

CAPITULO 1

1. MICROBIOLOGIA DO SOLO

1.1. Aspectos Históricos e Evolução

A Microbiologia do Solo nasceu em 1676, juntamente com outros ramos da Microbiologia, quando Anton Van Leeuwenhoek desenvolveu o primeiro microscópio, rudimentar mas potente o suficiente para observar o que ele chamou de “animáculos” em raspas de placa bacteriana de dente, água e material vegetal em decomposição. Entretanto, foram necessários quase dois séculos para que a Microbiologia se impusesse como Ciência, quando foi derrubada a teoria da geração espontânea para formas microscópicas de vida (resquícios de Aristóteles), derrotando a forte oposição dos grandes químicos da época como o Barão Justus Von Liebig e Berzelius, que afirmavam ser os microrganismos “matéria orgânica sem vida”. O grande feito pode ser creditado a Louis Pasteur, que demonstrou a existência de vida sem ar (“La vie sans air”) e que cada tipo de fermentação era mediado por um microrganismo específico, desenvolvendo ainda os princípios da pasteurização e a imunização. A partir dessa época, na segunda metade do século XIX, ocorreram grandes descobertas na Microbiologia do Solo, embora inúmeras dessas fossem ainda incompletas.

Tentativas anteriores de comprovação da fixação biológica do nitrogênio atmosférico (FBN) em leguminosas por Boussingault, Lawes, Gilbert e outros pesquisadores tiveram a oposição agressiva de Liebig, que afirmava que “*só adubos fornecem os elementos encontrados nas cinzas de plantas*”. Estes pesquisadores fracassaram por não estabelecerem relação entre a FBN e os nódulos, verdadeiros sítios da FBN, embora Lachman tivesse observado bactérias nos nódulos e sugerido ser este o sítio da FBN. Entre 1886 e 1888, a FBN foi comprovada por Hellriegel e Wilfarth, e bactérias responsáveis pelo processo foram isoladas dos nódulos por Beijerinck.

Outras grandes descobertas da época incluem a autotrofia microbiana e a nitrificação, por Sergei Winogradsky (considerado o pai da Microbiologia do Solo), as micorrizas, a fixação assimbiótica de N_2 e a desnitrificação entre outros processos e, a produção do primeiro inoculante microbiano “Nitragin” na Alemanha.

A Microbiologia do Solo entra no século XX como Ciência autônoma, e surgem os primeiros livros relacionando a microbiota do solo com processos importantes para a produção agrícola. No Brasil, é criado o 1º Laboratório de Microbiologia Agrícola no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) enquanto Hiltner, na Alemanha, define o termo rizosfera *como área de grande atividade microbiana ao redor das raízes*. Nas décadas de 20 a 50 ocorreram as descobertas dos antibióticos e sua aplicação. Selman Waksman, microbiologista do solo e pesquisador da Universidade de Rutgers - EUA, ganha o Prêmio Nobel de Medicina em 1942, pela descoberta da estreptomicina. A Microbiologia do Solo vivia sua fase áurea e procurava estabelecer relações entre a contagem de microrganismos e suas funções como índice de fertilidade. Entretanto, essa abordagem fracassou devido principalmente às limitações metodológicas como aquelas verificadas no meios de contagens que permitem o crescimento de proporção ($\cong 1\%$) dos organismos da população microbiana no solo. Além disso, muitos fatores determinam a fertilidade do solo e qualquer um deles pode restringir a produtividade vegetal, conforme já havia sido estabelecido como a Lei do Mínimo de Liebig, válida até os dias atuais.

No início da década de 50, outros dois importantes núcleos de Microbiologia do Solo são criados no Brasil. Um no IPAGRO - RS e outro no Km 47, no Rio. Este último foi estabelecido pelo Dr. Álvaro Barcelos, que havia recebido seu Ph.D. sob orientação de Waksman, e contratou a jovem J. Dobereiner para fazer parte de seu grupo. Dobereiner assumiu a liderança daquele setor, tornando-se o símbolo da área no país e a mentora do atual CNPAB da EMBRAPA, em Seropédica - RJ, hoje centro de referência mundial em MS. Em 1953, Dobereiner já publicava sobre ocorrência de bactérias diazotróficas em solos brasileiros, uma caminhada que resultou na descoberta de inúmeras novas bactérias fixadoras de N_2 nas gramíneas e outras espécies vegetais.

No final da década de 50 e início dos 60's, o mundo viveu a euforia das altas produtividades, resultantes do avanço científico e tecnológico que culminou com a chamada

revolução verde, que tem como base de produção o uso dos agroquímicos, o cultivo intensivo do solo e o melhoramento genético; relegando em segundo plano os processos biológicos do sistema. Surgiram então, os dissidentes que rejeitaram a agroquímica e criaram as bases da chamada agricultura orgânica, que baseia-se fundamentalmente no potencial biológico dos sistemas de produção. Na década de 70, surgem os primeiros efeitos colaterais do moderno sistema de produção e a crise energética mundial. Disto surgiram novos desafios, que se resumiram na necessidade de “produzir sustentavelmente”, abrindo e ampliando novamente o potencial e os horizontes da Microbiologia do Solo.

1.2. Definições

O solo é um corpo organizado que contém provavelmente maior número de indivíduos e maior diversidade que qualquer outro habitat ou ecossistema. Os organismos que compõem a pedobiota desempenham funções essenciais para o funcionamento do ecossistema, pois tem como função primária, governar as reações de ciclagem e fluxos dos vários nutrientes essenciais, influenciando assim diretamente a fertilidade do solo, além de exercer efeitos na formação da estrutura e manutenção dos agregados e sua sanidade como meio de crescimento vegetal e sustentáculo da produção agrícola.

A microbiologia do Solo é a parte da Ciência do Solo que estuda os organismos de tamanho microscópicos e macroscópico que habitam e participam da dinâmica desses processos importantes no solo (atividades metabólicas, fluxo de energia, ciclagem e transporte de nutrientes, etc.), que abordaremos alguns posteriormente.

1.3. Perspectivas Futuras da Microbiologia do Solo

O uso de tecnologias diversas como melhoramento genético, mecanização, irrigação e agroquímicos foi o principal fator responsável pela elevação na produtividade das culturas e da pecuária intensiva e também pela expansão da produção agrícola mundial deste final de

século. Embora esta agrotecnologia, também conhecida como revolução verde, tenha sido desenvolvida com base na pesquisa científica, ela mostrou-se, em grande parte, pouco sustentável e com enorme impacto sobre o meio ambiente, que é também afetado pelas atividades industriais e pela urbanização. A agricultura mundial vive um grande dilema. Por um lado, os efeitos prejudiciais dos agroquímicos, por outro, sem pesticidas, estima-se que a produção mundial de alimentos seria reduzida em 20 a 40%, pois os organismos danosos são incontáveis (5.000 insetos e ácaros, 8.000 fungos, 70 bactérias e 1.800 ervas daninhas). Situação semelhante ocorrerá em grandes extensões de terra cultivada, se fertilizantes químicos não forem aplicados. Além disso, há uma necessidade de aumentar a produção mundial em 30% para atender a demanda do próximo século; e é urgente uma reversão da devastação ambiental, atualmente imposta no planeta. Desse modo, busca-se uma nova revolução verde que precisa ser sofisticada o suficiente para manter ou aumentar a produção, enquanto protege o ambiente (Plucknet e Winkelmann, 1995), o que certamente representa um grande desafio para o próximo milênio.

Em termos gerais, o sucesso de uma exploração sustentável depende fundamentalmente da eficácia das plantas em converter luz solar, nutrientes e água em produtos; conceito este que coloca o solo e seus processos em posição de destaque no cenário da sustentabilidade agrícola. Isto tem resultado numa necessidade crescente de melhor entendimento dos fundamentos e regulação dos processos físicos, químicos e biológicos do solo, que sem nenhuma dúvida determinam sua qualidade e capacidade de sustentar, por período prolongado, qualquer atividade de exploração agrícola que for nele implantada. Como considerado por Oikarinen (1996), antes da descoberta dos nutrientes essenciais às plantas, *a fertilização do solo ocorria naturalmente por forças biológicas que aproveitavam substâncias da própria natureza*. Isto representa hoje os fundamentos da agricultura biológica ou orgânica onde não é praticada adição de qualquer fonte industrializada de nutriente.

Os principais fenômenos biológicos responsáveis por estes processos vem sendo objetos de estudos desde o século passado, tendo já suas bases delineadas na primeira metade do século que se encerra (Waksman, 1927) e ocupando hoje destacada importância devido a:

- a) Elevada conscientização da sociedade sobre a qualidade ambiental, conservação dos recursos naturais e integração produção x Ecologia (= sustentabilidade);
- b) Necessidade de uso eficiente dos recursos naturais do planeta, especialmente daqueles não renováveis (= grande ênfase em reciclagem);
- c) Necessidade de maximização da eficácia dos insumos agrícolas para baixar custos e minimizar seus efeitos adversos sobre o homem e o meio ambiente;
- d) Adoção de práticas conservacionistas como cultivo mínimo, rotação/consorciação/diversificação de culturas, as quais favorecem a atividade e contribuição relativa dos processos biológicos para a produção agrícola.
- e) Possibilidades de expansão da base tecnológica e comercial destes processos como inoculantes diversos de organismos naturais, clonados e transgênicos, bioestimulantes orgânicos e agentes químicos naturais de origem microbiana para usos diversos na agricultura e medicina.

Portanto, a Microbiologia do solo ocupará posição de destaque no próximo século, tanto como Ciência fundamental quanto como aplicada.

CAPÍTULO 2

2. O SOLO COMO HABITAT MICROBIANO

2.1- Distribuição Espacial

A ocorrência e distribuição (relação espacial) dos microrganismos no solo tem atraído a atenção de muitos estudiosos. Observações "in situ", utilizando-se microscopia eletrônica, permitem a melhor visualização da sua distribuição, entre os componentes inertes do solo, e revelam sua interação com as argilas e substâncias húmicas. Estes estudos revelam que os microrganismos ocupam geralmente menos de 0,5 % do espaço poroso do solo. O uso desses métodos microscópicos associados a testes bioquímicos, demonstra que apenas algumas células microbianas são fisiologicamente ativas, estando na sua maioria em estado dormente ou mortas, evidenciando as condições estressantes do solo.

Bactérias - 15 - 30 % Estão metabolicamente ativas

Fungo - 02 - 10 % “ “

Os microrganismos não ocorrem livres na solução do solo:

Bactérias - Se concentram dentro ou próximas aos peletes fecais da pedofauna, em remanescentes da parede celular das raízes, embebidas no mucigel e em colônias, nos pequenos espaços vazios formados entre as partículas do solo, nos agregados argila-matéria orgânica.

Fungos - Predominam na rizosfera e nos poros mais próximos às raízes.

Protozoários - Predominam na rizosfera e cordões miceliais dos fungos.

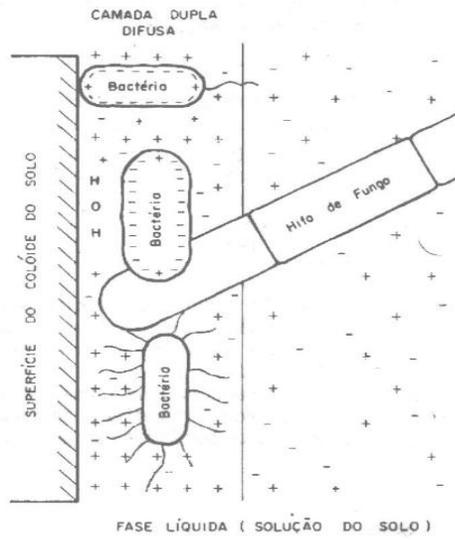
Nos agregados, as bactérias esporolantes, actinomicetos e fungos predoninam na superfície, enquanto as bactérias gram negativas predominam no seu interior.

As relações ecológicas da ocorrência e distribuição geográfica dos diferentes tipos de microrganismo são difíceis de serem estabelecidas. Os solos sob cerrados, por exemplo, são pobres em espécies de bactérias e relativamente ricos em actinomicetos e fungos.

2.2.1- Interação Microrganismo-Partículas do Solo.

Dentre os constituintes do solo, as frações representadas pelas argilas e matéria orgânica que formam o complexo coloidal do solo, destacam-se pela sua capacidade de interação com os microrganismos do solo. Este fato ocorre devido a distribuição de cargas negativas na superfície do complexo coloidal do solo. A atração de cátions para esta região eletronegativa acaba gerando uma dupla camada difusa ao redor dos colóides do solo (Fig 2.1). Os microrganismos também apresentam uma distribuição de cargas líquidas eletronegativa em torno de suas células devido, principalmente, aos grupos COO^- de macromoléculas da parede celular e/ou cápsula. Nesta condição, os microrganismo podem interagir diretamente com as micelas coloidais do solo através de adsorção.

O processo de adsorção inclui mecanismos de troca iônica, protonação e principalmente formação de pontes de hidrogênio. Além disso, alguns cátions divalentes, tais como Mn^{++} , Ca^{++} , Mg^{++} , Fe^{++} poderiam atuar como verdadeiras pontes divalentes nos processos de adsorção dos microrganismos e partículas coloidais do solo.



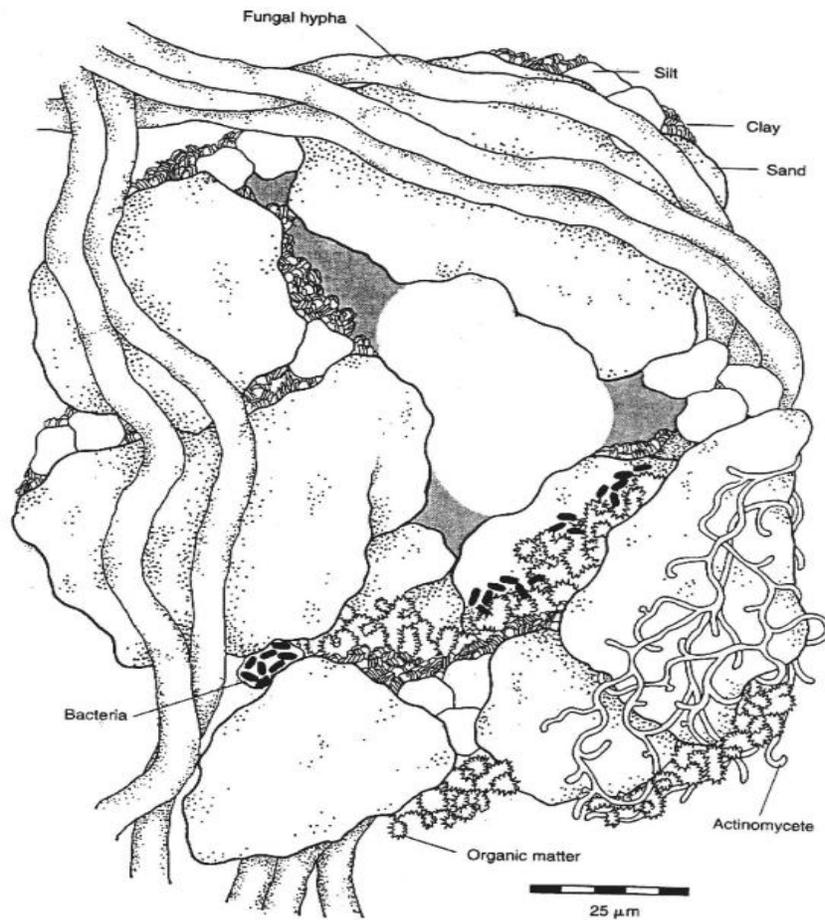
Ionosfera da interface argila-microorganismos

Fig. 2.1: Interação microrganismo, argila e dupla camada difusa.

Assim, as partículas de argila e matéria orgânica no solo, funcionam como um suporte sólido adsorvendo e concentrando grupos de microrganismo na sua superfície (Fig. 2.2).

Esta interação pode ter várias implicações:

1. Imobilização do microrganismo em determinado habitat.
2. É possível que o microrganismo, por estar "imerso" nesta camada catiônica difusa, usufrua de uma maior disponibilidade de nutrientes.



A typical soil aggregate. Here sand, silt, and clay particles, cemented by organic matter, precipitated inorganic materials, and microorganisms, bind the soil particles together to form an aggregate. Note how the water forms a meniscus surrounding the air space (*center*). Bacteria (rods in organic matter, rods in a polysaccharide "plug," and actinomycete) and fungus (hyphae only), as well as the sand, silt, and clay particles are all to scale. Also note how an aggregate can offer a diverse set of microsites for microbial habitation over very small distances. *Original drawing by Kim Luoma.*

Fig. 2.2: Visualização de microrganismos num agregado do solo

Outra possibilidade de interação entre os microrganismos e partículas do solo refere-se a produção de substâncias extracelulares tais como exopolissacarídeos e exoenzimas. Os exopolissacarídeos produzidos pelas bactérias tem função nos processos de formação de colônias ou microcolônias no solo. Estas substâncias podem interferir no processo de agregação das partículas do solo (agente cimentante), promovendo, assim, a formação de agregados que contribuem para a melhoria da estrutura do solo. As hifas de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) também possuem importância na formação de agregados no solo.

2.2- Fatores que afetam a ocorrência e distribuição dos microrganismos no solo

Os principais fatores são:

1. Disponibilidade de substrato orgânico, que constitui o principal fator limitante;
2. Fatores ambientais
 - * Temperatura
 - * Umidade
 - * Aeração
 - * pH
3. Mineralogia do solo, especialmente a fração coloidal.
4. Disponibilidade de nutrientes minerais.
5. pH e potencial oxido-redução
6. Presença de microrganismos antagonistas, parasíticos e predadores.
7. Acúmulo de pesticidas e metais pesados no solo.
8. Fatores de crescimento, tais como, vitaminas, hormônios, aminoácidos e outros que são essenciais ao crescimento microbiano,
9. Características dos próprios microrganismos, tais como, tempo de degeneração, capacidade mutagênica, indução/repressão enzimática, morfologia das células, capacidade de esporulação.

OBS.: O manejo do solo, através de seus efeitos sobre os diversos fatores do solo e planta, promove modificações diversa na microbiota, que podem favorecer ou diminuir a proliferação de espécies minontárias e o surgimento de novas espécies, levando a comunidade a um no novo equilíbrio microbiológico.

1) Disponibilidade de Substrato orgânico.

A maioria dos microrganismos do solo são heterotróficos, e assim, demanda substrato orgânico como fonte de energia e carbono para seu metabolismo. A densidade de fungos e bactérias pode ser grandemente aumentada pela adição de substrato orgânico ao solo.

Substâncias orgânicas outras, que não substratos carbonáceos, são também essenciais e estimulantes para o crescimento, germinação, divisão celular e esporulação dos microrganismos. Estas incluem.

*Vitaminas

*Aminoácidos

*Hormônios

*Purinas

2) Fatores Ambientais:

Temperatura : Não somente influencia as reações fisiológicas das células, mas também as características físico-químicas do meio ambiente (volume, pressão, difusão, viscosidade) que afetam as células.

- Criófilos ou Psicrófilo < 20 °C
- Mesófilo 20 - 40 °C - maior dos microrganismos do solo.
- Termófilo > 40 °C

Umidade : A água é essencial para os microrganismos do solo, pois afeta o metabolismo intracelular, a turgidez, o movimento dos nutrientes, de produtos tóxicos e a aderência às partículas de argila, o status de aeração do solo, a pressão osmótica.

- Higrofilos = tensão de H₂O solo < 7.1 MPa
- Mesófilos = tensão de H₂O solo 7.1 - 30 MPa
- Xerófilos = tensão de H₂O solo > 30 MPa

Aeração : A aeração ou estado de oxigenação é crítico para as densidades microbianas do solo e seus processos metabólicos, pois a maioria dos microrganismos são aeróbicos.

- Aeróbicos = utilizam o O₂ como receptor final de elétrons
- Anaeróbicos Facultativos = utilizam receptores alternativos par os elétrons.
- Anaeróbicos Obrigatórios = não crescem na presença de O₂.

3) Mineralogia do solo: Especialmente a fração coloidal, que através de suas cargas, interage, intimamente com as células microbianas exercendo grande influência na sobrevivência e atividade de determinados grupos de microrganismo coma as bactérias e actinomicetos.

4) Disponibilidade de nutrientes Minerais: N, P, S, Ca, Mo, Co e Fe podem limitar a atividade de microrganismo, especialmente em solos com grandes quantidades de carbono mineralizável.

5) pH e potencial Oxido-redução: O pH é um fator que atua de forma isolada. Seu mecanismo de ação pode ser diferente para diferentes microrganismos. Seus efeitos podem ser diretos sobre o metabolismo, permeabilidade das membranas e adsorção, ou indiretos sobre a fisiologia, solubilização de elementos tóxicos.

Uma célula bacteriana possui cerca de 1000 enzimas, muitas das quais dependem do pH para sua atuação.

Neutrófilos: pH próximo à neutralidade (actinomicetos, cianobactérias);

Acidófilos: preferem ambientes ácidos (pH: 2,0-3,5);

Basófilos: não suportam valores de pH inferiores a 8,0.

Indiferentes: crescem numa ampla faixa de pH (bactérias: 6,0-9,0; Fungos: 2,0-8,0).

CAPÍTULO 3

3. MICROBIOTA DO SOLO

O solo é um sistema complexo e muito dinâmico e se constitui um excelente habitat para as populações microbianas do solo. Os principais microrganismos do solo são representados por :

- * Bactérias
- * Actinomicetos
- * Fungos
- * Algas
- * Microfauna

Existem também os vírus que são organismos que se desenvolvem dentro das células vivas de outros organismos.

Como meio para o crescimento de microrganismo, o solo é um ambiente muito heterogêneo, descontínuo e estruturado pela fase sólida (argila, húmus e complexos organo-minerais) formando unidades cujos tamanhos variam de $< 0.2 \mu\text{m}$ a $> 2 \text{ mm}$ de diâmetro.

Esta descontinuidade e variabilidade no tamanho das partículas ou agregados do solo fazem com que ele seja composto por inúmeras pequenas comunidades cada qual circunscrita em seu próprio ambiente - micro-habitat. Este fato, faz com que as técnicas atuais de análise descritiva das populações microbianas do solo gerem dados que representam a média ou soma da densidade ou atividade dos organismos em seus vários microhabitat.

A densidade populacional pode ser estimada pelo número de células viáveis, número total de células, biomassa, taxa de crescimento e distribuição, taxa de manutenção, tempo de geração de toda comunidade ou de organismos específicos do solo.

	Densidade n° /g	Biomassa kg/ha
Bactérias	$10^6 - 10^9$	100 - 4000
Fungos	$10^3 - 10^6$ 10 - 100 m hifa/g solo	400 - 5000

A) Bactérias :

As bactérias são organismos, em maior número no solo ($10^6 - 10^9$ n°/g) embora sua biomassa represente apenas de 25 - 30 % da biomassa microbiana total dos solos agrícolas. As bactérias são seres procarióticos que se caracterizam pelo seu pequeno tamanho, (0.5 - 2 x 1 - 8 μm) , são geralmente seres unicelulares que se multiplicam por fissão binária e formam colônias (Fig. 3.1).

As bactérias são capazes de transferirem o seu material genético para outras bactérias por:

- conjugação = transferência de grande porção do material genético (em células pares).
- transdução = transferência direta do DNA através de vírus, chamados fagos.

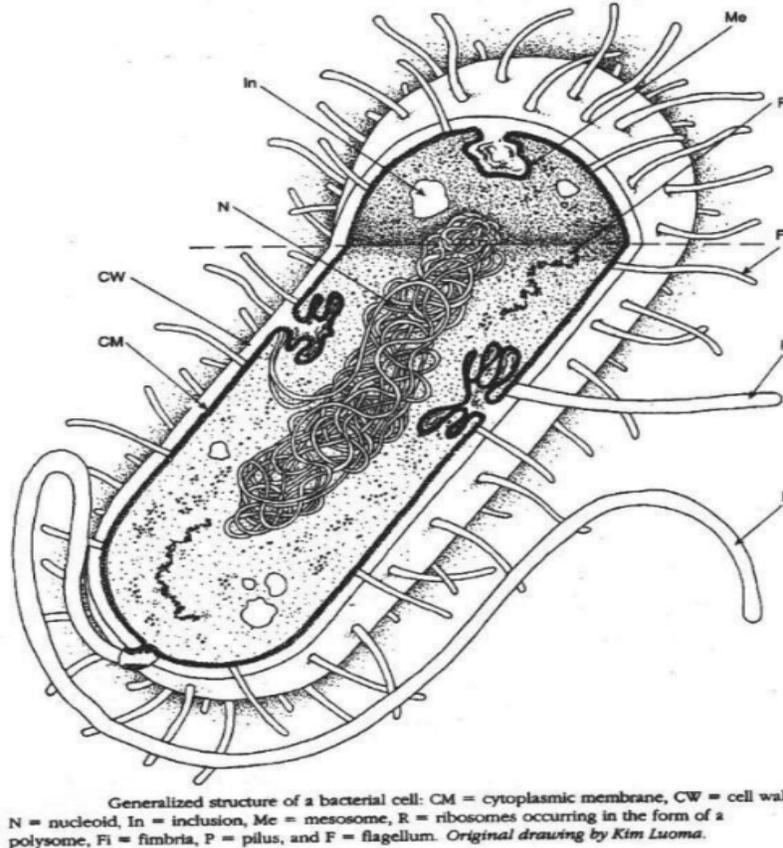


Fig. 3.1: Estrutura de uma bactéria.

As bactérias do solo, são na maioria heterotróficas, embora em algumas condições, haja predominância de bactérias autotróficas.

Estima-se que existam no solo cerca de 800 espécies de bactérias, sendo a maioria pertencentes a ordem Eubacteriales, que vivem nos horizontes superficiais do solo. A utilização exclusiva de características morfológicas não é suficiente para a classificação de bactérias. O uso de técnicas de coloração diferenciais, utilização de testes bioquímicos, utilização de técnicas sorológicas, homologia na composição das bases de DNA, bem como da taxonomia numérica, fornecem dados suficientes para a classificação em gênero e espécie conforme descrito no "Manual de Bacteriologia Sistemática de Bergey".

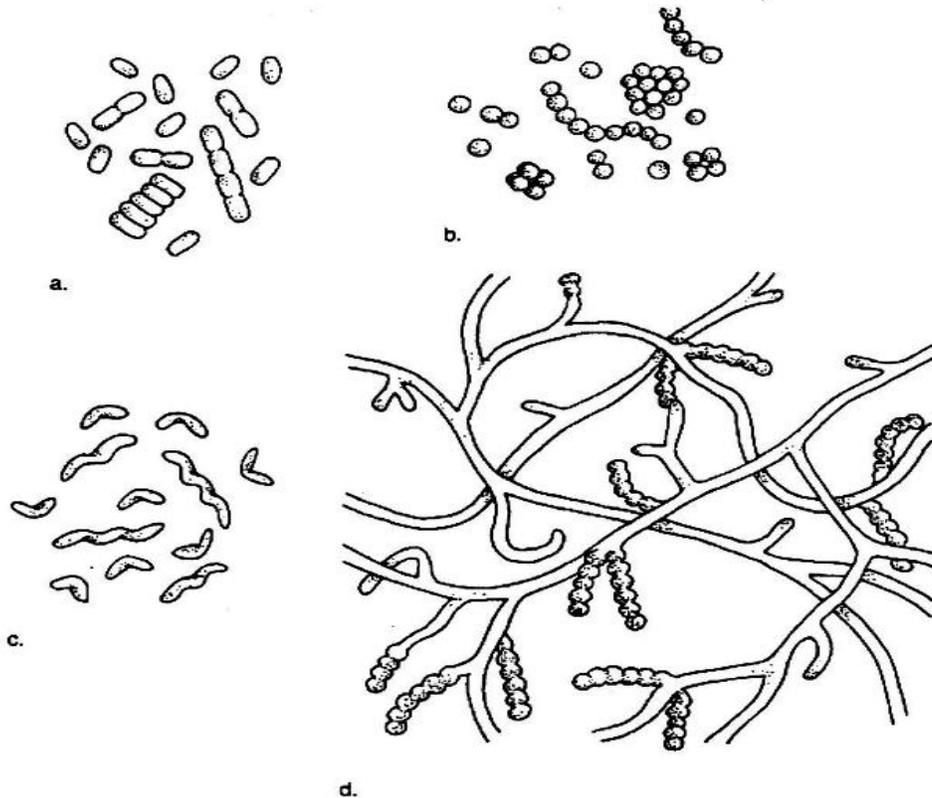
As células individuais podem apresentar-se, basicamente, de três formas (Fig. 3.2):

1. Esféricas ou elípticas (cocos)
2. Cilíndricas ou bastonetes
3. Espiraladas ou helicoidais

Os cocos podem formar agregados multicelulares:

Diplococos

Estreptococos



Common shapes and grouping of soil bacteria: (a) rods, occurring as single cells, in chains (streptobacilli), and palisade arrangement; (b) cocci, occurring as single cells and in chains (streptococci), irregular clusters (staphylococci), and tetrads; (c) spirilla; and (d) *Streptomyces*, an actinomycete, with chains of spores. Original drawing by Kim Luoma.

Fig. 3.2: Formas das bactérias no solo.

Algumas bactérias não apresentam motilidade, enquanto que outras são móveis devido aos flagelos que podem estar em número de um ou mais, na extremidade das células (polar) ou distribuídas ao redor da mesma (peritríqueo).

As bactérias melhor representadas no solo são:

Espécies do gênero :

1. *Pseudomonas*
2. *Bacillus*
3. *Arthrobacter*
4. *Achromobacter*
5. *Xanthomonas*
6. *Micrococcus*.

Outros gêneros poucos representativos, mas de grande importância, incluem membros do gênero:

1. *Nitrosomonas*
2. *Nitrobacter*
3. *Thiobacillus*
4. *Methanobacillus*
5. *Ferrobacillus*

Que são responsáveis por processos bioquímicos de grande interesse para o sistema solo-planta (transformações de nutrientes minerais no solo).

- Além desses, representantes dos gêneros *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* e *Azorhizobium*, que são fixadores de nitrogênio em simbiose com leguminosas e não leguminosas do gênero *Parosponia*.

- Bactérias do gênero *Azospirillum* que fixam nitrogênio em associação com gramíneas.
- *Beijerinckia*, *Azobacter*, *Derxia*, que são fixadores de vida livre no solo.

A presença das bactérias no solo se faz sentir em processos no solo:

1. Decomposição da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes.
2. Transformações bioquímicas específicas (nitrificação/denitrificação, oxidação e redução do S e elementos metálicos)
3. Fixação biológica do N₂ atmosférico
4. Ação antagônica aos patógenos
5. Produção de substâncias de crescimento
6. Solubilização de minerais.

B) Actinomicetos

Representam um grupo bastante heterogêneo com características de fungos e bactérias. Morfologicamente se assemelham aos fungos por possuírem micélio e produzem esporos assexuais (Conídios) e às bactérias Gram negativas, por possuírem núcleo primitivo (procariótico), provocarem turvação em meio líquido, sensibilidade a vírus e produção de antibióticos.

No solo os actinomicetos se apresentam em forma filamentosa com hifas finas (0.5 - 1.2 μm) , e sua presença no solo é detectada pela produção de substâncias voláteis com cheiro rançoso característico, que emanam de solos recém arados e são denominadas "geosmin".

O gênero *Sheptomyces* é o mais representativo (70 - 90 % dos actinomicetos do solo), seguidos pelos gêneros *Nocardia*, *Actinomyces*, *Micromonospora* e *Frankia*

A maioria dos actinomicetos do solo são aeróbicos e heterotróficos, e embora representem uma pequena proporção da microbiota do solo (cerca de 0.01 % peso solo), desempenham papéis importantes na decomposição de material não decomposto por fungos e bactérias como:

1. Fenóis
2. Quitina

3. Húmus

4. Parafinas

Os actinomicetos são capazes de decompor matéria orgânica em temperaturas mais altas, como na adubação verde, compostagem e esterqueiras, e de degradarem celulose e proteínas com pequena imobilização de nitrogênio.

Produzem antibióticos, e assim controlam o equilíbrio microbiológico do solo.

Há indicações que cerca de 75 % dos representantes do gênero *Sheptomycetes* produzem antibióticos, o que os torna importantes agentes de controle biológico de fungos e bactérias tipo patogênicas. Além disto, representantes do gênero *Frankia* formam nódulos e fixam nitrogênio em simbose com plantas do gênero *Alnus*, *Casuarina* e *Myrica*.

C) Fungos

Os fungos são organismos eucarióticos, aclorofilados, podem ser unicelulares como as leveduras, ou pluricelulares, ditos fungos filamentosos. Os fungos possuem formações denominadas hifas (estruturas somáticas ou vegetativa), que são estruturas tubulares com um diâmetro que varia de 3 - 10 μm , cujo conjunto é denominado micélio. As hifas apresentam parede celular rígida, constituída principalmente por quitina, podendo também apresentar celulose. As hifas podem ou não, serem septadas que é um resultado de invaginações da parede celular, que porém não individualizam a célula, permitindo que o citoplasma e os núcleos possam migrar de um compartimento para outro, sendo por isso denominadas *cenocíticas*.

Todos os fungos são aclorofilados, obtendo o carbono para síntese celular através da matéria orgânica pré-formada.

Os fungos apresentam mecanismos de reprodução que permitem uma alternância entre fase sexuada e assexuada dependendo das condições ambientais. A sua reprodução é realizada através da formação de esporos sexuados e assexuados gerados em vários tipos de esporóforos.

Os fungos embora não sejam os microrganismos em maior abundância no solo (10^3 - 10^6 / g solo) representam de 70 - 80 % da biomassa microbiana do solo.

Os fungos são predominantes em solos ácidos, ricos em matéria orgânica e de umidade próxima a capacidade de campo. Em geral, os fungos são aeróbicos, porém apresentam resistência a altas pressões de CO_2 , podendo se desenvolver em regiões mais profundas do solo.

A classificação taxonômica dos fungos toma por base as características dos esporos sexuais ou assexuais (Fig. 3.3) formados durante o ciclo de vida.

No solo podemos encontrar os fungos mais simples (mucilaginosos) que apresentam sua estrutura somática desprovida de parede celular e são pertencentes a divisão Mixomycota . Os fungos verdadeiros são aqueles que apresentam parede celular em todas as suas estruturas e pertencem a divisão Eumycota.

Os fungos mais representativos do solo são espécies dos gêneros.

1. *Aspergillus*
2. *Penicillium*
3. *Rhizoctonia*
4. *Humicola*
5. *Alternaria*
6. *Phytium*
7. *Fusarium*
8. *Rhizopus*

Sexual and asexual reproductive structures produced by true fungi in four phyla of the Kingdom Fungi and funguslike organisms in the phylum Oomycota of the Kingdom Stramenopila.

Phylum	Sexual phase (Teleomorph)	Asexual phase (Anamorph)
Chytridiomycota	Resting chytrid cells	Zoospores (from chytrid cells)
Zygomycota	Zygosporangia (solitary resting spores)	Chlamydospores (from hyphae), sporangiospores (in sporangia)
Ascomycota	Ascospores (in fruiting bodies)	Conidia (on individual hyphae, aggregates of hyphae, or in fruiting bodies)
Basidiomycota	Basidiospores (on individual hyphae or in fruiting bodies)	Conidia, other specialized asexual spores in complex life cycles
Oomycota	Oospores (solitary resting spores)	Sporangia, zoospores (from sporangia)

Fig. 3.3: fases reprodutivas de fungos do filo oomicota.

A principal função dos fungos resulta de sua atividade heterotrófica sobre, os restos vegetais depositados no solo, e a formação de relações simbióticas mutualista denominadas micorrízicas, e parasíticas com as raízes da maioria das plantas. São ainda importantes agentes de controle biológicos de outros fungos e nematóides

D) Algas

As algas representam um grupo de organismo no solo bastante heterogêneo tanto do ponto de vista morfológico como fisiológico. Elas podem ser eucarióticas (algas verdadeiras ou multicelulares) e procarióticas, que são unicelulares e representadas na sua maioria por cianobactérias (algas verde-azuladas também classificadas como bactérias) (Fig. 3.4).

São os principais microrganismos fotossintetizantes que vivem no solo, predominando em solos com luminosidade e umidade elevadas e com baixa acidez.

As algas são consideradas organismos incorporadores de matéria orgânica ao solos pois convertem H_2O + nutriente + luz , em biomassa.

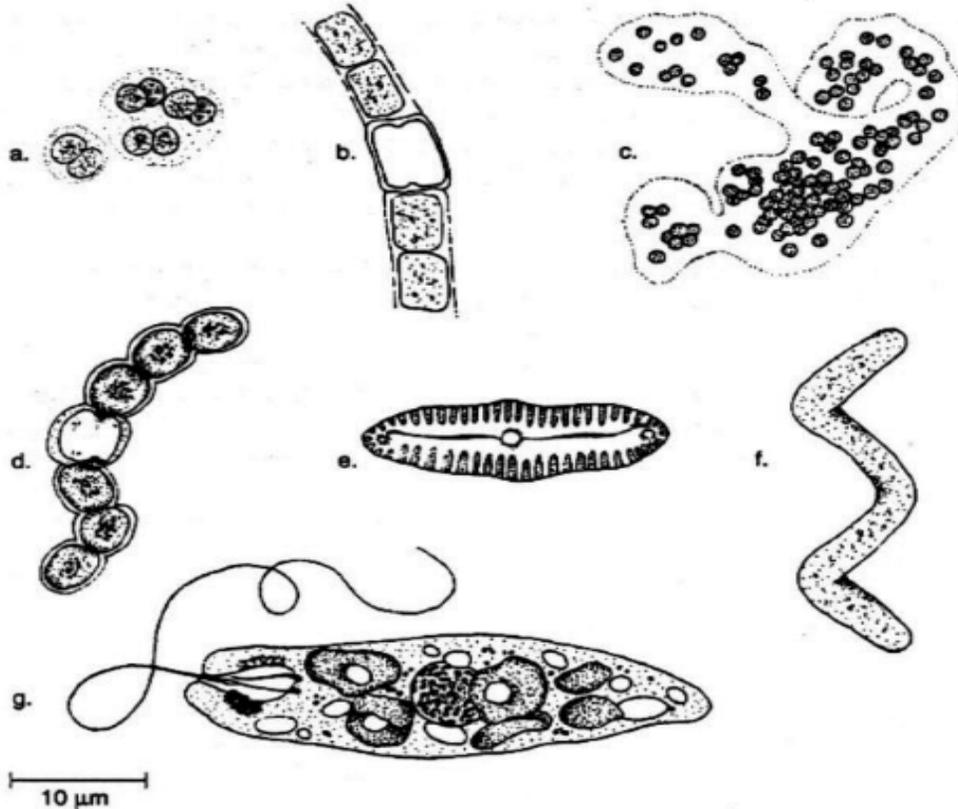
Outro fator importante relacionado com sua capacidade fotoautotrófica é que eles são considerados produtores primários e, nesta condição, conseguem colonizar ambientes em processo de formação ou regeneração. Muitos destes microrganismos conseguem secretar substâncias que participam na ruptura de rochas e agregamento de partículas do solo.

A classificação das algas é baseada nos diversos tipos de pigmentos fotossintéticos, produtos de armazenamento, bem como na morfologia celular. Os principais tipos no solo são representados pelas divisões:

1. Chlorophyta = Algas verdes
2. Chrysophyta = diatomáceas e algas verdes-amareladas
3. Euglenophyta = euglenóides - unicelulares móveis
4. Rhodophyta = Algas avermelhadas.

As algas também fixam N_2 atmosférico, em simbiose com plantas ou em vida livre.

Várias espécies de algas associam-se com fungos (Ascomycota), formando talos estáveis denominados líquens.



Some representative soil cyanobacteria (a–d and f) and eukaryotic algae (e and g). (a) *Gleocapsa*, (b) *Anabaena*, (c) *Microcystis*, (d) *Nostoc*, (e) *Pinnularia*, (f) *Spirulina*, (g) *Euglena*. Original drawing by Kim Luoma.

Fig. 3.4: Alguns tipos de cianobacterias.

E) Microfauna

A microfauna do solo é composta por animais com diâmetro inferior a 0.16 mm, principalmente representados pelos:

1. Nematóides
2. Protozários
3. Rotíferos

1. *Nematóides* : que constituem o grupo mais abundante na maioria dos solos agrícolas, são verme filiformes microscópicos que vivem no solo como saprófitas, parasitas (de plantas e animais) ou predadores.

Os nematóides saprófitos são importantes agentes decompositores da matéria orgânica do solo.

2. *Protozoários* : constituem a forma mais simples da vida animal, ocorrem no solo como saprozóicos (que vivem às custas de restos orgânicos depositados no solo) e com maior frequência como holozóicos (que ingerem células bacterianas vivas, predadores), sendo algumas espécies fotossintetizantes.

Das cinco classes apenas duas ocorrem no solo:

1. Mastigófora - que se locomove por flagelos
2. Sarcodina - que se locomove por cílios (amebas e ciliada).
3. *Rotíferos* : são organismos de forma retrátil que ocorrem em regiões alagadiças.

A importância da microfauna resulta de sua ação decompositora da matéria orgânica no solo, no equilíbrio microbiológico através da predação e por atuarem como patógenos de plantas e animais.

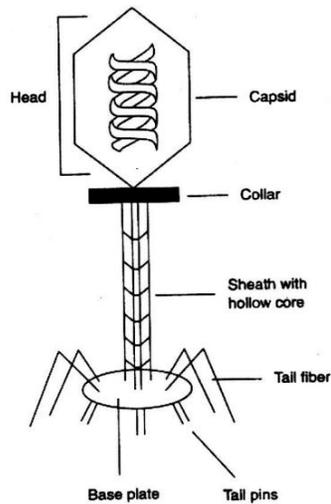
G) Vírus

São partículas infecciosas submicroscópicas, constituídas de uma molécula de ácido nucléico (DNA ou RNA), circundado por uma capa proteica o capsídeo (subunidade proteica - o capsômeros que são responsáveis pela especificidade viral) (Fig. 3.5).

Os vírus requer a presença de uma célula hospedeira viva, para que ocorra sua multiplicação através das informações genéticas fornecedoras pelo seu ácido nucléico.

A habilidade do vírus interagir com o material genético do hospedeiro faz com seu controle seja difícil. Mas esta é uma razão pela qual o vírus é muito útil em engenharia genética, pois eles servem como agentes de transferência genética entre uma variedade de células.

Os vírus são microrganismo promissores para uso em controle biológico de ervas daninhas e insetos.



Simple illustration of a tailed bacteriophage. These bacteriophages are sometimes described as "lunar landers" because they resemble the lunar landers from the U.S. Apollo space missions of the late 1960s and early 1970s. *Drawing by David Zuberer.*

Fig. 3.5: bacteriófago