



# UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO



## ECOLOGIA APLICADA À ENGENHARIA

Prof. Alena Torres Netto  
Email: [alenanetto@eng.uerj.br](mailto:alenanetto@eng.uerj.br)





# RESTAURAÇÃO DE ECOSSISTEMAS

- A restauração de ecossistemas significa ajudar na recuperação de ecossistemas que foram degradados ou destruídos, bem como conservar os ecossistemas que ainda estão intactos.
- Todos os tipos de ecossistemas podem ser restaurados, incluindo florestas, terras agrícolas, cidades, áreas úmidas e oceanos.
- As iniciativas de restauração podem ser lançadas por qualquer pessoa, desde governos e agências de desenvolvimento até empresas, comunidades e indivíduos. Isso porque as causas de degradação são muitas e variadas e podem ter um impacto em diferentes escalas.
- Entre agora e 2030, a restauração de 350 milhões de hectares de ecossistemas terrestres e aquáticos degradados poderá gerar US\$9 trilhões em serviços ecossistêmicos.



- A restauração também poderia remover entre 13 e 26 gigatoneladas de gases de efeito estufa da atmosfera. Os benefícios econômicos de tais intervenções excedem nove vezes o custo do investimento, enquanto a inação é pelo menos três vezes mais cara do que a restauração dos ecossistemas.
- A restauração de ecossistemas grandes e pequenos protege e melhora a qualidade de vida das pessoas que dependem deles. Também ajuda a regular doenças e a reduzir o risco de desastres naturais.
- A restauração pode nos ajudar a atingir todas os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.
- Para chegar lá precisamos passar por conceitos importantes



# CONCEITOS



## QUALIDADE AMBIENTAL

- É uma medida da condição de um ambiente relativa aos requisitos de uma ou mais espécies e/ou de qualquer necessidade ou objetivo humano
- Deve ser descrita com a ajuda de indicadores objetivos e apreendida no plano da sua percepção pelos diferentes atores sociais



# CONCEITOS

## IMPACTO AMBIENTAL

Artigo 1º da Resolução n.º 001/86 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas, biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que afetem diretamente ou indiretamente:

- ❖ A saúde, a segurança, e o bem estar da população;
- ❖ As atividades sociais e econômicas;
- ❖ A biota;
- ❖ As condições estéticas e sanitárias ambientais;
- ❖ A qualidade dos recursos ambientais"



# CONCEITOS

## PASSIVO AMBIENTAL

Representa os benefícios econômicos que serão renunciados em função da preservação, recuperação e proteção do meio ambiente.

*"É o acúmulo de danos ambientais que devem ser reparados para que seja restaurada a qualidade ambiental de um área degradada".*

✓ Toma forma com o encerramento da prática exploratória, que pode se dar:

- em decorrência da exaustão da atividade;
- da inviabilidade econômica da exploração;
- por efeito de intervenção do poder
- Afeta diretamente a qualidade de vida da população em consequência da deterioração ambiental.



# CONCEITOS

## DEGRADAÇÃO AMBIENTAL

Conjunto de processos resultantes de danos no meio ambiente, pelos quais se perdem ou se reduzem algumas de suas propriedades, tais como, a qualidade ou capacidade produtiva dos recursos ambientais" (Decreto Federal 97.632/89).





# CONCEITOS

## DEGRADAÇÃO AMBIENTAL

- ✓ Áreas degradadas são geradas por intervenções significativas nos processos do meio físico
- ✓ Degradação ambiental = impacto ambiental negativo







# CONCEITOS

## DEGRADAÇÃO AMBIENTAL

### Causas:

- ✓ Naturais
- ✓ Antrópicas
  - Mineração
  - Resíduos sólidos
  - Agropecuária
  - Urbanização
  - Entre outros





# CONCEITOS



## RESTAURAÇÃO

- ✓ Reprodução das condições exatas do local, tais como eram antes de serem alteradas pela intervenção

## REABILITAÇÃO

- ✓ Local alterado destinado a uma dada forma de uso de solo, de acordo com projeto prévio e em condições compatíveis com a ocupação circunvizinha, ou seja, trata-se de reaproveitar a área para outra finalidade.





# CONCEITOS

## RECUPERAÇÃO AMBIENTAL

- ✓ Aplicação de técnicas de manejo visando tornar um ambiente degradado apto para um novo uso produtivo.
- ✓ **Resiliência** - capacidade de um sistema natural se recuperar de uma perturbação imposta por um agente externo - ação humana ou processo natural.

"O GRAU, MANEIRA E RITMO DE RESTAURAÇÃO DA ESTRUTURA E FUNÇÃO INICIAIS DE UM ECOSSISTEMA APÓS UMA PERTURBAÇÃO."

(Sánchez, 2013).



# Técnicas de Recuperação

- ✓ **Revegetação:** desde a fixação localizada de espécies vegetais (herbáceas ou arbóreas), até reflorestamentos extensivos;
- ✓ **Tecnologias Geotécnicas:** execução de obras de engenharia (com ou sem estruturas de contenção e retenção), incluindo as hidráulicas, que visam a estabilidade física do ambiente;
- ✓ **Remediação:** execução de métodos de tratamentos químicos ou biológicos destinados a eliminar, neutralizar, imobilizar, confinar ou transformar elementos ou substâncias contaminantes presentes, atingindo a estabilidade química do ambiente.



## Remediação

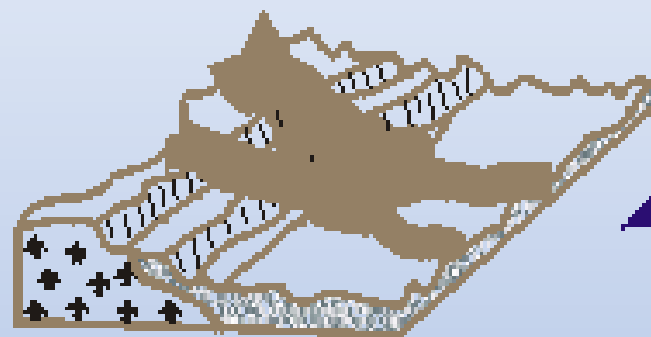
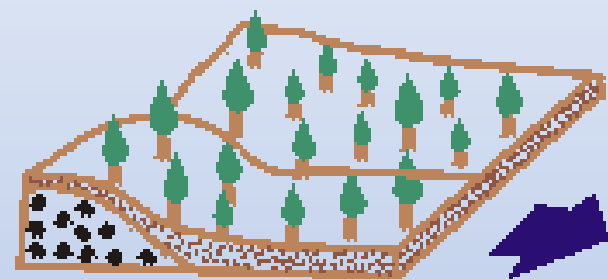
- ✓ Tem relação com áreas contaminadas
- ✓ Esse processo envolve a caracterização geomorfológica e hidrológica da área de interesse; o mapeamento da pluma de contaminação a fim de delimitar sua área de abrangência.

### Área contaminada

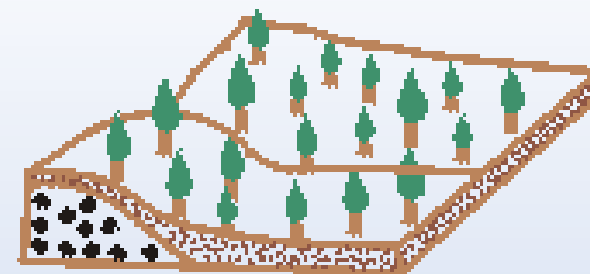
Uma área, local ou terreno onde há comprovadamente poluição ou contaminação causada pela introdução de quaisquer substâncias ou resíduos que nela tenham sido depositados, acumulados, armazenados, enterrados ou infiltrados de forma planejada, acidental ou até mesmo natural.

CETESB (Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas)





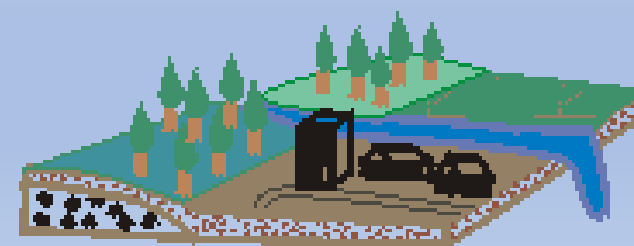
DEGRADAÇÃO



RESTAURAÇÃO



RECUPERAÇÃO



REABILITAÇÃO



## Plano de Recuperação de Áreas Degradadas - PRAD



- ✓ Plano de Recuperação de Áreas Degradadas - PRAD é requerido pelos órgãos ambientais como parte integrante do processo de licenciamento de atividades degradadoras ou modificadoras do meio ambiente como também, após o empreendimento ser punido administrativamente por causar degradação ambiental.
- ✓ Tecnicamente, o PRAD refere-se ao conjunto de medidas que propiciarão à área degradada condições de estabelecer um novo equilíbrio dinâmico, com solo apto para uso futuro e paisagem esteticamente harmoniosa.
- ✓ O PRAD deve reunir informações, diagnósticos, levantamentos e estudos que permitam a avaliação da degradação ou alteração e a consequente definição de medidas adequadas à recuperação da área



# Plano de Recuperação de Áreas Degradadas - PRAD



O IBAMA instituiu a Instrução Normativa nº 4 de abril de 2011, que dentre outras disposições, estabeleceu as principais diretrizes para elaboração do PRAD:

- ✓ Definição do objetivo do PRAD com a caracterização e avaliação completa das atividades desenvolvidas ou a serem desenvolvidas pelo empreendimento, assim como da degradação ambiental
- ✓ Definição e análise das alternativas tecnológicas de recuperação
- ✓ Definição e implementação das medidas de recuperação
- ✓ Proposições para monitoramento e manutenção das medidas corretivas implementadas



## Plano de Recuperação de Áreas Degradadas - PRAD



Instrução Normativa IBAMA nº 4/2011, foi atualizado em julho de 2024 pela Instrução Normativa nº 14/2024. Essa nova norma revogou integralmente a IN nº 4/2011 e trouxe mudanças significativas: maior detalhamento dos procedimentos de elaboração, apresentação, execução e monitoramento dos PRADs, aplicáveis a todos os biomas e suas fitofisionomias



# Plano de Recuperação de Áreas Degradadas - PRAD



Principais alterações trazidas pela atualização (IN nº 14/2024)

- **Abrangência nacional**

A nova IN nº 14/2024 aplica-se a **todos os biomas brasileiros**, com suas respectivas fitofisionomias, garantindo uniformidade nos critérios.

- **Responsabilidade do administrado**

O responsável pelo dano ambiental deve apresentar e executar o PRAD, com acompanhamento do IBAMA.

- **Monitoramento e avaliação**

A norma reforça a necessidade de **acompanhar os resultados da recuperação** e ajustar medidas conforme necessário.

- **Integração com legislação ambiental**

O PRAD passa a ser vinculado diretamente ao cumprimento da legislação ambiental, funcionando como instrumento de reparação e compensação.



# Plano de Recuperação de Áreas Degradadas - PRAD

Recuperação Ambiental com possibilidade de reabilitação da área.



1996



1999

Mina de Carvão na Nova Escócia, Canadá.

# Plano de Recuperação de Áreas Degradadas - PRAD



Antiga cava de areia

Parque do Ibirapuera – São Paulo/SP



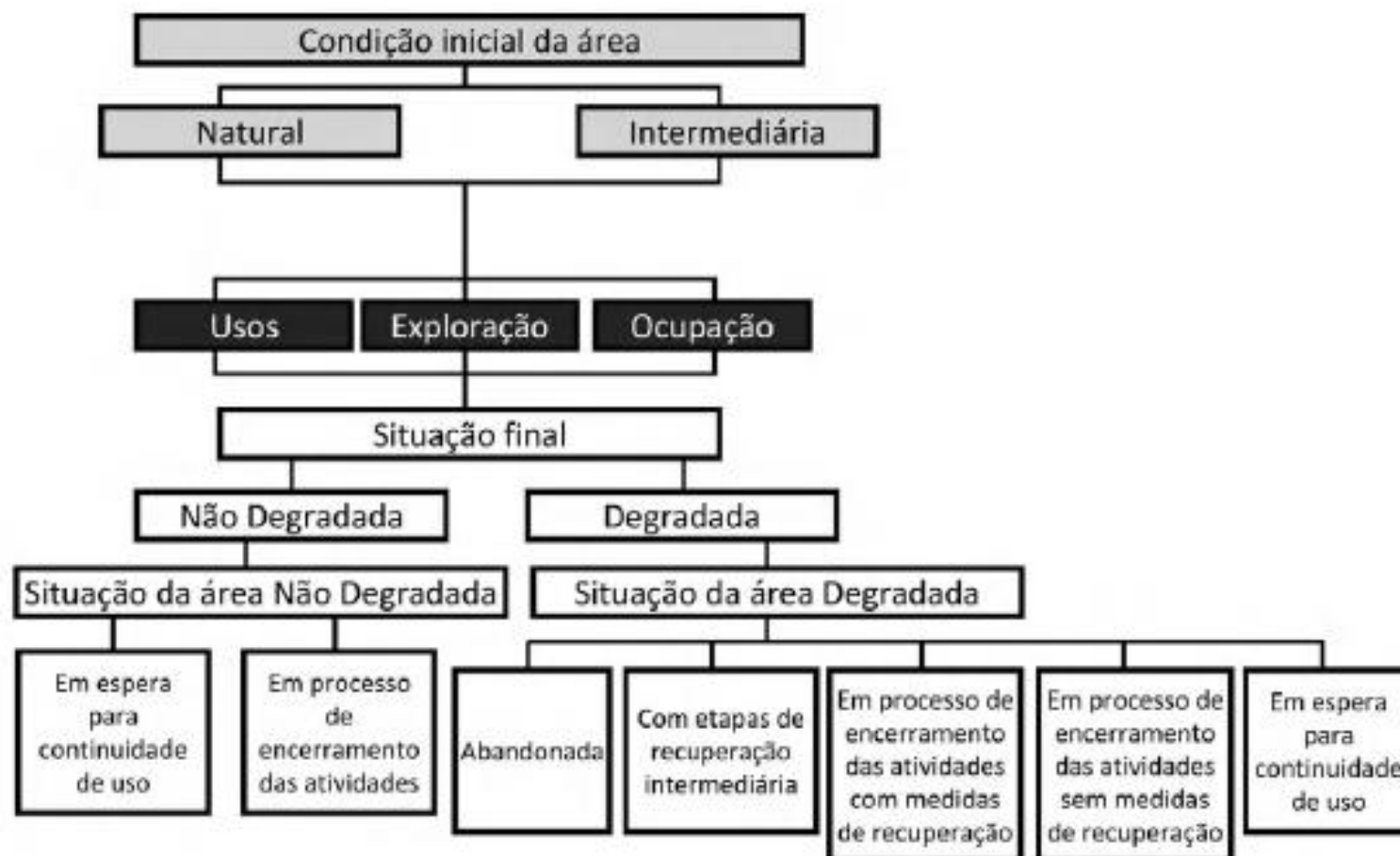


# Plano de Recuperação de Áreas Degradadas - PRAD



**Garimpo de Serra Pelada, Curionópolis –PA (1983)**

# Plano de Recuperação de Áreas Degradadas - PRAD





## Plano de Recuperação de Áreas Degradadas - PRAD



- ✓ Para o sucesso na recuperação de áreas degradadas é necessário encontrar e utilizar princípios ecológicos e silviculturais. Busca-se então, por meio do conhecimento científico, métodos eficazes de melhorar e nortear os modelos de recuperação.
- ✓ Dentre estes conhecimentos encontram-se a florística; a fotointerpretação; a fitossociologia com estrutura e dinâmica de populações, a auto-ecologia e biologia das espécies; assim como aspectos silviculturais por meio de coleta de sementes, produção de mudas e procedimentos adequados em plantios





# Princípios do Recuperação de Áreas Degradadas - RAD



## ✓ Estabilidade física

Quando os processos do meio físico estejam em equilíbrio dinâmico, por exemplo, sem ocorrência de processos erosivos intensos, como ravinamento, ou de movimentos de massa, tais como escorregamentos

## ✓ Estabilidade química

Quando não ocorram reações químicas capazes de emitir uma carga poluente para o meio

## ✓ Biodiversidade

Para gerar resiliência e autosustentabilidade



## PROJETO DE RECUPERAÇÃO - RAD



- ✓ Deve ser elaborado por profissionais habilitados;
- ✓ Escolher os Níveis de recuperação de áreas degradadas;
- ✓ A recuperação deve sempre que possível:
  - reintegrar a área na função anterior;
  - direcionar a área para novos usos.
- ✓ Procedimentos que podem ser aplicados:
  - regeneração natural;
  - reabilitação;
  - restauração.



# TÉCNICAS PARA RAD



## 1 - RECUPERAÇÃO DO SOLO

**Transposição de solo:** pequenas porções da camada superficial do horizonte orgânico do solo (5 cm de solo) de áreas com sucessão mais avançada, pois apresenta grandes probabilidades de recolonização da área por microrganismos, sementes, propágulos de espécies vegetais pioneiras e espécies da micro, meso e macro fauna/flora do solo.

**Descompactação:** escarificação, uso de plantas com raízes agressivas

**Enriquecimento do solo:** Uso de plantas

**Controle de erosões:** drenagens



# TÉCNICAS PARA RAD



## 2 - SELEÇÃO DO(S) SISTEMA(S) DE PLANTIO DE ESPÉCIES NATIVAS

### a) Implantação e/ou Regeneração natural

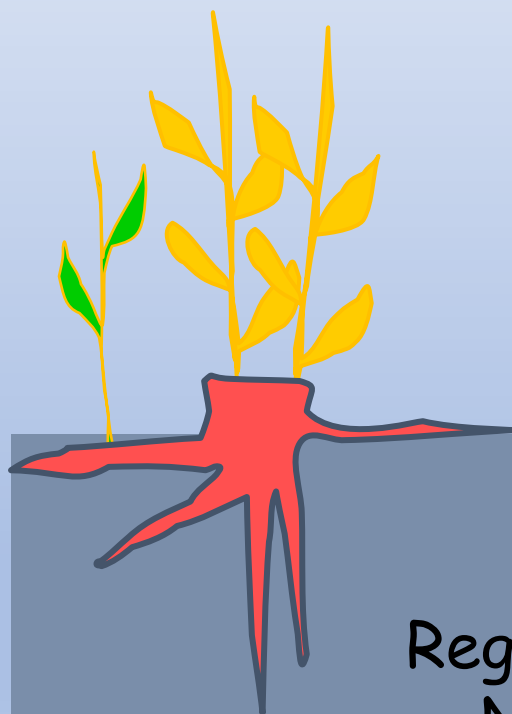
**Plantio de mudas ao acaso:** utiliza espécies sem seguir uma ordem ou um arranjo pré-estabelecido. Segue o pressuposto que as diferentes espécies, basicamente intermediárias em processos sucessionais que liberam propágulos ao acaso.

**Plantio de mudas heterogêneo:** utiliza espécies nativas da fisionomia original das áreas remanescentes com um plantio heterogêneo, proporcionando uma estruturação de novo ambiente mais próximo do natural. Assim, obtêm-se uma continuidade das funções específicas das espécies da comunidade.

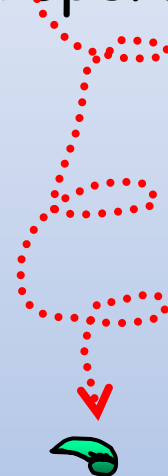
**Semeadura direta ou hidrossemeadura:** utiliza coquetéis de gramíneas perenes e leguminosas que rapidamente fornecem cobertura ao solo. Devem ser utilizadas espécies nativas típicas do ecossistema a ser restaurado, promotoras da sucessão ambiental e evitar espécies exóticas agressivas que inibem a sucessão.

# Possibilidades de Restauração Ecológica

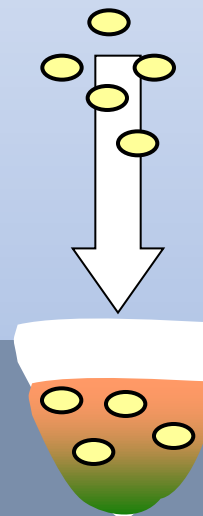
Rebrota da  
raiz ou caule



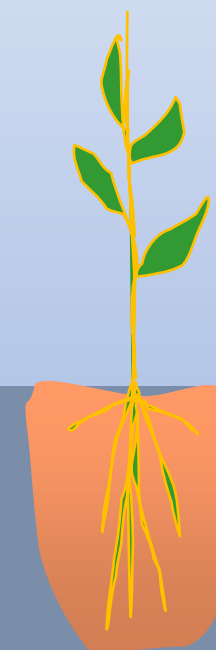
Manejo da  
dispersão



Semeadura  
direta  
(sementes)



Plantio de  
mudas



Regeneração  
Natural

Banco de  
sementes

Condução da RN ou Aceleração da Sucessão





# TÉCNICAS PARA RAD



## 2 - SELEÇÃO DO(S) SISTEMA(S) DE PLANTIO DE ESPÉCIES NATIVAS

**Sucessão ecológica:** busca aliar espécies pioneiras sombreadoras às espécies dos estágios mais finais de sucessão (clímax). Este sombreamento ocorre de acordo com o arranjo de plantio utilizado. O qual pode ser em Módulos onde uma planta "base central", dos grupos finais de sucessão, fica circundada por quatro ou mais plantas pioneiras ou em Linhas com a alternância de espécies pioneiras e não pioneiras na mesma linha.

**Ilhas de diversidade:** são áreas pequenas, com diferentes densidades e diversidades de espécies arbóreas úteis para atrair dispersores de sementes das espécies presentes nas ilhas, assim como para trazer propágulos de outras espécies de áreas florestais remanescentes. Possibilitam a recolonização por diversas espécies e o restabelecimento do fluxo gênico e a conectividade entre as populações arbóreas.



# TÉCNICAS PARA RAD



## Informação paralela

- ❖ **Síndromes de polinização** (o processo de transporte do grão de pólen até a planta feminina para gerar um zigoto e, por fim, uma semente):

Abióticas - vento, água

Bióticas - abelhas, vespas, formigas, mariposas e borboletas, besouros, morcegos, aves

- ❖ **Síndromes de dispersão:**

Abiótica - vento, água

Biótica - aves, pequenos roedores, pequenos mamíferos (passa por trato digestivo de algum animal).



# TÉCNICAS PARA RAD



## 3 - NUCLEAÇÃO

**Poleiros artificiais:** imitam galhos secos de árvores para pouso de aves, repouso ou forrageamento de sementes. Pode ser confeccionado com diversos materiais, como por exemplo, restos de madeira ou bambu. Devem apresentar ramificações terminais onde as aves possam pousar.

**Enleiramento de galharia:** os resíduos florestais como galhos, tocos e caules de rebrotas formam pilhas distribuídas em leiras com alturas variadas de 0,3 a 0,5 funcionando como um atrativo de fauna e zoodispersores, além de contribuir com recomposição do substrato do solo.

# Possibilidades de Restauração Ecológica

## RESTAURAÇÃO DE FLORESTAS TROPICAIS





**SEPARAÇÃO DAS ESPÉCIES DA FLORESTA TROPICAL EM GRUPOS ECOLÓGICOS,  
EM FUNÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO CICLO DE VIDA DAS ESPÉCIES.**

Características	Grupo Ecológico			
	Pioneira (P)	Secundária Inicial (I)	Secundária Tardia (T)	Climax (C)
Crescimento	multo rápido	rápido	médio rápido	lento ou muito lento
Madeira	multo leve	leve	medianamente dura	dura e pesada
Tolerância à sombra	multo intolerante	intolerante	intolerante no estágio juvenil	tolerante
Regeneração	banco de sementes	banco de plântulas	banco de plântulas	banco de plântulas
Tamanho das sementes e frutos	pequeno	médio	pequeno a médio, mas sempre leve	grande e pesado
Idade da 1ª reprodução	prematura (1-5 anos)	intermediária (5 a 10 anos)	relativamente tardia (10 a 20 anos)	tardia (> 20 anos)
Tempo de vida	multo curto (até 10 anos)	curto (10-25 anos)	longo (25 a 100 anos)	multo longo (> 100 anos)

Fonte: Resumido de Ferretti et al. (1995).



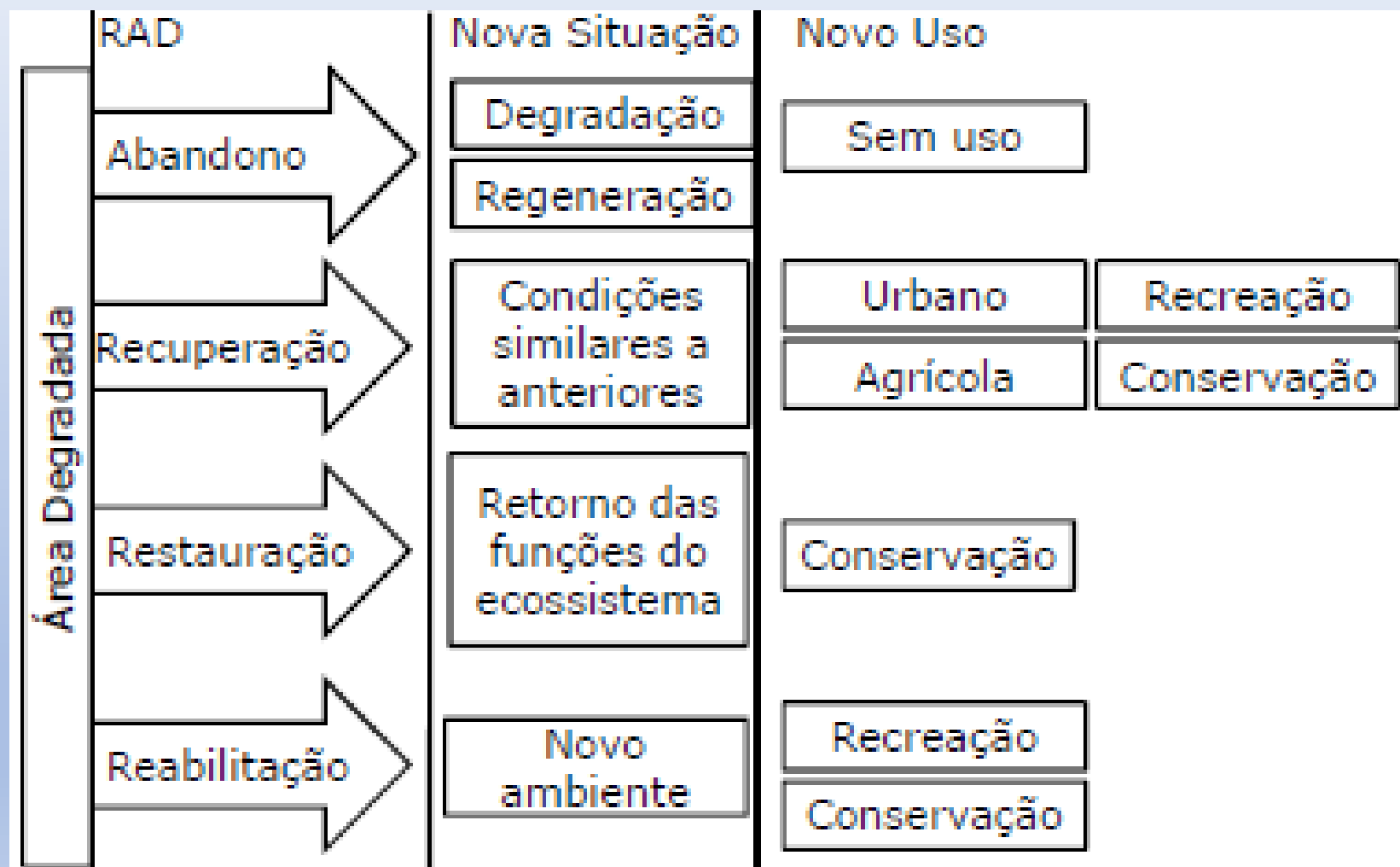


## A Recuperação de Área Degradada deve:

- ✓ Resultar numa paisagem estável;
- ✓ Minimizar a poluição do ar e da água
- ✓ O solo deve voltar a ser autosuficiente e produtivo;
- ✓ Reestabelecer o habitat da fauna.







# REMEDIAÇÃO BIORREMEDIAÇÃO

- É um processo de tratamento no qual organismos vivos, geralmente microrganismos ou plantas, são utilizados tecnologicamente para remover ou reduzir poluentes no ambiente



Pode ser aplicado em águas superficiais e subterrâneas, bem como em solos e resíduos industriais, em aterros, áreas de contenção

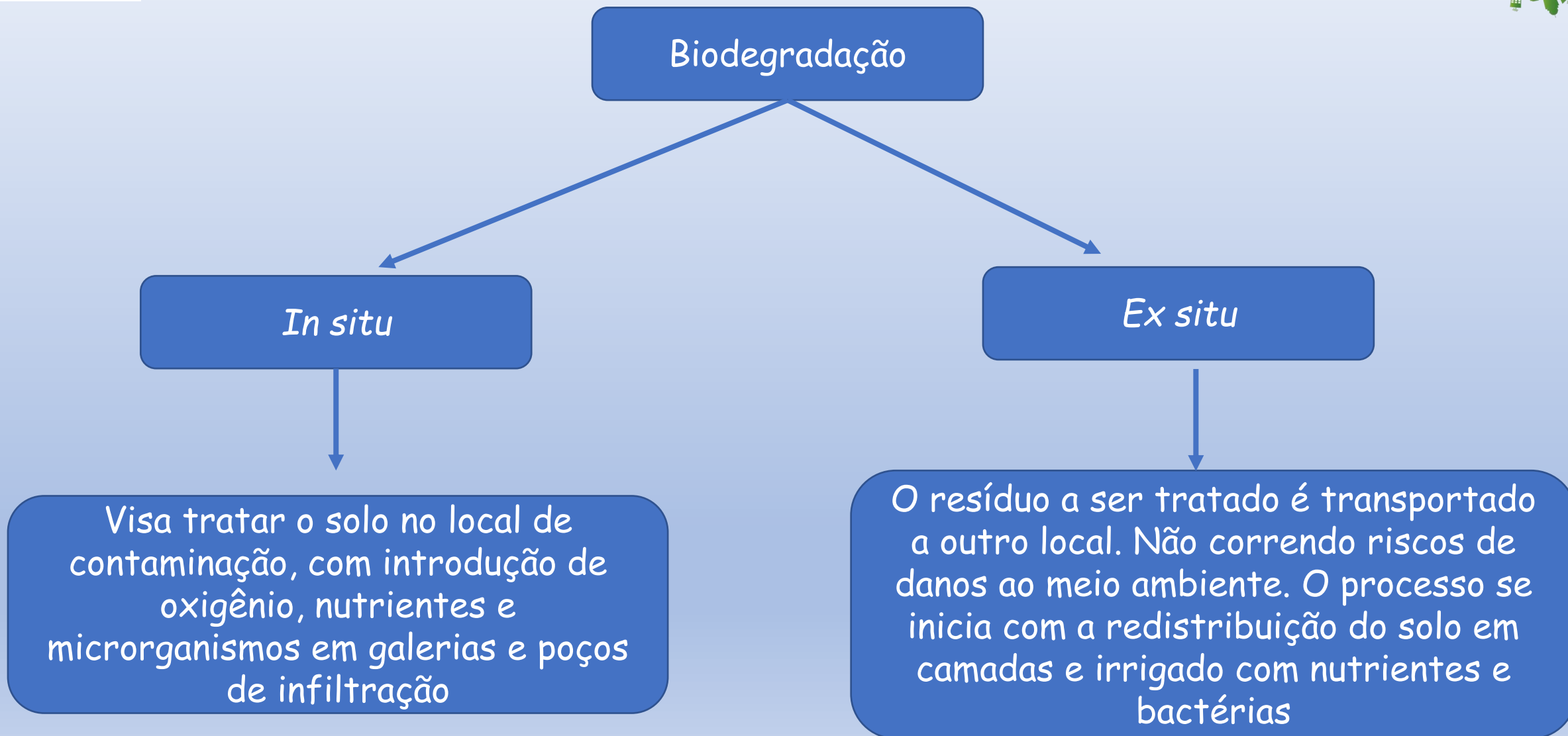
# BIORREMEDIAÇÃO

- É um processo de tratamento no qual organismos vivos, geralmente microrganismos ou plantas, são utilizados tecnologicamente para remover ou reduzir poluentes no ambiente



Embora existam tecnologias de despoluição que utilizem processos físicos e/ou químicos, o método biológico vem se mostrando a maneira mais ecologicamente adequada e eficaz, além de ser em geral mais barata.

# BIORREMEDIAÇÃO







# BIORREMEDIAÇÃO

## Metodologias de biorremediação

✓ Bioaumento vs. Bioestímulo

**Bioaumento** - é a inoculação, no local contaminado, com microrganismos selecionados para a degradação do contaminante

**Bioestímulo** - alteração da condição ambiental , como adição de nutrientes (N e P) ou oxigênio, para estimular os microrganismos degradadores



# BIORREMEDIAÇÃO

## TIPOS:

- **Biorremediação INTRÍNSECA** = natural ou passiva
- **Biorremediação SUPLEMENTADORA** = estímulos pela ação humana (nutrientes, bactérias, oxigênio,  $CO_2$ , dentre outros)
  - ✓ **Biomagnificação** = + microrganismos
  - ✓ **Bioestimulação** = + nutrientes
  - ✓ **Bioventilação** = +  $CO_2$  ou +  $O_2$
  - ✓ **Landfarming** = +  $O_2$  + microrganismos



# BIORREMEDIAÇÃO

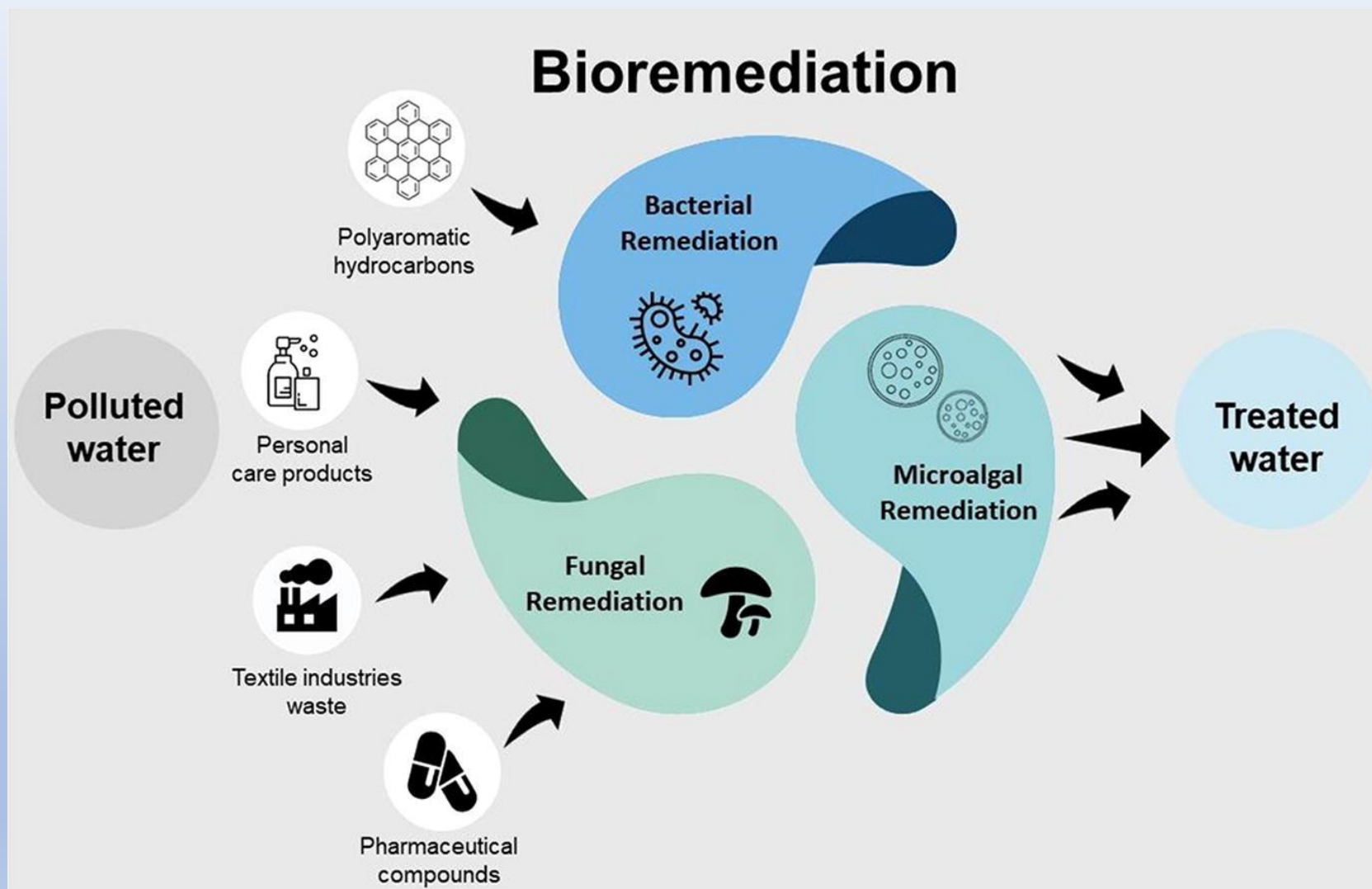


## ➤ VANTAGENS:

- ✓ Não requerem a escavação do solo contaminado;
- ✓ Apresentam custo mais baixo;
- ✓ Evitam o transporte de partículas de solo nos arredores.

## ➤ DESVANTAGENS:

- ✓ As técnicas *in situ* podem ser mais lentas do que as técnicas *ex situ*, devido à dificuldade de controle do tratamento;
- ✓ Possibilidade de dificuldade de acesso ao local;
- ✓ Eficácia limitada: metais pesados, altas concentrações de compostos orgânicos clorados e sais inorgânicos.





# BIORREMEDIAÇÃO



**Produto Biológico que promove a degradação de contaminantes orgânicos presentes tanto no solo como na água.**

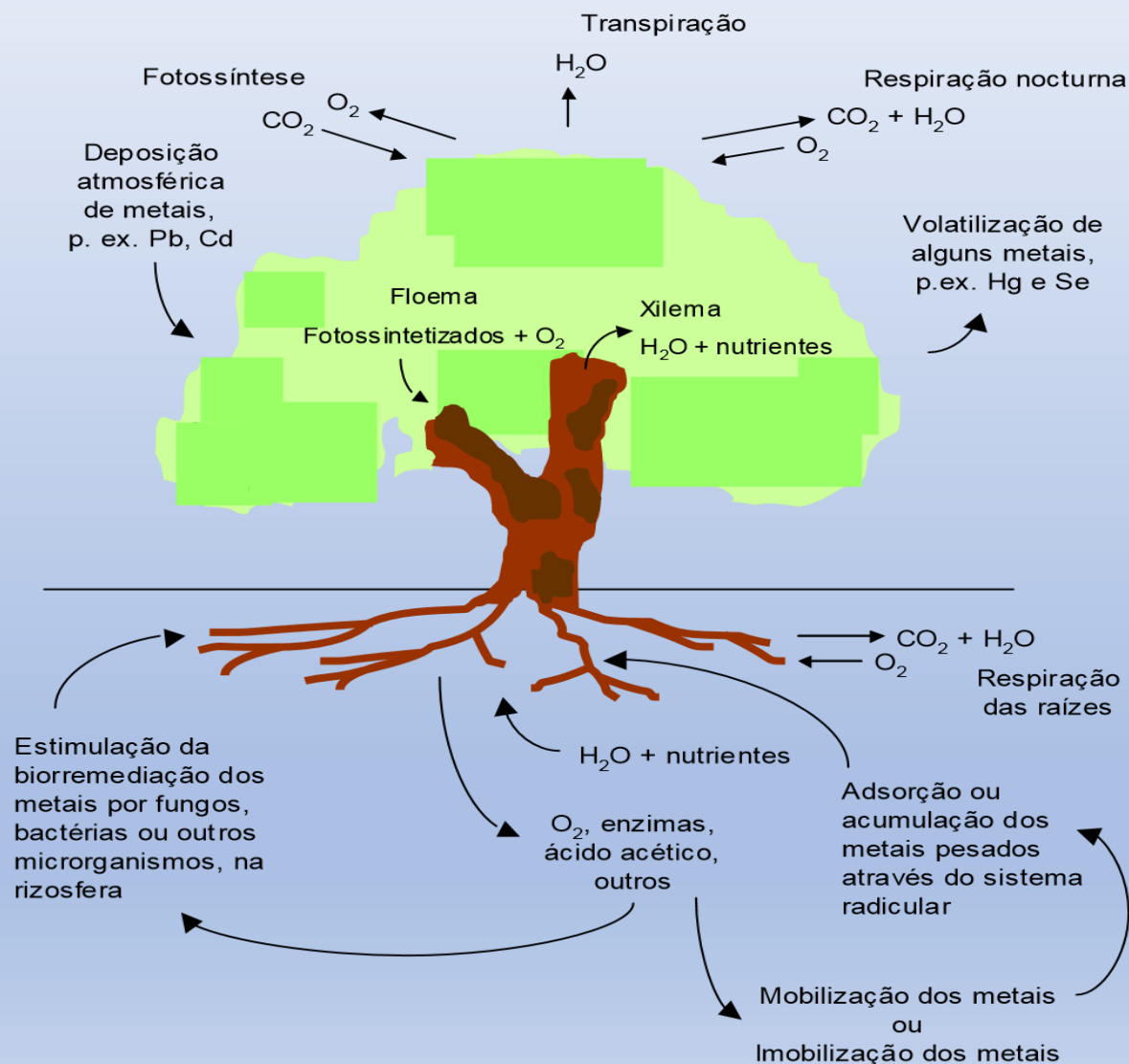
**Produto biológico que atua no processo de aceleração da compostagem através da decomposição de resíduos sólidos orgânicos, produzindo um excelente insumo rico em nutrientes para hortas, plantas e jardins.**



No Tratamento de:

- Resíduos da indústria alimentícia
- Resíduos agroindustriais
- Resíduos de criação de animais e abatedouro
- Fossas e esgotos
- Lodo acumulado

# FITORREMEDIAÇÃO



✓ As plantas podem remediar o solo contaminado por diversos mecanismos:

- Fitoextração;
- Fito-estabilização;
- Rizofiltração;
- Fitodegradação;
- Fito-estimulação;
- Fitovolatilização;
- Cepas vegetativas;
- Barreiras hidráulicas.

ANSELMO, A. L. F.; JONES, C. M. – Fitorremediação de solos contaminados- o estado da arte. XXV Encontro Nac. de Eng. De Produção. Porto Alegre, RS, nov. de 2005.

# Fitorremediação

As plantas em potencial devem possuir algumas características



Capacidade de absorção, concentração e/ou metabolização e tolerância ao contaminante



Capacidade de removê-los, extraí-los, e mineralizá-los no ambiente



Alta taxa de crescimento e produção de biomassa



Fácil colheita



Capacidade de desenvolver-se bem em ambientes diversos



# COMPARAÇÃO ECONÔMICA DAS TÉCNICAS

Custo da fitorremediação comparada a outras tecnologias

Tipo de Tratamento	Custo variável/ton (US\$)
<b>Fitorremediação</b>	<b>10-35</b>
Biorremediação <i>in situ</i>	50-150
Aeração no solo	20-200
Lavagem do solo	80-200
Solidificação	240-340
Incineração	200-1500





# Exemplo de fitorremediação



## ☞ Pesticidas

☞ Cidade de Meninos (Rio de Janeiro): havia uma fábrica de hexaclorociclohexano (HCH), que é um pesticida organoclorado, a qual foi desativada entre os anos de 1960 e 1965, porém, permaneceu no local todo seu acervo abandonado, inclusive os "stocks" e resíduos da produção.

<https://apublica.org/web-stories/cidade-envenenada/>

[https://apublica.org/2021/08/cidade-envenenada-a-historia-desconhecida-de-um-dos-maiores-desastres-ambientais-do-pais/?utm\\_source=webstories&utm\\_medium=botao&utm\\_campaign=cidadedosmeninos](https://apublica.org/2021/08/cidade-envenenada-a-historia-desconhecida-de-um-dos-maiores-desastres-ambientais-do-pais/?utm_source=webstories&utm_medium=botao&utm_campaign=cidadedosmeninos)

☞ Associado à aplicação da cal (CaO) e à agregação de adubo orgânico ao solo, foi sugerido o plantio e espécies florestais na área contaminada.

Fitorremediação:  
promover a ciclagem  
de nutrientes

☞ Duas espécies de eucalipto foram escolhidas: *Eucalyptus grandise* e *Corymbria citriodora*.





## Impactos ambientais:

**Resiliência** - capacidade sistema restabelecer seu equilíbrio após este ter sido rompido por um distúrbio;

**Resistência** - capacidade de um sistema de manter sua estrutura e funcionamento após um distúrbio.