariontes** seguiu-se uma diversificação destes organismos na exploração de diferentes tipos de nutrição. Pelo menos três linhas primárias devem ter evoluído, levando às **Archaeobacteria**, às Eubacteria e ao estoque ancestral dos eucariontes (figura 4.1). Esta divergência provavelmente ocorreu muito cedo, como atestam as diferenças na composição lipídica das membranas celulares e os diferentes mecanismos de síntese proteica dos três grupos.

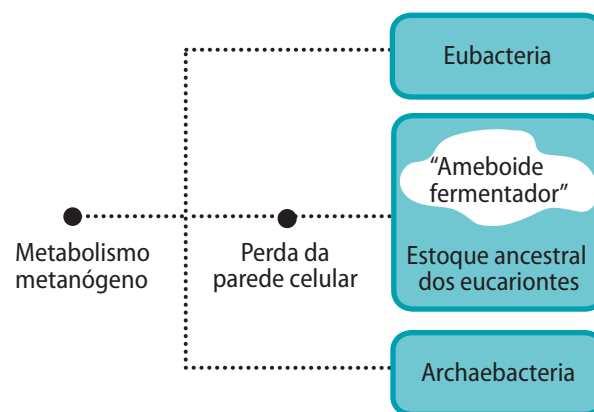


Figura 4.1 – Cladograma mostrando as três primeiras linhas filéticas prováveis que surgiram após a origem da vida: Archaeobacteria, Eubacteria e linha ancestral que formou os eucariontes. As sinapomorfias (“novidades evolutivas” compartilhadas) estão marcadas com um círculo negro. Sinapomorfias: **metabolismo metanógeno**; **perda da parede celular**.

Certas bactérias desenvolveram compostos capazes de absorver energia da luz solar e utilizá-la na fotossíntese. Esta novidade evolutiva (apomorfia) causou um grande impacto na biosfera, modificando a composição de gases da hidrosfera e da atmosfera, pela liberação do oxigênio residual da fotossíntese. Isto pode ser verificado no registro fóssilífero, pela aparição de cianobactérias e rochas oxidadas a partir de 2 bilhões de anos. Neste novo cenário, tóxico para a maioria das bactérias (pois eram anaeróbicas), surge uma novidade evolutiva importante: algumas cianobactérias adaptaram sua cadeia de citocromo (originalmente utilizada para produção de ATP na fotossíntese) à geração de ATP por fosforilação oxidativa dirigida pela energia proveniente das reações do ciclo de Krebs. Assim, surgem as bactérias aeróbicas (figura 4.2). Duas vantagens adaptativas podem ser observadas nesta novidade evolutiva: 1) a respiração aeróbica é energeticamente mais eficiente que a anaeróbica; 2) as bactérias aeróbicas podem ocupar o nicho aeróbico, tóxico para as anaeróbicas.

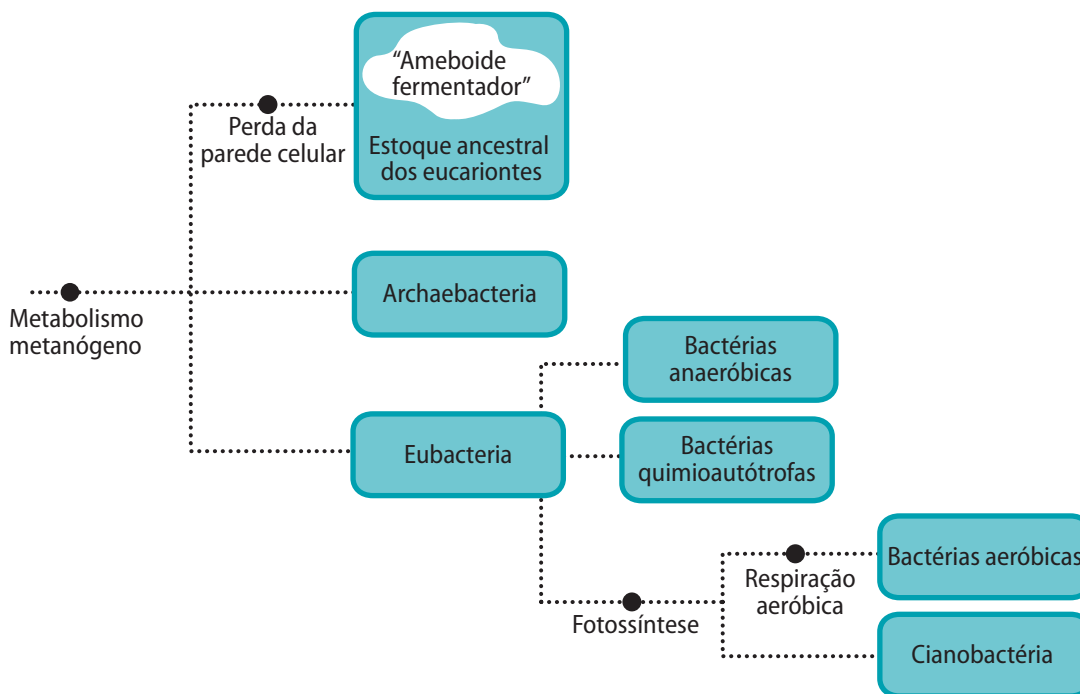


Figura 4.2 – Cladograma mostrando à direita a evolução das eubactérias. As sinapomorfias (“novidades evolutivas” compartilhadas) estão marcadas com um círculo negro. Sinapomorfias: **metabolismo metanógeno; perda da parede celular; fotossíntese bacteriana; respiração aeróbica.**

A radiação das bactérias produziu uma grande variedade de procariontes: heterotróficos anaeróbicos (fermentadores), qui-

mioautotróficos, fotoautotróficos e heterotróficos aeróbicos. Muitos destes tipos de bactérias ainda sobrevivem em nossos dias em ambientes apropriados.

Paralelamente à evolução das bactérias, os precursores dos eucariontes provavelmente desenvolveram-se em um organismo de origem procariótica, fagotrófico anaeróbico (fermentador) que se alimentava de bactérias e restos orgânicos. Especula-se que este modo de vida exigiu uma superfície nua (permitindo a fagocitose), um sistema de membranas internas (para a digestão fagocítica, para o transporte interno) e um sistema citoesquelético para suportar a captura de presas e a estrutura de uma célula mais complexa e maior. Durante o desenvolvimento destas características eucarióticas, o DNA tornou-se isolado dentro de um envelope nuclear. O isolamento do núcleo provavelmente removeu o DNA da atividade digestiva do citoplasma e de uma ancoragem numa membrana citoplasmática nua e instável. A presença de cromossomos múltiplos presumivelmente resultou na necessidade de uma mitose eucariótica envolvendo microtúbulos. Os processos sexuais eucarióticos e a meiose também devem ter se desenvolvido muito cedo nesta linhagem, pois são características similares encontradas em todos os eucariontes atuais. A evolução dos primeiros protistas está ilustrada na figura 4.3.

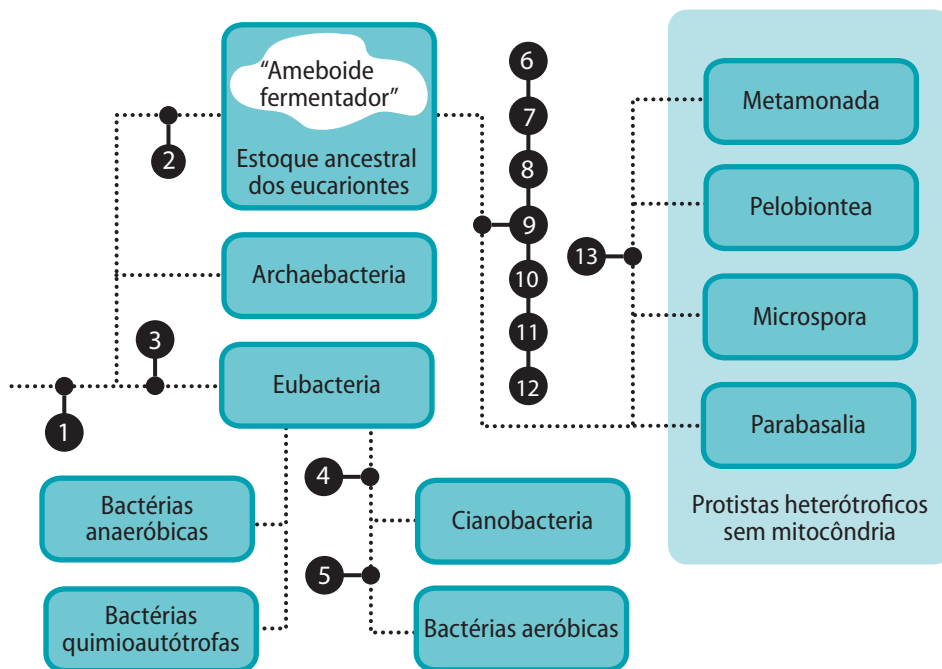


Figura 4.3 – Cladograma ilustrando a evolução paralela entre as Eubacteria, Cyanobacteria e os Protistas heterotróficos sem mitocôndria. Sinapomorfias: (1) Metabolismo metanógeno; (2) Perda da parede celular levando à forma ameboide; (3) Metabolismo eubacteriano; (4) Fotossíntese bacteriana; (5) Respiração aeróbica (modificação do metabolismo fotossintético e surgimento do Ciclo de Krebs); (6) Fagocitose; (7) Sistema de membranas; (8) Citoesqueleto; (9) Carioteca (membrana nuclear isola o DNA do citoplasma); (10) Flagelo; (11) Mitose eucariótica; (12) Meiose e Reprodução sexual; (13) Perda do Complexo de Golgi.

O eucarionte ancestral resultante deste processo evolutivo é descrito como tendo, essencialmente, uma forma ameboide e dependente de alimento obtido em raros locais anaeróbicos, já que o ambiente aeróbico passa a ser dominante depois do surgimento das bactérias aeróbicas. Com o desenvolvimento dos flagelos, através da projeção de feixes de microtúbulos, estes organismos tornaram-se capazes de capturar as bactérias e migrar para novos sítios alimentares de forma mais eficiente. No entanto, como heterotróficos anaeróbicos, estas “amebas fermentadoras” eram energeticamente ineficientes, quando comparadas aos procariontes, especialmente quando comparadas a bactérias aeróbicas. A aquisição da capacidade de realizar fosforilação oxidativa em mitocôndrias, presumivelmente, desenvolveu-se por uma simbiose estável com certas bactérias aeróbicas (Figura 4.4). O surgimento de mitocôndrias foi um passo evolutivo que permitiu a estes eucariontes heterotróficos ancestrais, extrair mais energia de cada bactéria capturada, resultando na radiação dos eucariontes.

Representantes de várias linhagens de protistas desenvolveram, subsequentemente à evolução mitocondrial, relações simbióticas estáveis com procariontes fotossintéticos (cianobactérias), tornando-se eucariontes fotoautotróficos. Alguns destes protistas perderam a habilidade fagotrófica, enquanto outros a mantiveram. O acréscimo de presas eucariontes disponíveis levou a uma diversificação posterior dos heterotróficos fagotróficos (predadores), enquanto outros heterotróficos tornaram-se saprotróficos, perdendo a capacidade fagotrófica e obtendo moléculas orgânicas por absorção de produtos da decomposição externa de matéria orgânica.

Alguns protistas atuais (Metamonada, Parabasalia, Microspora e certas amebas como Pelobiontea) ainda carecem de mitocôndrias. Pelobiontea e Metamonada também não possuem complexo de Golgi. Apesar da ausência de mitocôndrias, Pelobiontea realiza respiração através de bactérias aeróbicas simbiotes, presentes em seu citoplasma. Estes grupos devem ter divergido muito cedo durante a evolução dos eucariontes, antes da simbiose se estabilizar, formando as mitocôndrias.

A distribuição ampla de mitocôndrias, tanto em protistas autotróficos como heterotróficos, sugerem que os **plastídios** foram

- **Plastídio**
- Organela com pigmentos
- fotossintéticos; os plastídios
- mais conhecidos são os
- cloroplastos que têm
- clorofila como pigmento;
- outro tipo de plastídio são
- os xantoplastos que têm
- xantofila como pigmento.

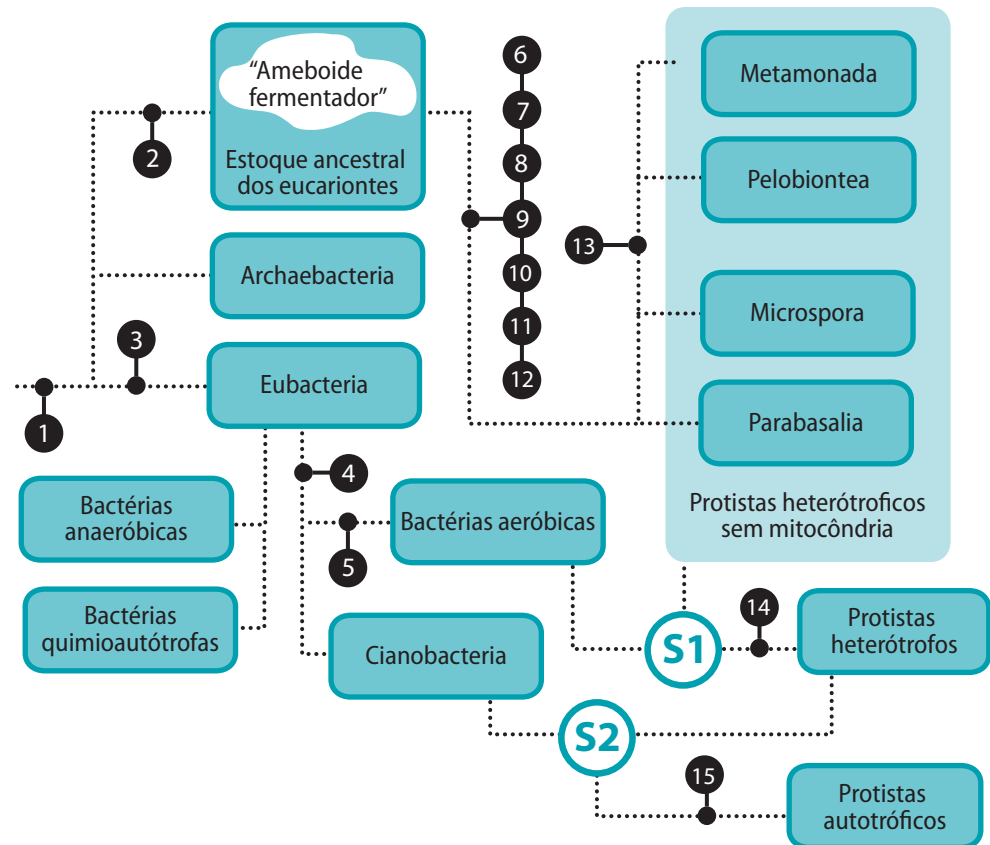


Figura 4.4 – Cladograma ilustrando a evolução paralela entre as Eubacteria, Cianobacteria e os Protistas. Observe em S1 a primeira simbiose estabelecida entre a linha filética ancestral de Protista e bactérias aeróbicas, formando a base da mitocôndria; em S2 a segunda simbiose é estabelecida entre os protistas heterotróficos ancestrais e as cianobactérias, gerando os primórdios dos cloroplastos. Sinapomorfias: (1) Metabolismo metanógeno; (2) Perda da parede celular levando à forma ameboide; (3) Metabolismo eubacteriano; (4) Fotossíntese Bacteriana; (5) Respiração Aeróbica (modificação do metabolismo fotossintético e surgimento do Ciclo de Krebs); (6) Fagocitose; (7) Sistema de Membranas; (8) Citoesqueleto; (9) Carioteca (membrana nuclear isola o DNA do citoplasma); (10) Flagelo; (11) Mitose eucariótica; (12) Meiose e Reprodução sexuada; (13) Perda do Complexo de Golgi; (14) Estabilização da Mitocôndria; (15) Estabilização do Cloroplasto.

uma aquisição simbiótica posterior às mitocôndrias. A formação de cloroplastos resultou da simbiose entre ancestrais protistas heterotróficos aeróbicos (com mitocôndria já estabilizada) e cianobactérias (figura 4.4).

Quando a hipótese da simbiogênese foi elaborada para explicar a origem dos eucariotes, ainda não tinham sido descobertos o DNA das mitocôndrias e dos cloroplasto. Alguns anos mais tarde, com os avanços das técnicas bioquímicas, foram encontrados: o DNA mitocondrial e o DNA do cloroplasto. As análises compara-

tivas demonstraram que o DNA mitocondrial é similar ao bacteriano aeróbico e que o DNA do cloroplasto é similar ao DNA das cianobactérias. Além disto, o metabolismo mitocondrial da membrana interna é bacteriano aeróbico. Estas evidências têm tornado a hipótese de evolução da célula eucarionte por simbiose mutualista muito aceita no meio acadêmico.

4.2 A Arquitetura dos Protistas

As características dos protistas compõem a própria organização estrutural de uma célula eucarionte: Membrana citoplasmática (plasmalema), organelas do sistema de membranas (complexo de Golgi, vacúolos, dictiossomos, mitocôndrias, plastos, membrana nuclear) núcleo, etc. Estes componentes celulares serão estudados na disciplina de biologia celular.

O núcleo dos protistas é típico de um eucarionte, envolto em uma membrana nuclear também conhecida como carioteca, contígua com o sistema de membranas internas. A maioria dos protistas tem um ou vários núcleos monomórficos (com o mesmo tamanho e forma). Entretanto, os ciliados possuem núcleos dimórficos, isto é, possuem um macronúcleo (de função vegetativa) e um micronúcleo (de função reprodutiva).

Como os protistas são organismos tipicamente unicelulares, esta forma de vida estabelece restrições e condições muito específicas, as quais são refletidas em sua arquitetura. Decorrente disto, este texto focará aquelas organelas específicas destes eucariontes unicelulares.

4.2.1 Locomoção e suporte

A forma de locomoção mais antiga dos protistas parece ser através de pseudopódios que se formam nos grupos ameboides. Estes são expansões citoplasmáticas que formam lobos ou filamentos (**reticulados** ou não). O endoplasma (citoplasma mais profundo) de consistência mais fluida (estado denominado sol) desloca-se para a região de formação do pseudopódio. Nesta região, há uma

- **Pseudopódio reticulado**
- Pseudopódio que forma um retículo, isto é uma rede microscópica formada por anastomoses.

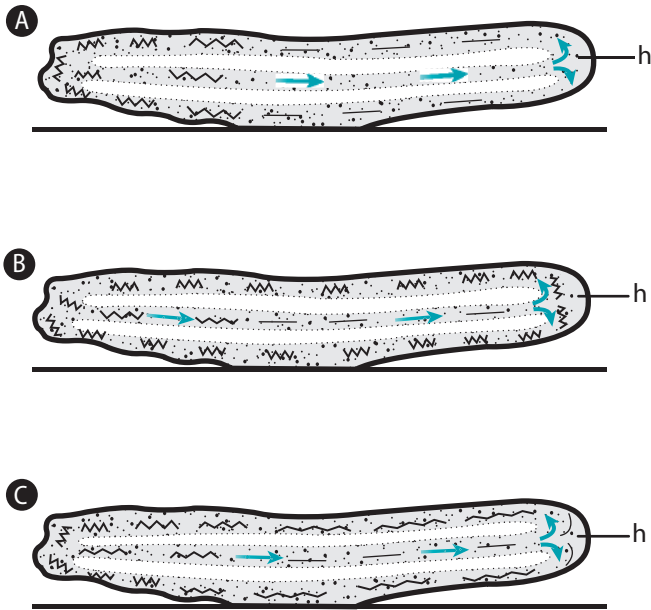


Figura 4.5 – Esquema representando a ciclose do endoplasma (sol) para o ectoplasma (gel) na formação do pseudopódio do tipo lobopódio.

Anastomose
Ponte citoplasmática.

modificação na consistência do citoplasma que passa a ser mais viscoso (estado denominado gel) quando atinge as camadas mais superficiais, originando o ectoplasma e dando forma à organela locomotora (figura 4.5). Esta descrição é mais adequada para lobopódios. Há diversos tipos de pseudopódios, de acordo com sua espessura, grau de anastomose e presença de elemento esquelético. Os **lobopódios** (“pés na forma de lobos”) são pseudopódios espessos e pouco numerosos (figura 4.6-a). Os **filopódios** (“pés na forma de filamentos”) são pseudopódios filiformes (muito estreitos) ocorrendo em maior número que os lobopódios (figura 4.6-b). Os **reticulopódios** (“pés na forma de retículo ou rede diminuta”) são estruturas filiformes porém **anastomosadas**, formando uma rede microscópica (figura 4.6-d). Por fim existem os **axopódios** (“pés com eixo de sustentação”) que são pseudopódios muito finos, numerosos e fixos pois, possuem um axonema que forma um eixo esquelético que sustenta esta estrutura (figura 4.6-c). Os axopódios são móveis em sua superfície mas não mudam de forma ou tamanho devido ao axonema. Devido ao seu caráter esquelético, o axonema desempenha um papel importante na sustentação da célula.

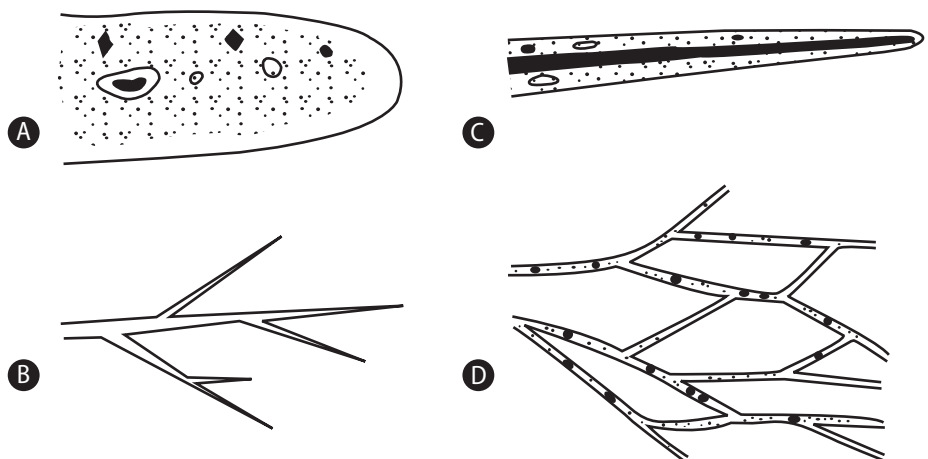


Figura 4.6 – Tipos de Pseudopódios: (A) Lobopódio; (B) Filopódio; (C) Axopódio, (D) Reticulopódio.

Uma novidade evolutiva importante foi o surgimento dos **ondulipódios**. Estas estruturas são expansões citoplasmáticas na forma de filamentos sustentados por feixes de microtúbulos que em corte transversal formam a estrutura (9+2), composta por 9 díplets (pares de microtúbulos) dispostos radialmente e dois microtúbulos centrais (figura 4.7-A). O deslizamento dos microtúbulos provoca ondulações no ondulipódio, tornando-o um eficiente instrumento de locomoção. Outra característica dos ondulipódios é a presença de cinetossomos na base de inserção na célula. Cada cinetossomo ou corpúsculo basal (figura 4.7-B) é composto por 9 conjuntos de três microtúbulos cada (denominados tríplets). Parece que os díplets são uma continuidade dos tríplets dos cinetossomos. Os dois tipos principais de ondulipódios são **flagelos** e **cílios** (figura 4.8-A e B). Os flagelos são geralmente mais longos e em menor número que os cílios e tem movimento ondulatorio ou helicoidal (em forma de hélice). Os cílios são menores em tamanho e mais numerosos, possuindo movimento de chicote em um único sentido. Cílios e flagelos são organelas locomotoras mais eficientes que os pseudopódios. Duas modificações podem ser encontradas nos flagelos: **membrana ondulante** e **mastigonemas**. A membrana ondulante é uma projeção da membrana citoplasmática formando uma película que liga longitudinalmente o flagelo à superfície da célula, aumentando a eficiência locomotora (figura 4.8-C e 4.10). Já os mastigonemas (figura 4.8-D) são expansões laterais de um flagelo na forma de cabelos, podendo ou não ser ramificados. Os mastigonemas e as membranas ondulantes servem para aumentar a superfície de contato com o meio, tornando a locomoção mais eficiente. Modificações ciliares são resultado de fusões de cílios formando estruturas maiores como **cirros** e **membranelas** (figura 4.8-E). Os cirros são estruturas cônicas formadas pela fusão de vários cílios. Já as membranelas são estruturas locomotoras (ou de formação de correntes de líquidos) em forma de membranas, originadas também pela fusão de muitos cílios.

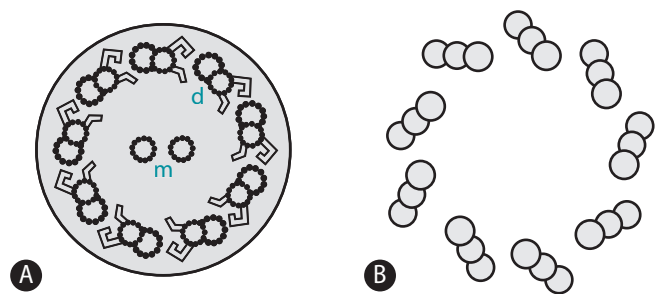


Figura 4.7 – (A) Corte transversal de um ondulipódio mostrando: os díplets (d) – 9 pares de microtúbulos com seus dois braços de dineína; e os dois microtúbulos centrais (m). (B) Corte transversal dos corpúsculos basais (cinetossomos) mostrando os tríplets

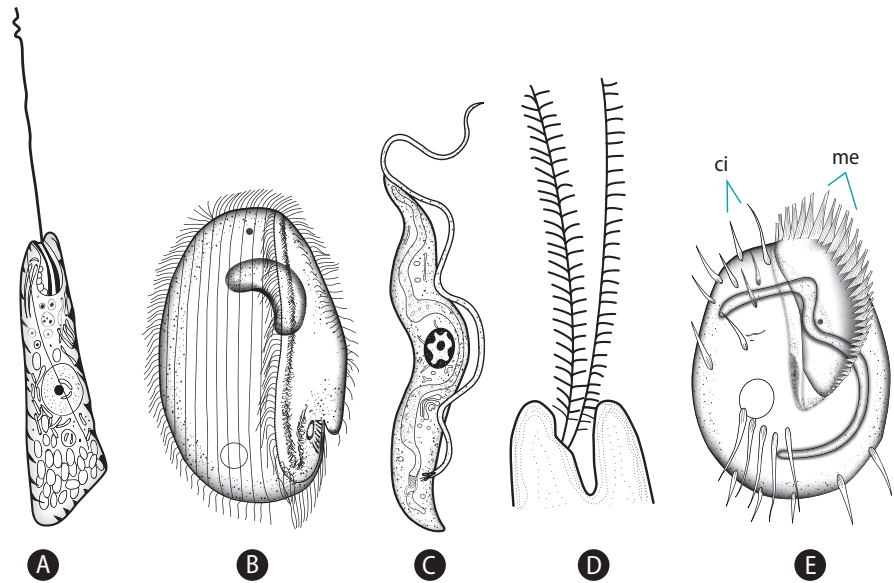


Figura 4.8 – (A) Flagelo em Protista mastigóforo; (B) Cílio em Protista cilióforo; (C) Membrana ondulante de um Protista Kinetoplasta; (D) Mastigonema dos flagelos de dinoflagelados; (E) Cirros (ci) e Membranelas (me) em cilióforo.

Outro mecanismo de locomoção é o **deslizamento** encontrado especialmente nas diatomáceas (Bacillariophyceae). As diatomáceas possuem ranhuras em suas carapaças silicosas que permitem a membrana citoplasmática tocar o substrato na forma de muitas micro esteiras de tração.

Algumas euglenófitas realizam uma contração corporal intensa em alguns momentos. Provavelmente, miofilamentos, ao se contraírem, provocam este movimento denominado **movimento euglenoide**.

Reforços da membrana citoplasmática são típicos de flagelados e ciliados. Estruturas típicas de sustentação em protistas são **película** e **complexo cortical**. A película, típica de flagelados, é construída por espessamentos da membrana citoplasmática através da adesão de microfilamentos e microtúbulos. O complexo cortical (figura 4.9) é exclusivo de protistas ciliados, uma novidade evolutiva responsável pela sustentação da membrana celular destes organismos. Abaixo da membrana citoplasmática se formam duas membranas alveolares (membrana alveolar externa e interna). Como o nome sugere, estas membranas alveolares armam domos na forma de alvéolos. Atravessando as três membranas,

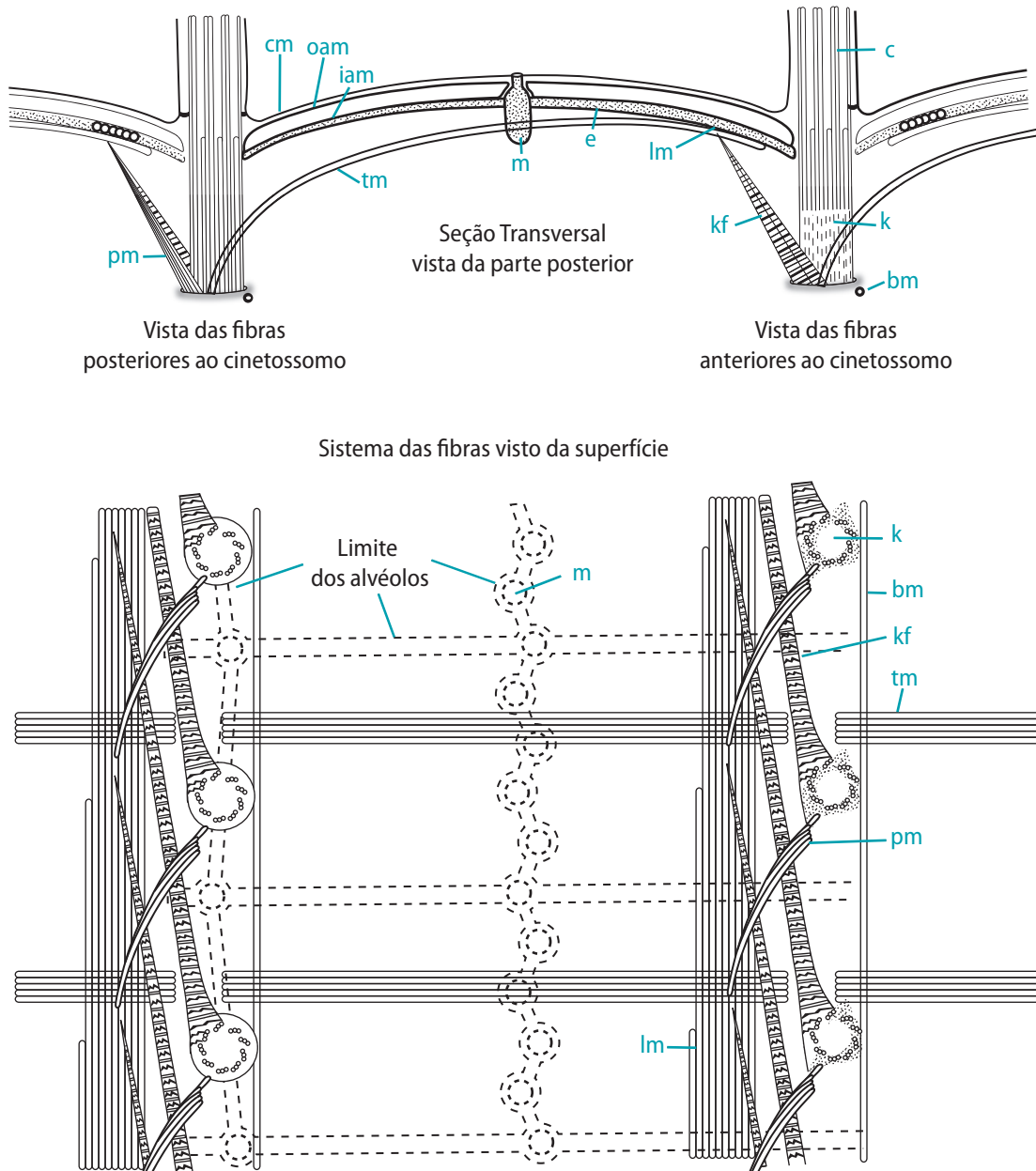


Figura 4.9 – Estrutura do Complexo cortical de um ciliado em seção transversal e longitudinal. Legenda: **bm** – microtúbulos basais; **c** – cílio; **cm** – membrana citoplasmática; **e** – epiplasma; **k** – cinetossomo; **kf** – fibra cinetodesmal; **iam** – membrana alveolar interna; **oam** – membrana alveolar externa; **lm** – microtúbulos longitudinais; **m** – mucocistos; **pm** – microtúbulos pós-ciliares; **tm** – microtúbulos transversais.

encontram-se extrusomos (do tipo **mucocisto**) no centro de cada alvéolo. Para trás de cada cinetossomo projetam-se microtúbulos pós-ciliares. Abaixo da superfície existe um complexo de fibras cinetodesmais composto por feixes de microfilamentos ou microtúbulos que ligam os cinetossomos subciliares entre si. Mais abaixo, existem microtúbulos transversais e longitudinais. Película e com-

- **Mucocisto**
- Mucocistos são extrusomos
- que expelem muco.

plexo cortical, apesar de aumentar a resistência da superfície celular, mantém um certo grau de flexibilidade, permitindo contrações corporais (celulares) como o movimento euglenoide, por exemplo.

Endoesqueletos são comuns em alguns protistas. O **axóstilo** é um eixo esquelético de sustentação celular que tem origem na região **perinuclear** e atravessa a célula no sentido oposto ao pólo do núcleo (figura 4.10). Geralmente relacionado à origem do axóstilo e à base de flagelos locomotores, está uma estrutura de sustentação com forma espiral, o **corpúsculo parabasal**.

Perinuclear

peri = que envolve + *nuclear*, isto é, que envolve o núcleo.

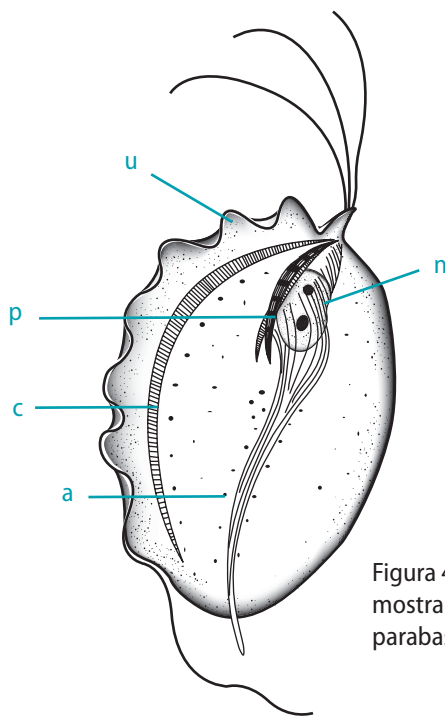


Figura 4.10 – Desenho esquemático de um Protista Parabasalia mostrando: n – núcleo; a – axóstilo; c – costa; p – corpúsculo parabasal; u – membrana ondulante.

Exoesqueletos são secretados na forma de **carapaças** ou **tecas** (figura 4.11). Muitos protistas secretam carapaças minerais (calcárias ou silicosas) ou orgânicas (quitinosas). Em alguns casos as carapaças são formadas por fragmentos granulares obtidos no meio externo (grãos de areia, fragmentos de outras carapaças etc.) que são unidas por substância cimentante ou mucosa, formando uma **carapaça aglutinada**. Como os exoesqueletos são rígidos, as carapaças podem ser perfuradas por muitos poros ou apresentar uma única abertura um pouco maior, o pseudóstoma, por onde saem os pseudopódios.

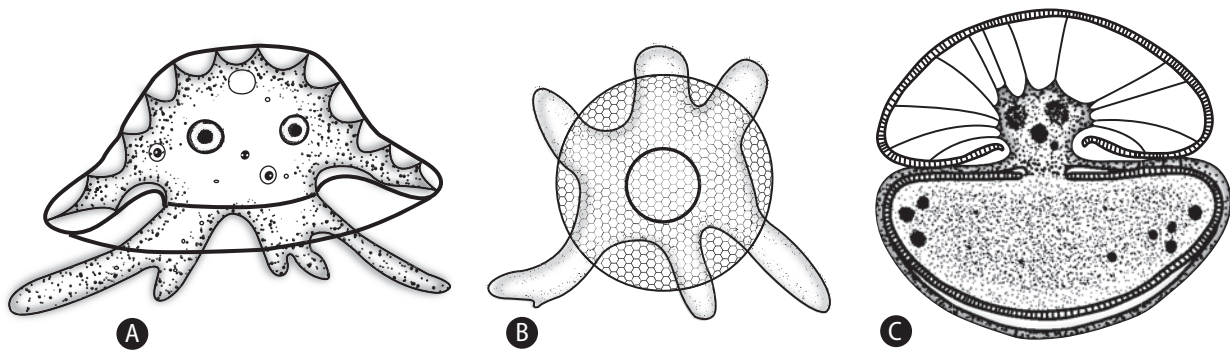


Figura 4.11 - Alguns representantes das amebas com testas.

4.2.2 Mecanismos de alimentação

Muitas das organelas locomotoras de Protista estão relacionadas com mecanismos de alimentação. Os **pseudopódios**, dos grupos ameboides, além da locomoção, possibilitam a ingestão celular por **fagocitose** (figura 4.12). Na fagocitose o alimento é envolto por dois pseudopódios que ao se fundirem formam o **vacúolo digestivo**. Estes últimos, recebem enzimas que digerem o material alimentar fagocitado.

Nos cilióforos, os cílios, as membranelas e os cirros orais promovem correntes de líquido que trazem o alimento até o **citóstoma** (figura 4.13-a). O citóstoma se abre, internamente, na **citofaringe** (figura 4.13-b), um tubo que se aprofunda no citoplasma, onde se formam os vacúolos digestivos nos ciliados.

Os flagelos também podem estar relacionados com a formação de correntes de líquidos que levam o alimento até o **vestíbulo** (figura 4.14). O vestíbulo é uma invaginação da membrana citoplasmática formando uma pequena depressão na base do flagelo. Uma pequena abertura permite que a água circule entre o meio externo e o interior do vestíbulo. Não existe película nas paredes do vestíbulo, permitindo que a membrana citoplasmática realize ingestão (**fagocitose**) ou egestão (**exocitose**). Geralmente, a base dos flagelos se projeta através do vestíbulo, alcançando o exterior através da abertura deste. Assim, a movimentação da base flagelar promove a circulação de água nesta pequena cavidade.

Existe um tipo especial de Ciliophora, os **suctórios**, que na fase adulta perdem completamente a ciliatura. Os suctórios desenvolvem **tentáculos suctorais** (figura 4.15) ocos que possuem na extremidade organelas de adesão chamadas **haptocistos**. Os haptocistos secretam uma substância viscosa capaz de prender as presas. Ao se prender, o haptocisto secreta enzimas que dissolve a membrana citoplasmática da presa abrindo um canal por onde é sugado todo o citoplasma (figura 4.16).

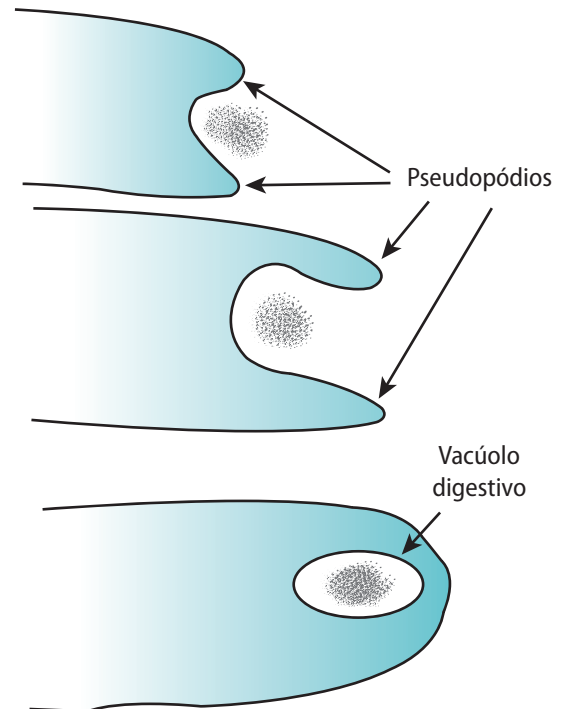


Figura 4.12 – Esquema demonstrativo sequencial da fagocitose e formação de vacúolo digestivo.

- **Citóstoma**
- Boca celular dos ciliados.

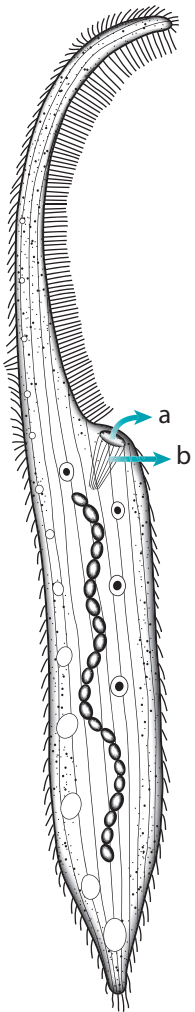


Figura 4.13 – Representante de um ciliado haptorídeo onde se pode ver: **citostoma** (a) e **citofaringe** (b).

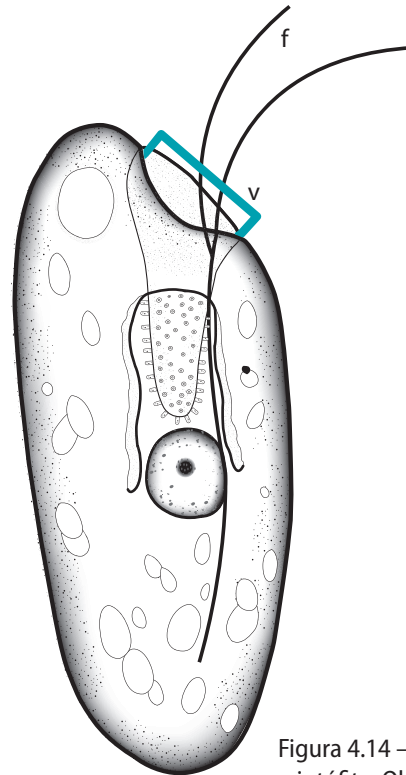


Figura 4.14 – Representante de um Protista criptófito. Observe o **vestíbulo** (v), bem desenvolvido, e os **flagelos** (f) que se projetam de dentro do vestíbulo para o meio externo.

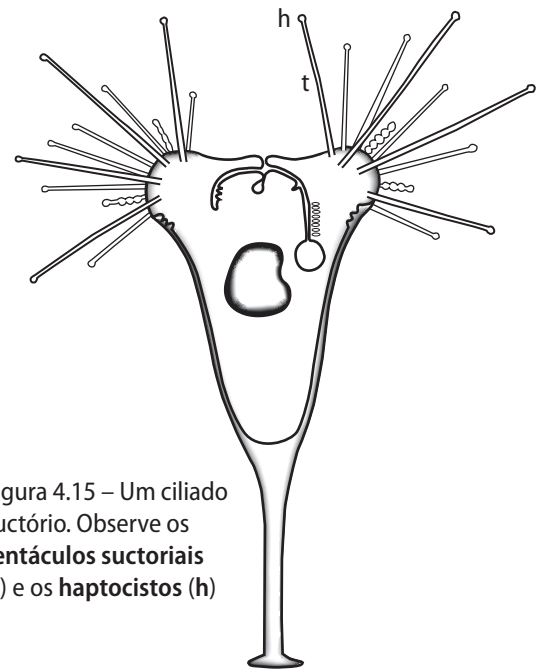


Figura 4.15 – Um ciliado suctório. Observe os **tentáculos suctórios** (t) e os **haptocistos** (h)

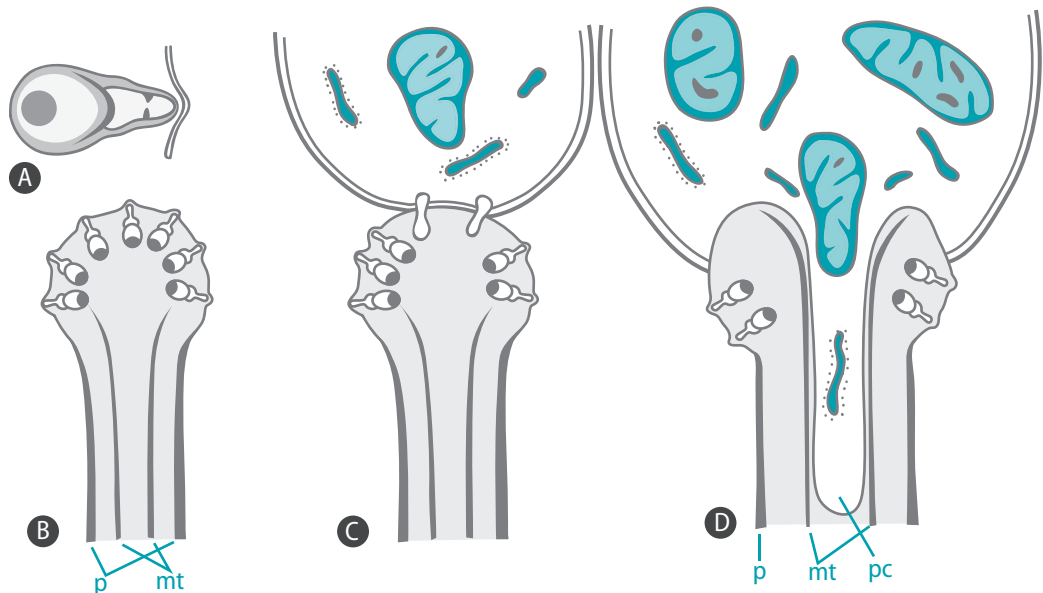


Figura 4.16 – Desenho esquemático ilustrando: a aparência (A) e a posição (B) dos **haptocistos** em um tentáculo suctório; o mecanismo de fixação e dissolução da membrana citoplasmática da presa (C). Em (D) observa-se a sucção do citoplasma da presa (pc) através de um cilindro de microtúbulos (mt) dentro do tentáculo suctório. Observe que complexo cortical (p) é menos desenvolvido na extremidade do tentáculo que em suas laterais.

4.2.3 Excreção e osmorregulação

A excreção em Protista é feita por **difusão** ou **exocitose**. No final da digestão, os vacúolos digestivos participam da exocitose dos restos não digeridos (figura 4.17). Nos protistas sem exoesqueleto ou reforço na membrana citoplasmática, a exocitose pode ser feita através dos vacúolos digestivos que encostam na membrana citoplasmática e se abrem para o meio externo, ejetando os dejetos para fora da célula. Nos protistas com exoesqueleto, a exocitose é feita na região das aberturas da carapaça. Protistas com película fazem a exocitose no vestíbulo. Os ciliados tem uma abertura no complexo cortical denominada **citoprocto** por onde é feita a excreção. Nos esporozoários, a egestão é feita pelo **microporo** (figura 4.18).

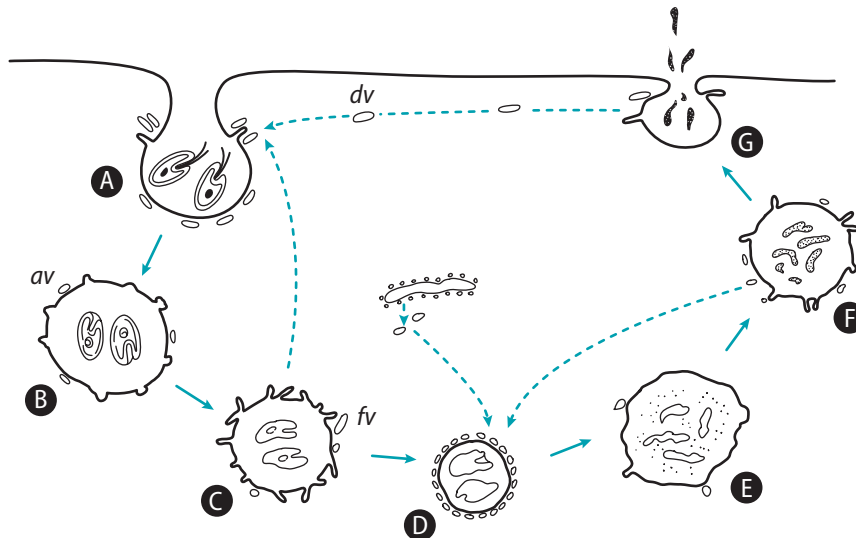


Figura 4.17 – Ciclo do vacúolo digestivo em ciliados. O vacúolo digestivo (a) recebe o alimento do citostôma; o vacúolo digestivo se fecha (b) e recebe a adesão de vesículas ácidas (av); os fluidos são retirados do vacúolo (c) em vesículas tubulares (tv) e podem ser reciclados para o citostoma; o vacúolo drenado (d) recebe enzimas em lisossomos (l) produzidos no retículo endoplasmático ou reciclados de vacúolos digestivos velhos; seguindo a digestão (e) ocorre micropinocitose em volta do vacúolo e mais tarde (f) alguns materiais lisossômicos podem ser reciclados; o vacúolo com restos não digeridos se abre no citoprocto (g) e é feita a exocitose.

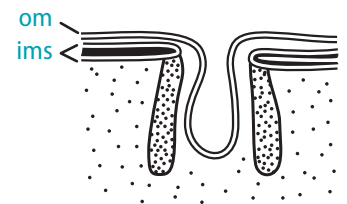


Figura 4.18 – Microporo de um esporozoário com a membrana externa (om) invaginada, dentro de um colar cilíndrico denso e a membrana interna (ims) é interrompida na extremidade deste colar.

Organelas localizadas na superfície celular, denominadas **extrusomos**, expõem substâncias para o meio externo. Existem muitos tipos de extrusomos; os mais comuns são os **mucocistos** que expõem substâncias mucosas e os **toxicistos** que expõem substâncias

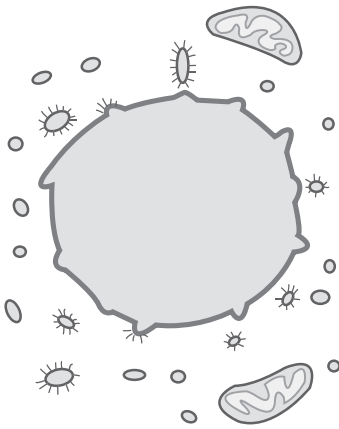


Figura 4.19 – Diagrama de um vacúolo contrátil de uma ameba rodeado de vesículas e mitocôndrias.

tóxicas como defesa. No complexo cortical dos ciliados aparecem extrusomos do tipo mucocisto (figura 4.9 veja estrutura **m**).

Os **vacúolos contráteis** (figura 4.19) estão presentes na maioria dos protistas amebóides, flagelados e ciliados. Estas organelas são o principal mecanismo **osmorregulador** destes organismos unicelulares, bombeando o excesso de água para fora da célula. Ocorrem em número e forma variáveis. Cada vacúolo está conectado através de microcanais com pequenas vesículas periféricas que drenam o excedente de água de diversas partes do citoplasma. Estas vesículas, quando cheias, se contraem e enchem o vacúolo que se expande (diástole). Quando o vacúolo está cheio, há uma contração (sístole) que expulsa a água de seu interior para fora da célula, através de um canal exalante que desemboca num poro excretor.

4.2.4 Circulação e trocas gasosas

A distribuição de nutriente e trocas gasosas é feita por difusão, já que as distâncias são muito pequenas no mundo microscópico dos protistas.

4.2.5 Sensibilidade

Os protistas têm graus variáveis de sensibilidade, podendo responder aos estímulos ambientais com comportamentos considerados complexos para um organismo unicelular. As respostas comportamentais de protistas estão, geralmente, relacionadas a movimentos que se aproximam (taxias positivas) ou se afastam da fonte de estímulo (taxias negativas). Estas taxias podem estar relacionadas à sensibilidade e a condutividade do citoplasma, como ocorre nas amebas. Nos flagelados e ciliados, flagelos e cílios, respectivamente têm função sensitiva e reagem modificando os padrões de movimentos em busca de alimento, fuga ou, no caso dos pedunculados, através da contração violenta do pedúnculo. Como reação de defesa, os **toxicistos** ejetam seu conteúdo tóxico. Protistas fotossintéticos têm taxia positiva para baixa ou média intensidade luminosa e taxia negativa para intensidades muito fortes de luz. Organelas especializadas na percepção luminosa, como **estig-**

Toxicistos
Extrusomos de defesa.

mas (figura 4.20), estão geralmente localizados na região anterior do corpo, sendo em algumas espécies associados ao cloroplasto. Os estigmas variam de simples pigmentos a estruturas complexas na forma de lentes.

4.2.6 Reprodução

Os protistas realizam tanto reprodução assexuada quanto sexuada. A reprodução sexuada é uma novidade evolutiva dos eucariontes e deve ter surgido durante a origem de Protista. Já a reprodução assexuada é um estado plesiomórfico (antigo) herdado dos ancestrais procariontes.

Três tipos de **reprodução assexuada** podem ser destacados: A **fissão binária**, a **fissão múltipla** e o **brotamento**. A fissão binária (figura 4.21A-D e E-G) é uma divisão mitótica simples, onde uma célula mãe, após duplicar seu DNA, se divide em duas células filhas iguais por **citocinese**. Na fissão binária a citocinese é precedida pela **cariocinese**. Na fissão múltipla ocorrem muitas divisões nucleares (cariocineses múltiplas), antes da citocinese. A célula mãe, agora com múltiplos núcleos, sofre uma citocinese múltipla originando um grande número de células filhas. Este tipo de reprodução é característico de ciclos de infecção por protistas parasitas. O brotamento (figura 4.21 H) ocorre quando, após uma cariocinese, destaca-se, por citocinese desigual, uma célula filha de menor tamanho que a célula mãe.

Os protistas desenvolveram uma variedade de processos **sexuais**. Destaca-se aqui o surgimento da **meiose** como um processo reprodutivo que forma células **haploides** chamadas de gametas. A condição **diploide** é restaurada quando as células haploides (gametas) se fundem (**singamia**). Células de protistas responsáveis pela produção de gametas são usualmente chamadas de **gamontes**. A singamia (fusão de gametas) pode ocorrer por **isogamia** quando os dois gametas tem o mesmo tamanho. Quando os gametas têm tamanhos diferentes, chamamos a fusão de **anisogamia**. Além da singamia, outro processo sexual é conhecido nos protistas ciliados, a **conjugação** (figura 4.22). Na conjugação, dois indivíduos unicelulares sofrem meiose, a qual leva à formação de núcleos ga-

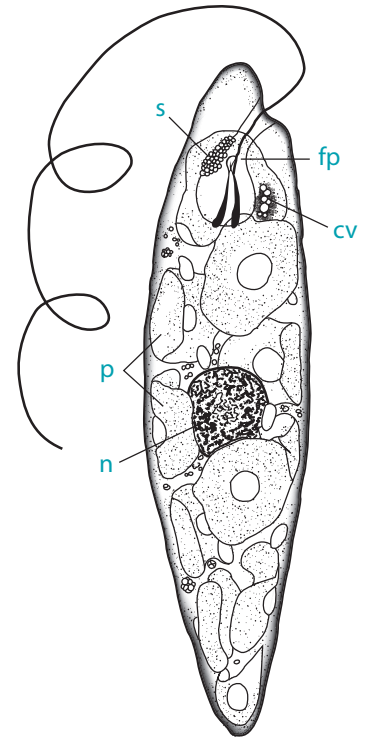


Figura 4.20 – Um euglenófito onde se pode observar o estigma (s), plastídeos (p), núcleo (n), vestíbulo (fp); e vacúolo contrátil (cv)

Citocinese

Divisão da célula propriamente dita.

Cariocinese

Divisão do núcleo.

Células **haploides** (n) tem a metade do material genético (somente um elemento do par de cada cromossomos). Células **diploides** ($2n$) tem o material genético completo (pares de cromossomos completos).

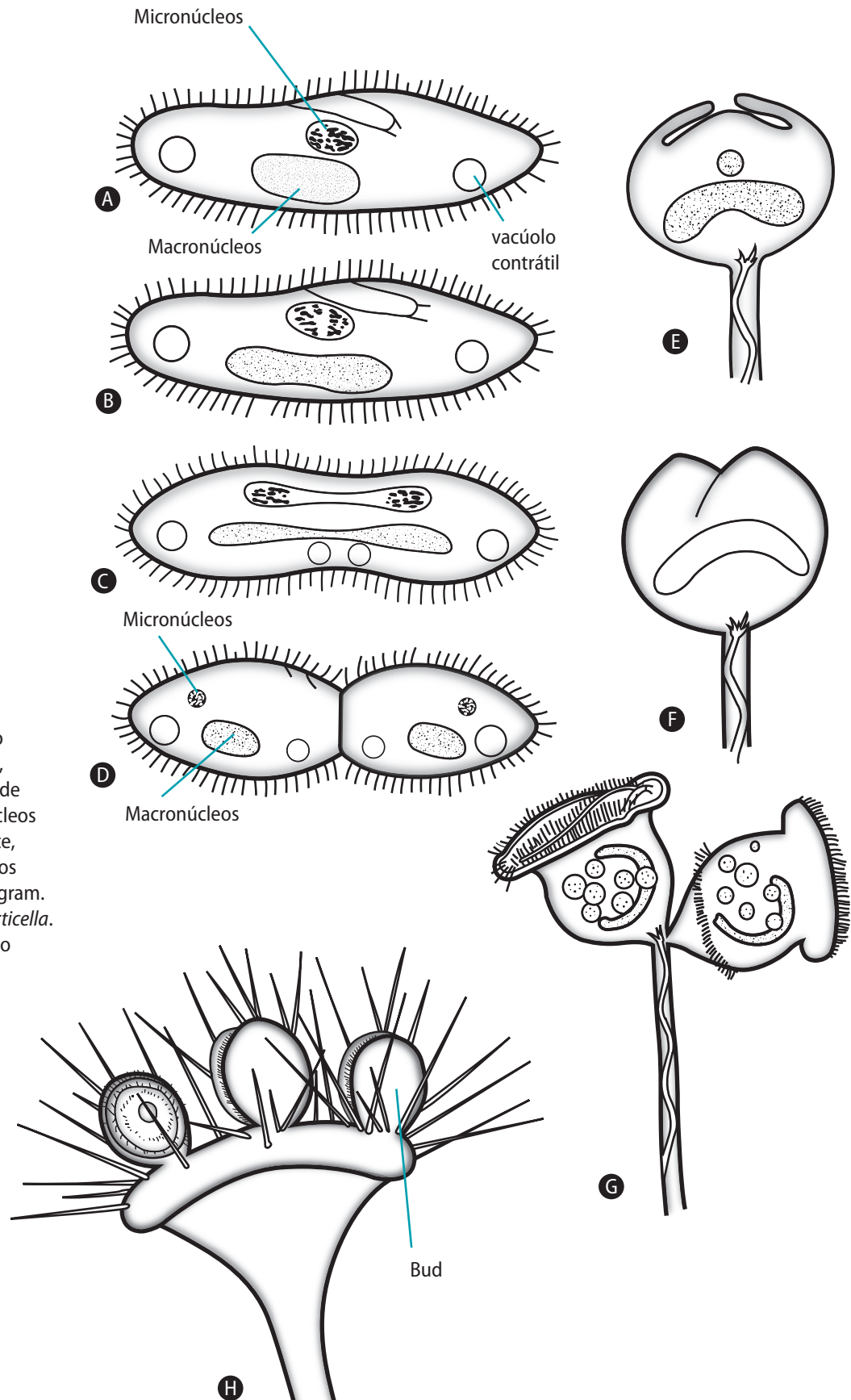


Figura 4.21 – Reprodução assexual em ciliados. A-D, fissão binária transversal de *Paramecium*; os micronúcleos dividem-se mitoticamente, enquanto os macronúcleos simplesmente se desintegram. E-G, fissão binária em *Vorticella*. H, brotamento no suctório *Ephelota*.

méticos haploides sem que haja divisão celular. Estes dois indivíduos formam uma ponte citoplasmática entre si trocando núcleos gaméticos (n) migrantes, mantendo, cada gamonte, um núcleo gamético (n). Logo após a troca de núcleos gaméticos migrantes, os gamontes se separam. Apesar de não ter havido ainda divisão celular, houve a troca de material genético. Assim, quando houver uma divisão celular ela será considerada uma reprodução sexual.

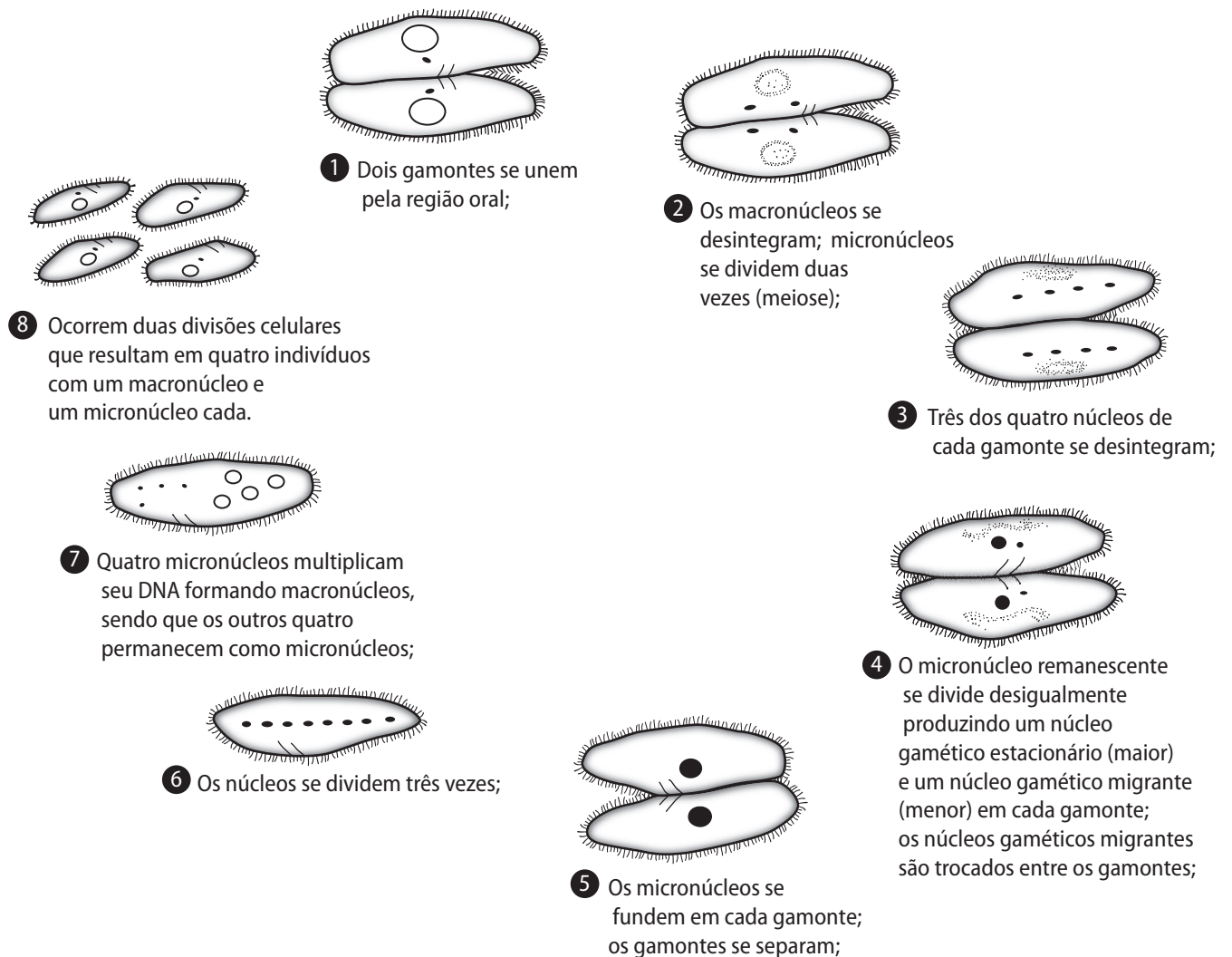


Figura 4.22 – Conjugação em *Paramecium*.

4.3 A Classificação de Protista

Sistema de classificação
de Linné.

Sistema de classificação
de Haeckel.

Os Sistemas de classificação desenvolvidos para **eucariontes unicelulares**, independente de serem evolutivos ou não, separam-se em duas grandes vertentes: os que incorporam a base dicotômica **lineana** representada por dois únicos reinos (Plantae e Animalia) e os sistemas que incorporam a base tricotômica **haeckeliana** que acrescenta o Reino Protista, separado das plantas e dos animais. Obviamente, esta é uma visão simplista e não expõe as várias modificações sofridas pelos sistemas lineano e haeckeliano nos últimos séculos (ver capítulo 1).

4.3.1 Sistema de Kudo (1969)

Os protozoários são os unicelulares eucariontes heterotróficos. A título de informação, os unicelulares eucariontes autotróficos são incluídos no Reino Planta: Divisão Algae.

Como exemplo de um dos sistemas de base dicotômica lineana para os unicelulares eucariontes, temos o sistema publicado por Kudo (1969). Neste trabalho, estes microorganismos são classificados dentro do **Reino Animalia** no **Filo Protozoa**. Dois grandes subfilos emergem deste sistema: **Plasmodroma** e **Ciliophora**. Plasmodroma é definido como tendo um ou muitos núcleos, porém todos do mesmo tipo (núcleos monomórficos); quando existem mecanismo de locomoção, estes podem ser pseudopódios, flagelos ou ambos. O **Subfilo Plasmodroma** é subdividido em quatro classes: **Mastigophora** (flagelados), **Sarcodina** (ameboides e ameboflagelados), **Sporozoa** (esporozoários) e **Cnidosporidia** (cnidosporídios). Por sua vez o **Subfilo Ciliophora** é caracterizado por possuir dois tipos de núcleo, o macronúcleo (vegetativo) e o micronúcleo (reprodutivo) e também por possuir cílios em pelo menos algum estágio do seu ciclo vital. Os Ciliophora foram subdivididos em duas classes: **Ciliata** (com ciliatura na fase adulta) e **Suctoria** (sem cílios na fase adulta e com tentáculos suctorais).

4.3.2 Sistema adaptado de Sleight (1989) e Brusca & Brusca (2003)

Como exemplo de um sistema de base haeckeliana, temos aquele proposto por Sleight (1989) e Brusca & Brusca (2003). Neste último, o Reino Protista é definido somente como um agrupamento

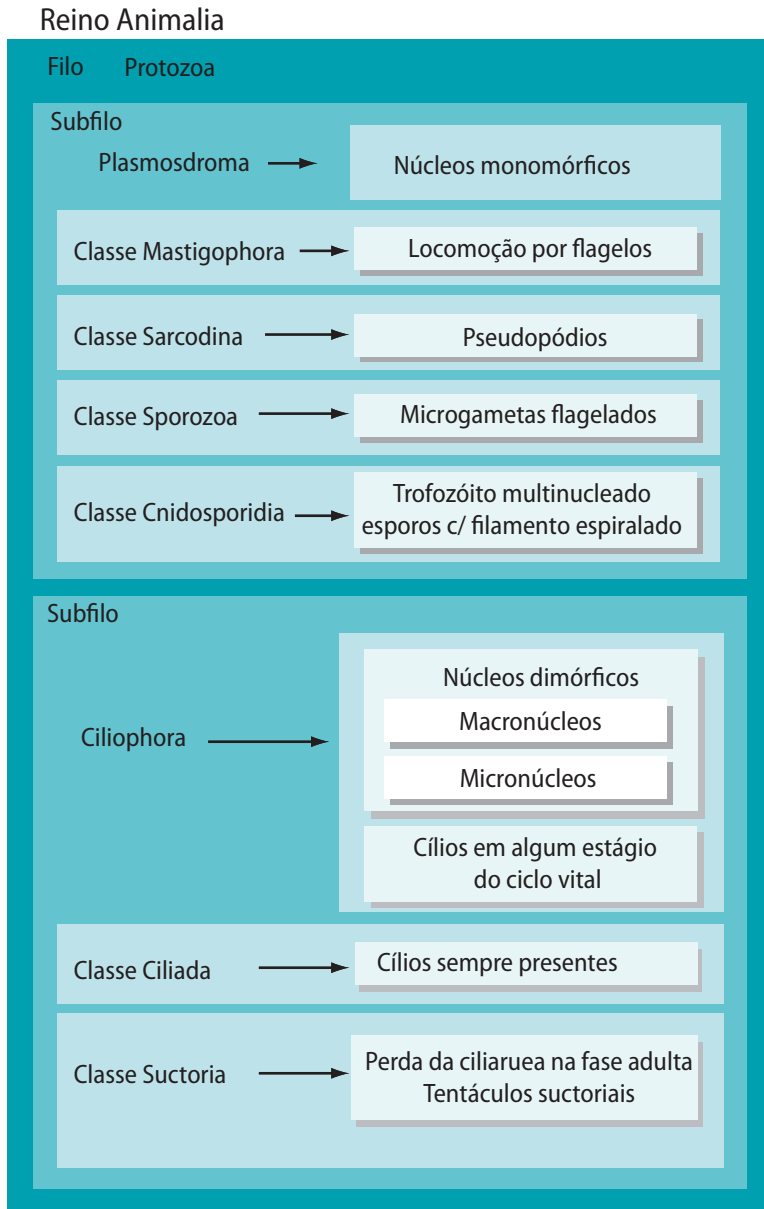


Figura 4.23 – Sistema de Classificação de base lineana apresentado por Kudo (1966). No quadro estão destacados os Táxons superiores e suas definições mais marcantes.

de eucariontes que não atingem o nível de organização em tecidos como aquele atingido em plantas e animais. Inclui tanto os “protozoários” (protistas heterotróficos) quanto as “algas” (protistas autotróficos). Para Brusca & Brusca (2003), este Reino é composto por dezessete (17) Filos: Euglenida (=Euglenophyta), Kinetoplastida, Ciliophora, Dinoflagellata (=Dinophyta), Stramenopila (=Heterokonta), Rhizopoda, Actinopoda, Granuloreticulosa, Diplomonadida, Parabasalida, Cryptomonada (=Cryptophyta), Apicomplexa

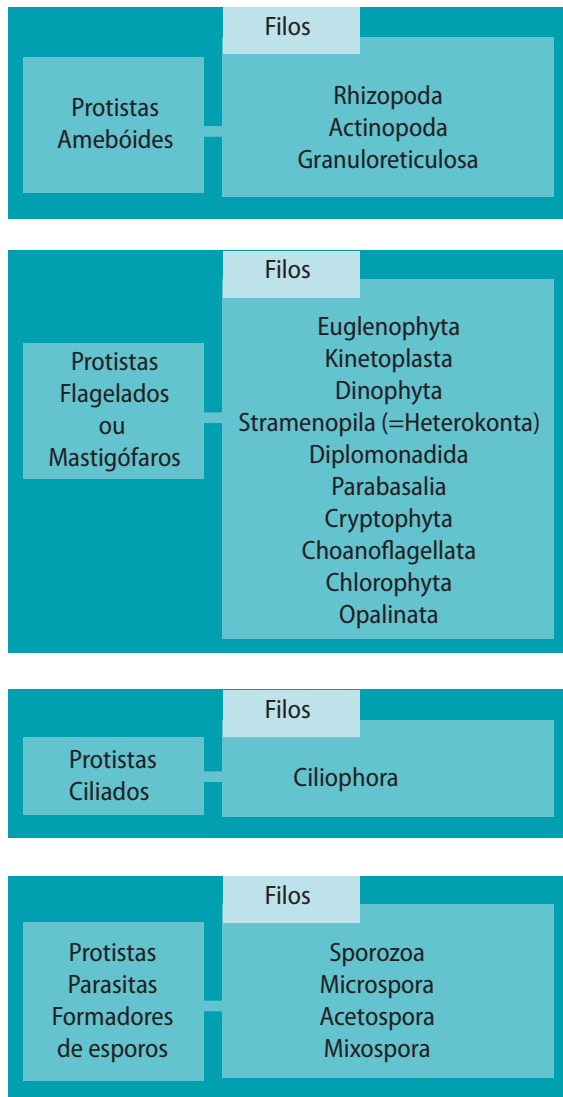


Figura - 4.24 – Sistema de classificação de base haeckeliana, sintetizado de Sleight (1989) e Brusca & Brusca (2003).

(=Sporozoa), Microspora, Ascetospora, Choanoflagellata, Chlorophyta e Opalinida (= Opalinata). No Sistema proposto por Sleight (1989), verifica-se um grupo que não está contemplado no sistema exposto por Brusca & Brusca: é o filo Mixospora (=Mixosporidia).

Em resumo, os conceitos de Protista e Protozoa são incompatíveis e devemos escolher um deles para o trabalho didático. Acreditamos que o conceito de Protozoa seja adequado para o ensino de primeiro grau, pela sua simplicidade e por representar uma hipótese científica que introduziu os unicelulares no conhecimento científico. Para estudantes de segundo grau, o conceito de Protista é mais adequado, pois representa uma ruptura epistemológica, isto é uma mudança de paradigma, a qual pode ser um instrumento pedagógico. Entretanto, como fazer um esquema didático de fácil compreensão para um sistema com dezoito Filos de Protista artificialmente em quatro grupos, baseados nos tipos morfológicos apresentados pelo sistema lineano (figura 4.24).

Resumo

Estima-se que os primeiros seres vivos tenham surgido na terra a aproximadamente 3,5 bilhões de anos, na forma de procariontes fermentadores. Três linhas filéticas divergiram, levando às Archaeobacteria, às Eubacteria e ao estoque ancestral dos eucariontes. Na evolução dos eucariontes destacam-se alguns passos evolutivos como: 1) perda da parede celular formando um ancestral ameboide fermentador que desenvolve a fagocitose; 2) formação dos sistemas de membranas e especialmente a carioteca; 3) desenvolvimento da meiose e da reprodução sexuada; e 4) a simbiogênese que explica o surgimento das organelas de membranas duplas, como a mitocôndria e o cloroplasto, através do mutualismo endosimbiótico com bactérias aeróbicas e cianobactérias respectivamente. A origem dos eucariontes se confunde com a origem de Protista. Na história da classificação formam-se duas visões para expressar a biodiversidade: os sistemas lineanos e haeckelianos. Os sistemas lineanos agrupam os protistas heterotróficos como protozoários dentro do Reino Animalia e os protistas autotróficos como algas no Reino Plantae. Já os sistemas de classificação haeckelianos separam Protista como um Reino à parte. No século vinte as moneras são separados dos protistas. Os quase vinte filos de protistas podem ser estudados, didaticamente, em quatro grupos artificiais: os ameboides, os flagelados, os ciliados e os parasitas formadores de esporos.

Bibliografia

BRUSCA, R. C.; BRUSCA, G. J. **Invertebrates**. 2. ed. Massachusetts: Sinauer Associates, 2003.

KUDO, R. R. **Protozoologia**. México: Continental, 1969.

SLEIGH, M. **Protozoa and other Protists**. London: Edward Arnold, 1989.