

BIORREMEDIAÇÃO : FUNDAMENTOS

**MICROORGANISMOS E DEGRADAÇÃO
DE PRODUTOS POLUENTES NO SOLO**

- **POLUIÇÃO DO SOLO**

- Solo: local de acúmulo de poluentes resultantes da atividade humana
- Poluição do solo: pode implicar em poluição do lençol freático
- Produtos poluentes: têm origem na atividade industrial e agronômica
- Problema: encontrar soluções para despoluir o sistema solo



- **POLUIÇÃO DO SOLO**

- **Uma alternativa: degradação dos poluentes por microrganismos**

- **Ciência busca investigar:**

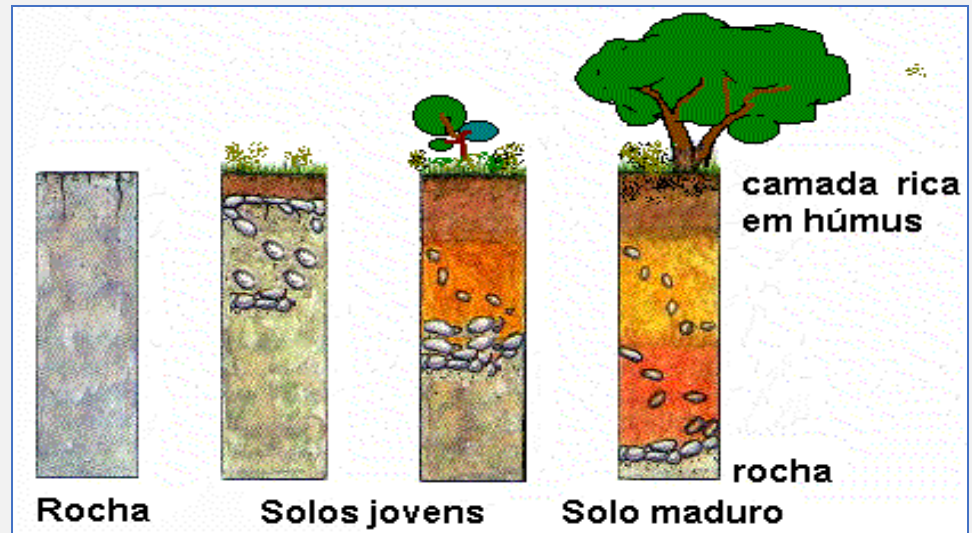
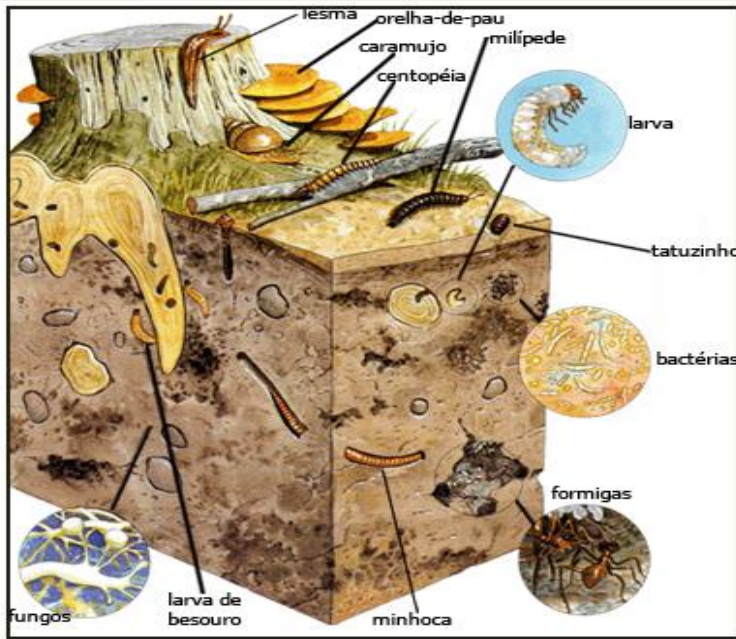
- . **viabilidade de poluentes serem decompostos por microrganismos**
- . **tempo necessário para degradação de poluentes**
- . **efeito do produto sobre a microbiota do solo: duradouro/efêmero**
- . **influência deste produto na saúde humana via cadeia alimentar**

O SOLO



COMPONENTES DO SISTEMA SOLO

Componentes físicos e Componentes vivos



INTEMPERIZAÇÃO

**Intemperização é responsável:
transformação de rocha em solo**

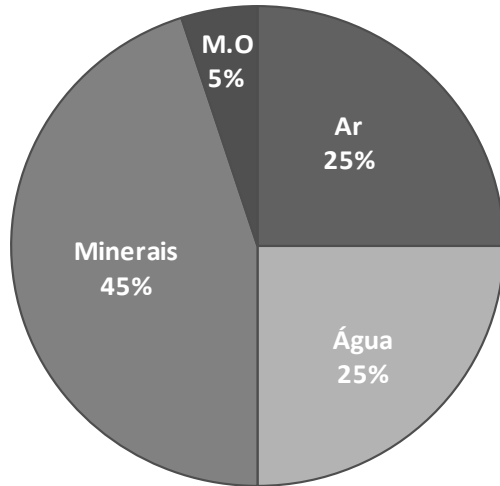
COMPONENTES DO SISTEMA SOLO

. COMPONENTES FÍSICOS:

- material mineral (argila, silte e areia . .)
- porosidade (preenchida por ar ou água)
- matéria orgânica (derivada da decomposição de plantas e animais)

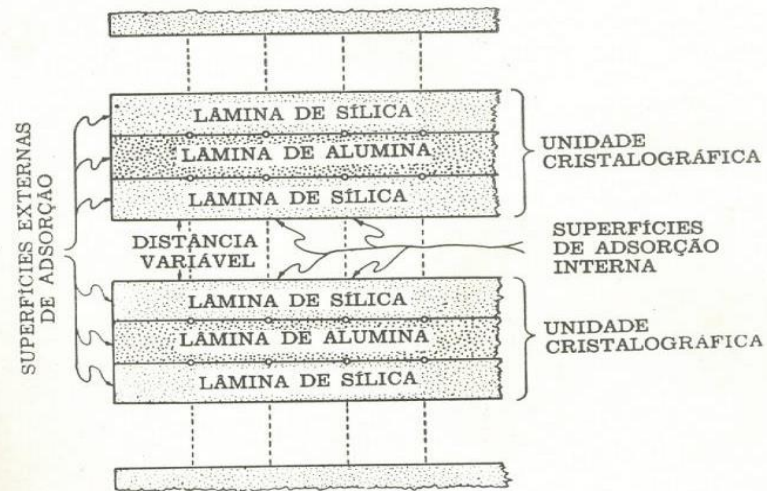


COMPONENTES FÍSICOS DO SISTEMA SOLO



Colóides do Solo

99



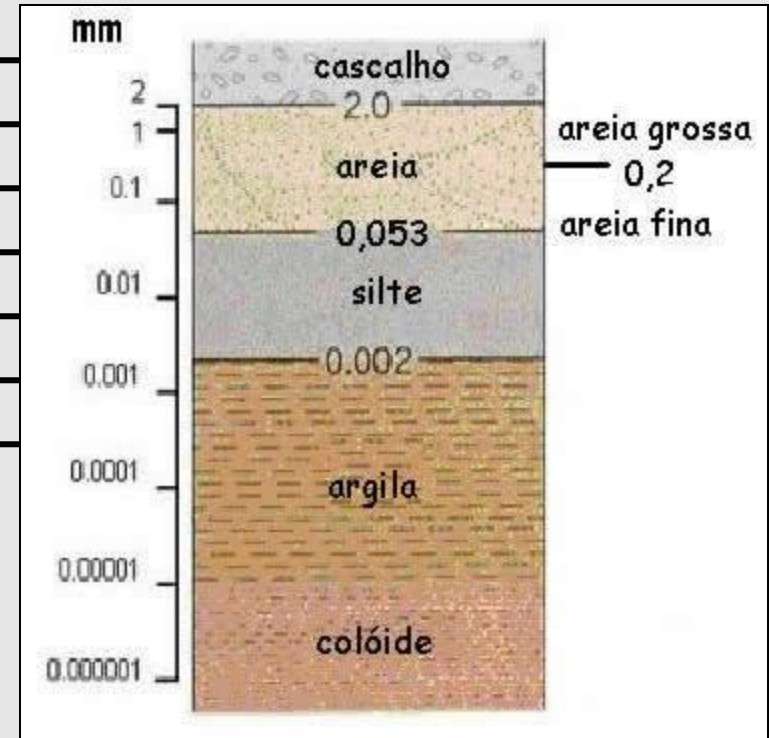
Cristal de argila (montmorilonita)

Quatro classes de partículas inorgânicas constituintes do solo

Fração	Nome	Dimensão
Muito grossa	Pedra e cascalho	Macroscópica
Grossa	Areias	Macroscópica
Fina	Silte	Microscópica
Muito Fina	Argilas	Microscópica

Escala de classificação granulométrica dos fragmentos componentes do solo

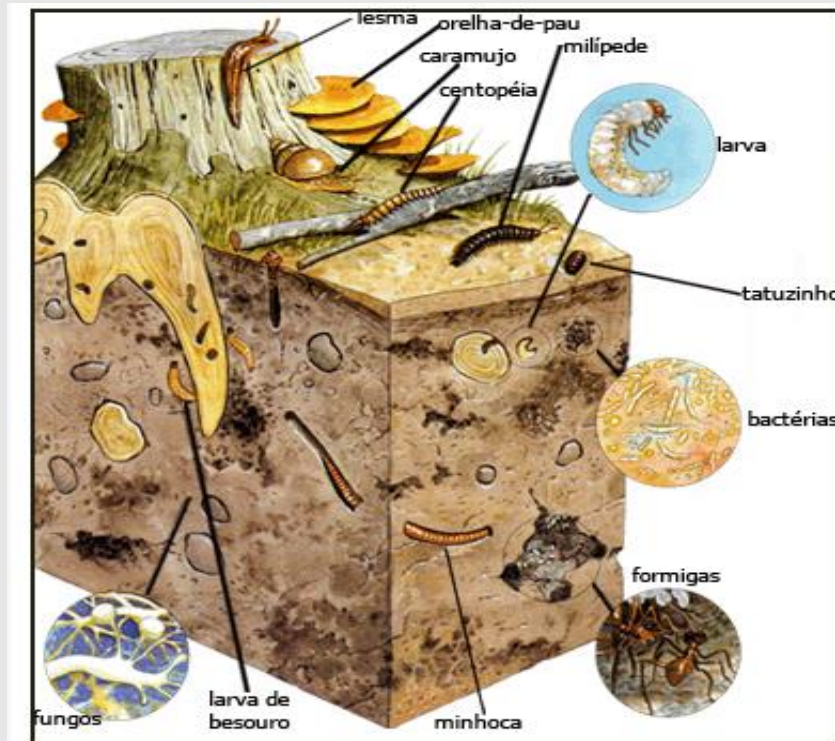
<u>argila</u>	$<4\ \mu\text{m}$
<u>silte</u>	$>4\ \mu\text{m} < 64\ \mu\text{m}$
<u>areia</u>	$>64\ \mu\text{m} < 2\text{mm}$
<u>grânulo</u>	$>2\text{mm} - < 4\text{mm}$
<u>seixo</u>	$>4\text{mm} - < 64\text{mm}$
<u>calhau</u>	$>64\text{mm} - < 256\text{mm}$
<u>matacão</u>	$>256\text{mm}$



COMPONENTES VIVOS DO SISTEMA SOLO

. COMPONENTES VIVOS

- populações de organismos macroscópicos
- populações de microrganismos



MICROORGANISMOS

- . Em ecologia, o termo *microbiota* expressa o conjunto dos microrganismos que vive em um determinado ecossistema
- . Microbiota: composta por fungos, bactérias, protozoários, algas
- . Populações microbianas: ativas nos processos de reciclagem
- . Microrganismos decompositores: destaque para fungos e bactérias



População microbiana do solo

Conhecer a magnitude e a diversidade da população microbiana é essencial para avaliar a microbiota do solo

Organismo	Nº estimado/g de solo
Bactérias	3.000.000 a 500.000.000
Actinomicetos	1.000.000 a 20.000.000
Fungos	5.000 a 900.000
Leveduras	1.000 a 100.000
Algas	1.000 a 500.000
Protozoários	1.000 a 500.000
Nematóides	50 a 200

Estimativa: 1ha (camada 15 cm) contém 0,5 – 4 toneladas de microrganismos

BIORREMEDIAÇÃO



BIORREMEDIAÇÃO

- Processo de degradação de produtos tóxicos ao ambiente realizado por microrganismos

- Os produtos tóxicos são **mineralizados** e integrados aos ciclos biogeoquímicos naturais

- **Mineralização**: resulta em CO_2 , água e elementos minerais

Produtos poluentes do solo

Natureza agrícola:

Herbidas
Insetidas
Fungidas

Natureza Industrial:

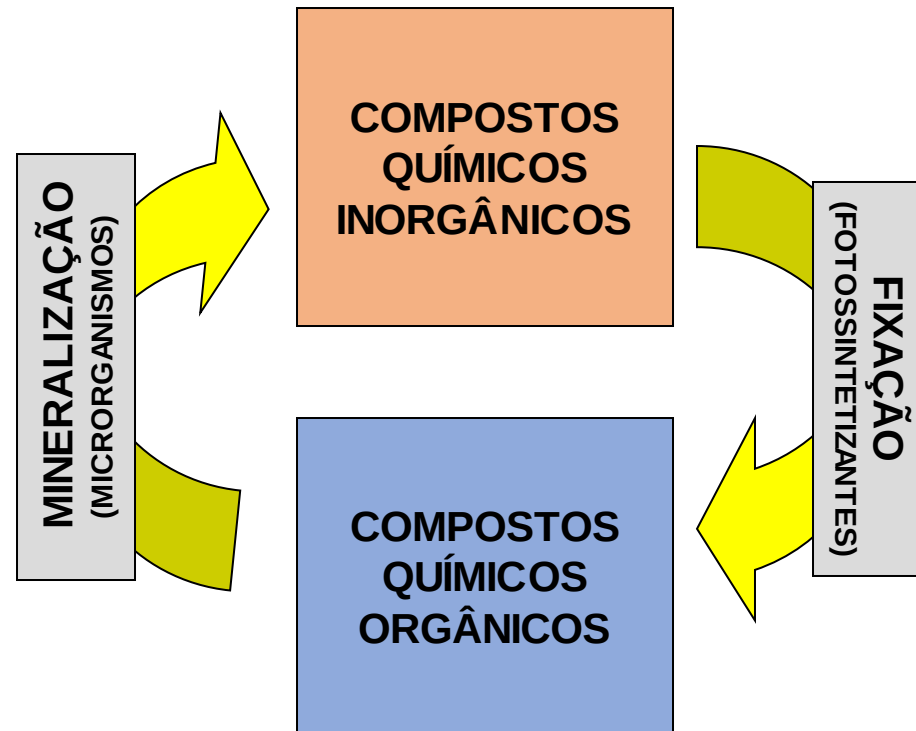
Resíduos químicos

DEGRADAÇÃO X MICRORGANISMOS

Reação Geral: **FIXAÇÃO**



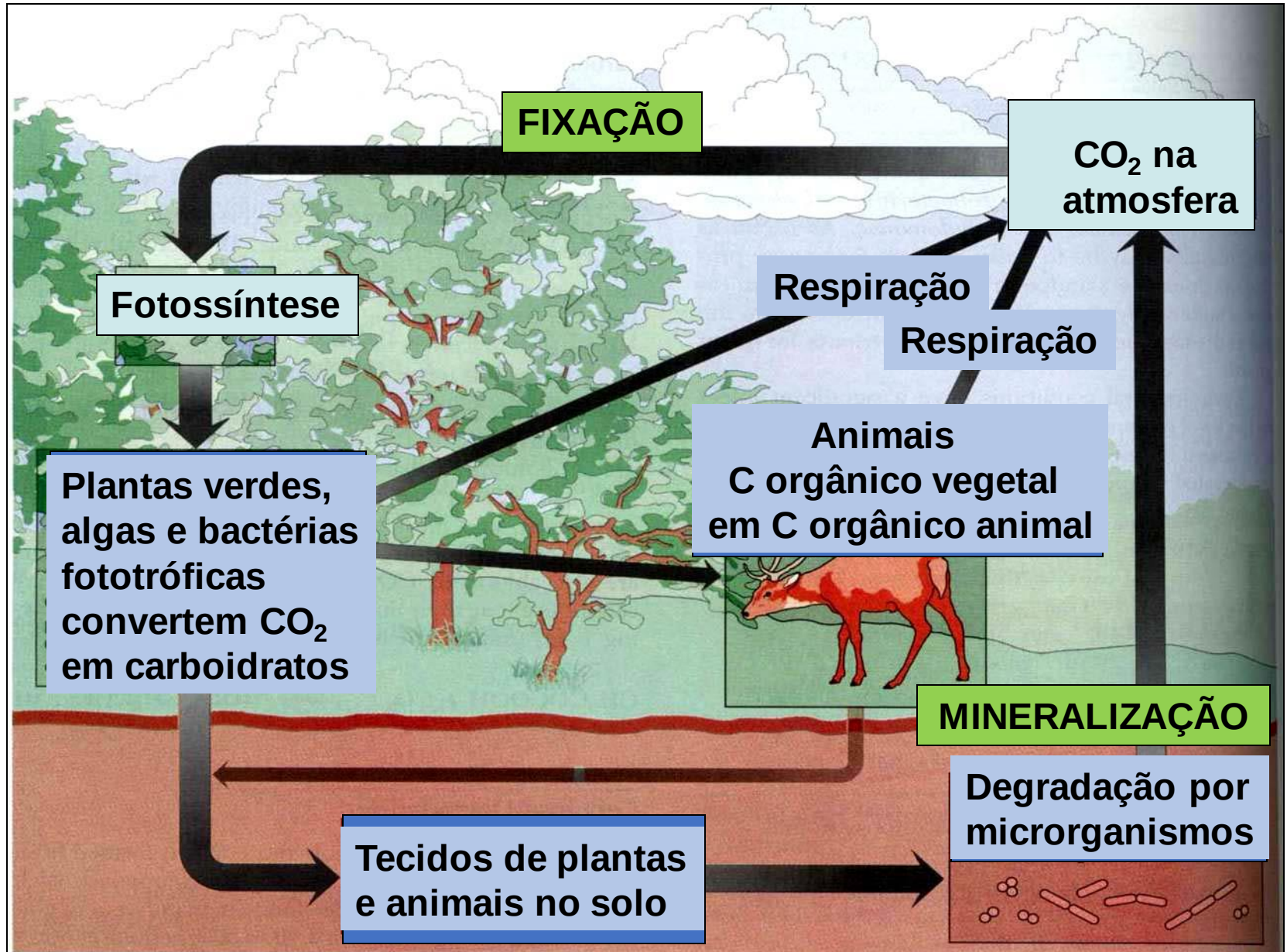
Reação Geral: **MINERALIZAÇÃO**



“Na natureza nada se perde, nada se cria; tudo se transforma”

Lavoisier (1743-1794)

CICLO DO CARBONO



BIORREMEDIAÇÃO

- Objetivo

- . explorar a diversidade de microrganismos quanto à capacidade de degradar produtos poluentes ao ambiente

- Formas de aplicação da biorremediação

- . introdução de microrganismos no local contaminado
- . estímulo aos microrganismos nativos existentes no solo poluído

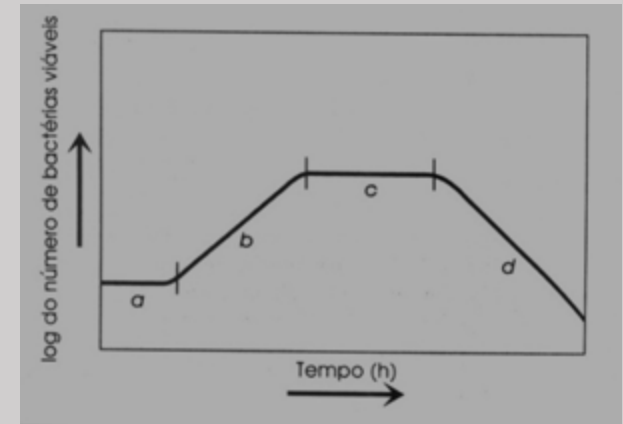
- Avaliação do processo

- . se há degradação produto // há aumento população de UM ou de VÁRIOS tipos de microrganismos presentes no solo

RELAÇÃO ENTRE POPULAÇÃO MICROBIANA E DEGRADAÇÃO DO PRODUTO TÓXICO

COMPORTAMENTO DA POPULAÇÃO

- . fase adaptação p/ início atividade
- . fase multiplicação rápida população microbiana
- . fase estabilização da população no ambiente
- . fase declínio população e integração à microflora natural



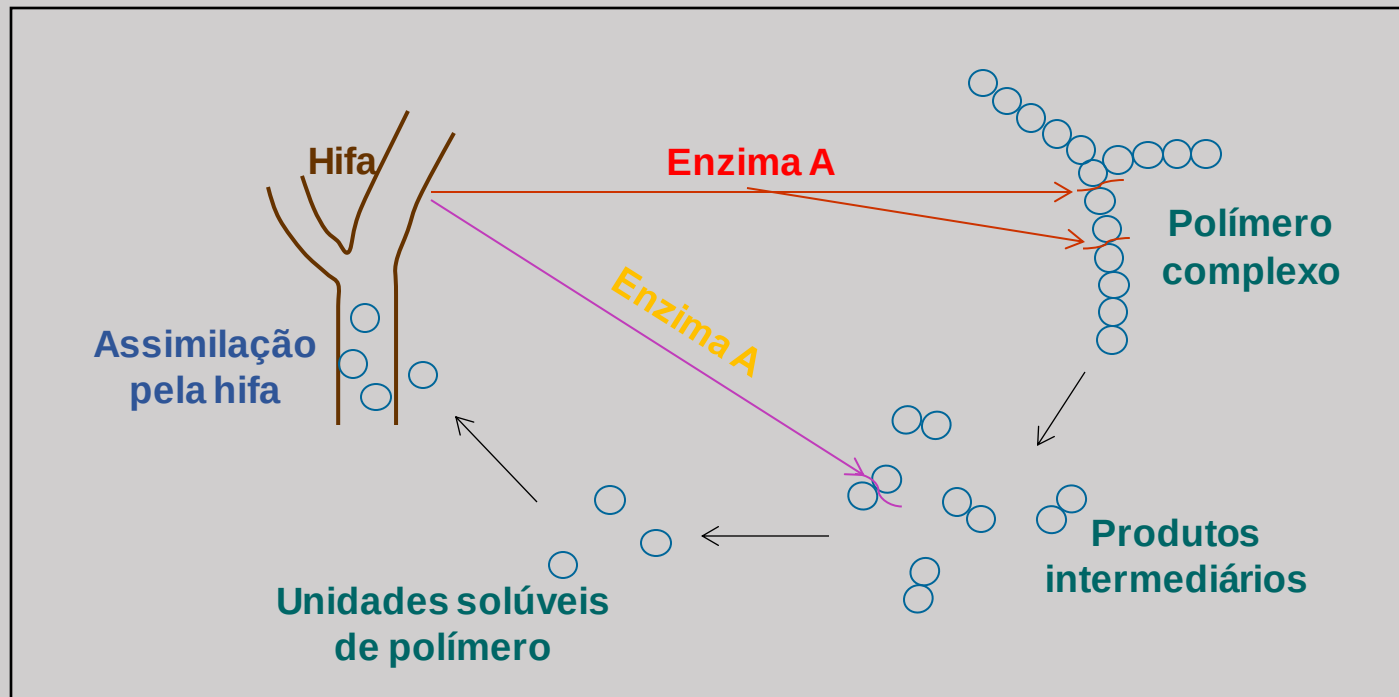
Curva crescimento população microbiana

ETAPAS DA DEGRADAÇÃO DO PRODUTO (substrato)

- . Inicialmente a quantidade do produto permanece inalterada no ambiente
- . A quantidade produto baixa forma acelerada
- . A quantidade do produto continua caindo, forma mais lenta
- . A sobra do resíduo é degradada lentamente

PROCESSO DE DEGRADAÇÃO DE PRODUTO POLUENTE

- Resulta em compostos secundários e/ou mineralização
- Agentes microbianos atuam no processo de forma individual ou conjunta
- Mecanismos usados envolvem o arsenal enzimático microbiano
- Metabolização dos compostos poluentes via produção enzimas



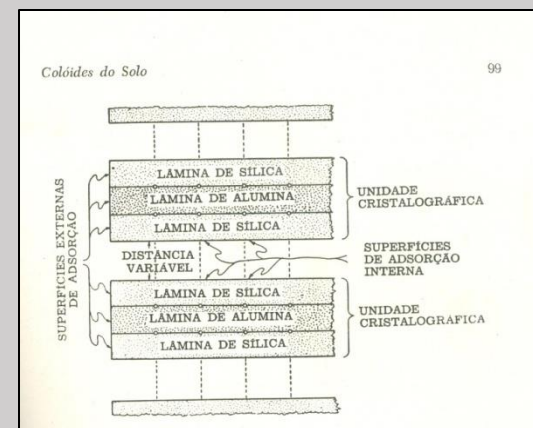
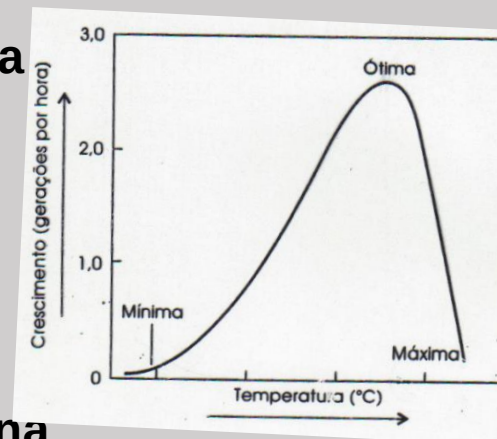
E
X
O
E
N
Z
I
M
A
S

FATORES DIVERSOS QUE AFETAM A DEGRADAÇÃO

- **eficiência da espécie microbiana (depende da seleção/adaptação)**
- **natureza química do produto (tipo de molécula)**
- **concentração do produto no ambiente**
- **disponibilidade de nutrientes para o microrganismo (carbono / nitrogênio / fósforo)**
- **presença frequente do mesmo produto no ambiente**
- **fatores climáticos e do solo (favoráveis/desfavoráveis ao microrganismo e proceso de degradação)**

FATORES CLIMÁTICOS E DO SOLO x DEGRADAÇÃO

- aumento de temperatura, aumenta atividade microbiana (aumenta a velocidade de reações metabólicas)
- maior aeração, maior atividade microbiana (maioria da população microbiana é aeróbica)
- teor elevado de umidade favorece população microbiana (água é vital para metabolismo e solubilização nutrientes e do produto a ser degradado)
- pH : relação atividade microbiana em função tipo de população (fungos favorecidos ambientes leve/e ácidos / bactérias em pH neutro ou ligeira/e alcalino)
- maior teor de matéria orgânica, maior atividade microbiana (maior disponibilidade de nutrientes)
- textura do solo: presença de argilas retém produto (desfavorece disponibilidade substrato para o microrganismo)



PROCEDIMENTOS PARA APLICAÇÃO DA BIORREMEDIAÇÃO

ESCOLHA DO MICRORGANISMO

- . **Disponibilidade do microrganismo**
 - previamente conhecido
 - selecionado na presença do produto alvo
 - produzido em larga escala

ESTRATÉGIAS DE APLICAÇÃO

- . **Introdução do microrganismo no solo**
- . **Estímulo à população específica introduzida no solo, por meio da disponibilidade de:**
 - nutrientes
 - matéria orgânica
 - aeração

•PROBLEMAS COM A INTRODUÇÃO DE MICRORGANISMOS NO SOLO

competição por nutrientes

antibiose e predação

ocorrência de fontes preferenciais de carbono

baixa disponibilidade/concentração do produto

prevalência de fatores ambientais e edáficos desfavoráveis

. temperatura

. umidade

. aeração

. pH

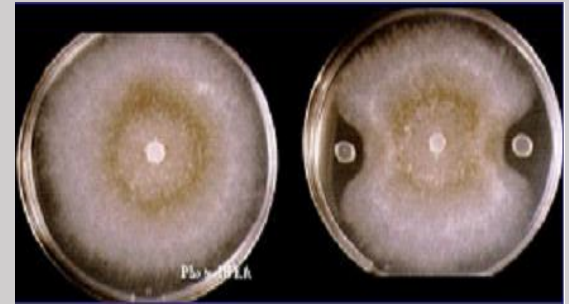
. textura solo

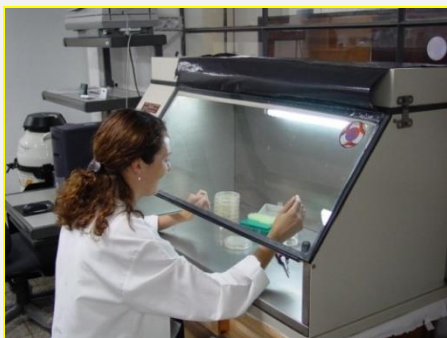
. matéria orgânica

microrganismos e biorremediação

. **fungos:** *Aspergillus*, *Rhizopus*, *Fusarium*, *Rhizoctonia*

. **bactérias:** *Bacillus*, *Rhodococcus*, *Pseudomonas*, *Nocardia*





Seleção de espécies para degradação de produtos

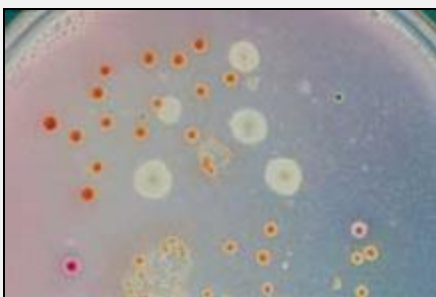
Testes do poder de degradação:

**Solo contaminado em
grandes recipientes**

**Adição de microrganismos
selecionados**

**Monitoramento do nível do
poluente ao longo do
tempo (degradação)**

**Escolha dos melhores
microrganismos**





PRODUTO x DEGRADAÇÃO

- **Excesso de produto:**

- . efeito adverso na microbiota
- . desforece a decomposição matéria orgânica
- . retarda a ciclagem de elementos

- **Presença de produto em nível adequado**

- . efeito favorável na microbiota por disponibilizar nutrientes (C/N/P/K)

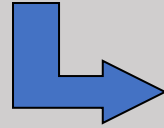
- **Persistência do produto depende:**

- . degradação química, fotoquímica, biológica
- . remoção por volatilização e escoamento superficial
- . quantidade do produto aplicado
- . complexidade da estrutura química do produto
- . similaridade da molécula do produto com moléculas naturais
- . polaridade da molécula que determina sua solubilidade em água
- . afinidade da molécula com fração argila do solo (retenção)
- . diversidade e quantidade de populações microbianas aptas à degradação



Seleção de espécies para degradação produtos poluentes

É mais qualitativa que quantitativa



Revela microrganismos específicos

