

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul
Bacharelado em Gestão Ambiental
Componente curricular: Microbiologia Ambiental
Aula 10

Professor Antônio Ruas

- 1. Créditos: 60**
- 2. Carga horária semanal: 4**
- 3. Semestre: 2°**
- 4. *Landfarming***

- **Introdução.**

- **Xenobióticos** são compostos químicos antropogênicos sintéticos com atributos estruturais não naturais. A disseminação dos xenobióticos é determinada pela partição entre fases sólida/líquida/gasosa do sistema solo e potencial para concentrar na biota.

- Os compostos e metabólitos persistentes podem permanecer quimicamente ativos no solo por muitos anos e ser deletérios para ecossistemas e saúde humana.

- A qualidade do solo é determinada pela sua composição natural e ações antrópicas, ou manejo.

-

- **Introdução.**

- Os **fatores de estresse** no solo são: químico, físico e biológico.

- - Químicos: pH, nutrientes; anoxia, salinidade, biocidas como metais pesados, poluentes radioativos, agrotóxicos e hidrocarbonetos.

- - Biológicos: nutrientes, organismos exógenos, patógenos e predadores atuando ecossistemicamente.

- - Os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos - PAHs são considerados contaminantes perigosos. A adsorção aos colóides naturais do solo limita a biodisponibilidade como substrato, afetando a degradação microbiana.

-

- **Introdução.**
- - **Agrotóxicos:** mesmo quando a dose usada é recomendada, há efeitos inibitórios, ou estimulatórios nas transformações bioquímicas e afetando a fertilidade do solo.
- Assunto da próxima aula.

- **Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos - PHAs ou HAPs.**
- PAHs, são subprodutos da combustão ou pirólise de substâncias orgânicas como carvão, óleo, petróleo, madeira, etc.
- Os efluentes líquidos resultantes do refinamento do petróleo precisam ser tratados. Têm alto teor de hidrocarbonetos, principalmente alcanos e parafina de 1-40 átomos de carbono, junto com cicloalcanos e compostos aromáticos.
-

- **Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos - PHAs ou HAPs.**
- Os compostos do óleo cru, PAHs e outros, inibem o desenvolvimento metabólico microbiano. Em alguns casos, estimulam as funções, resultado de uma adaptação dos microrganismos aos poluentes e à utilização dos xenobióticos como fonte de carbono e energia. Neste caso, após o estresse, há um aumento da atividade respiratória e enzimática, desenvolvimento dos microrganismos e degradação dos poluentes.
- As fontes antropogênicas incluem processos industriais, geração de calor, incineração e processos de tratamento de resíduos.

-

- **Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos - PHAs ou HAPs.**
- São contaminantes comuns no solo e água subterrânea, como resultado da atividade industrial. Estes contaminantes são mutagênicos, carcinogênicos e tóxicos.
- Além disto, solos contaminados com PAHs geralmente contém altos níveis de metais pesados e outros elementos, originários das mesmas fontes.
-

- **Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos - PHAs ou HAPs.**
- A biodegradação dos PHAs ocorre pelas populações naturais de microrganismos representa um dos mecanismos primários pelos quais poluentes como petróleo e hidrocarbonetos podem ser eliminados do ambiente.
- O *landfarming* é um processo bem conhecido, escolhido como tratamento de solos contaminados pela retenção, baixo custo e sucesso.
- A atividade microbiana com *landfarming* foi observado que nos primeiros meses, os resultados para a fração lábil do carbono, quociente metabólico e ATP (respiração basal) demonstraram valores altos. Depois baixaram. O mesmo foi observado para as atividades enzimáticas (desidrogenase, B-glicosidase, protease e urease).

- **Petróleo**

- Na indústria do petróleo e derivados é crescente a preocupação com os impactos ambientais decorrentes de suas atividades, que geram volumes consideráveis de resíduos sólidos, dentre os quais solos contaminados por hidrocarbonetos.

- Solos contaminados com hidrocarbonetos podem ser tratados por diversos processos biológicos, físicos, químicos, físico-químicos ou térmicos. A aplicação de processos biológicos ao tratamento de solos contaminados por hidrocarbonetos de petróleo é de interesse geral. Os bioprocessos de tratamento utilizam organismos, tais como bactérias e fungos, e/ou vegetais para reduzir ou eliminar compostos perigosos ao meio ambiente. Dentre as tecnologias biológicas de tratamento de solos contaminados, há o *landfarming*. Segundo a USEPA, este método consiste em dispor o resíduo na camada reativa do solo, de forma que a microbiota autóctone atue como agente de biodegradação.

- ***Landfarming***

- As técnicas operacionais de um *landfarming* incluem: aeração do solo; umidificação; adição de nutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio – macronutrientes); e, em alguns casos, bioaugmentação com microrganismos previamente selecionados.

- Os microrganismos responsáveis pela biodegradação de hidrocarbonetos de petróleo são as bactérias (aeróbias e anaeróbias), os fungos e as microalgas.

-

- As diversas classes de hidrocarbonetos apresentam diferenciada susceptibilidade ao ataque microbiano. Os hidrocarbonetos mais simples, ou seja, os alifáticos de cadeia curta não ramificada são os mais facilmente decompostos. Por outro lado, os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos requerem maior tempo para a decomposição embora alguns hidrocarbonetos heterocíclicos ramificados, às vezes, sejam mais recalcitrantes que os hidrocarbonetos aromáticos.

•Landfarming

Tabela 2.2: Vantagens e desvantagens do processo *landfarming*

Fonte: MPHEKGO & CLOETE, 2004

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none">- Requer pequeno capital para implantação e operação;- Possibilidade tratar grande volume de resíduo sólido;- Pode ser aplicado <i>ex situ</i>;- Resulta em pequeno impacto ao meio ambiente;- Eficiência energética.	<ul style="list-style-type: none">- Limitado em relação à remoção de compostos orgânicos recalcitrantes;- Necessidade de grande área;- Pode acarretar problemas de emissão de compostos orgânicos voláteis e contaminação do lençol freático;- Presença de metais pesados pode inibir as atividades de biodegradação.

• *Landfarming*



Figura 2.3: Sistema de *Landfarming* – Perspectiva superior
Fonte: Adaptado de MPHEKGO & CLOETE, 2004

- **Uso do petróleo**

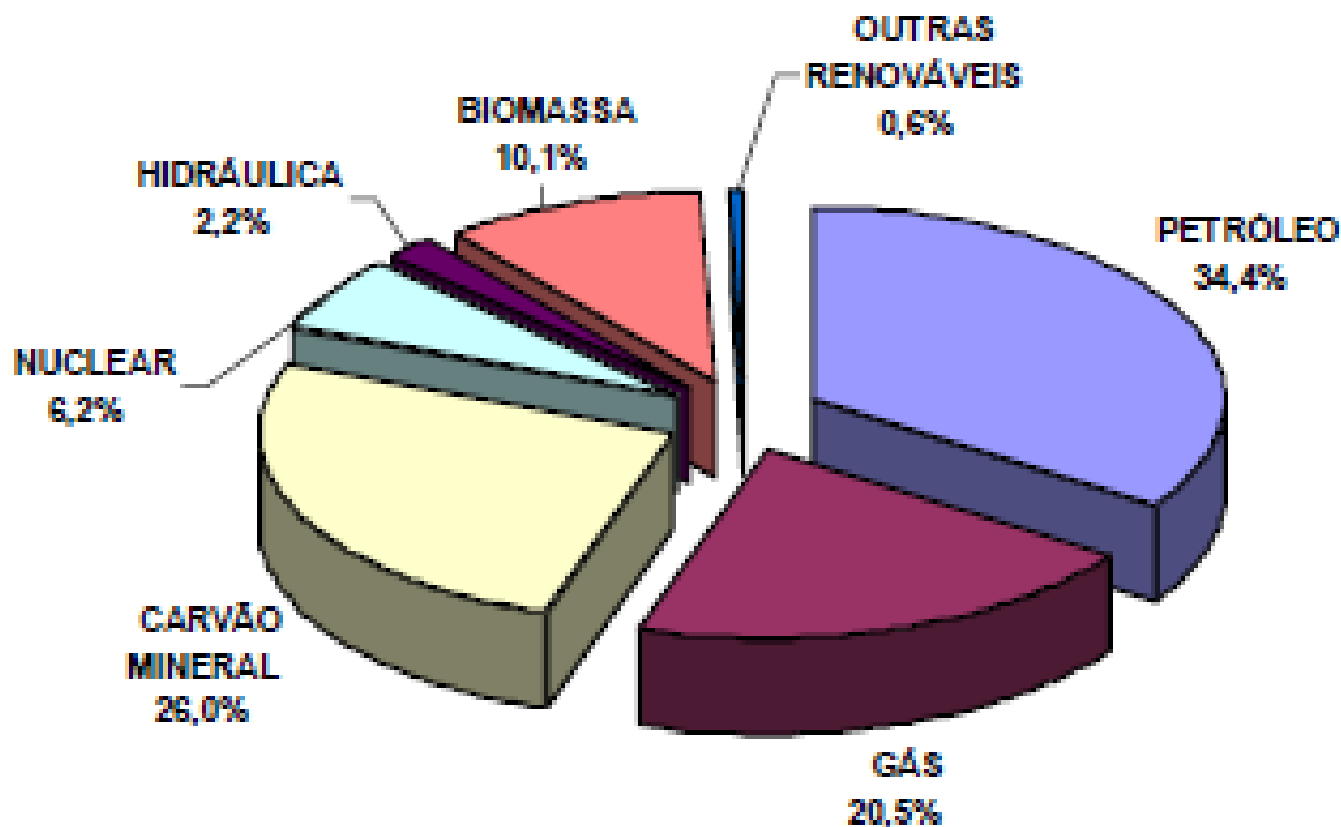


Figura 2.1: Matriz energética mundial (Fonte: MME, 2007)

- Os compostos orgânicos constituintes do petróleo e a divisão a que pertencem, além de exemplos de estruturas químicas são observados na próxima figura.

• Uso do petróleo

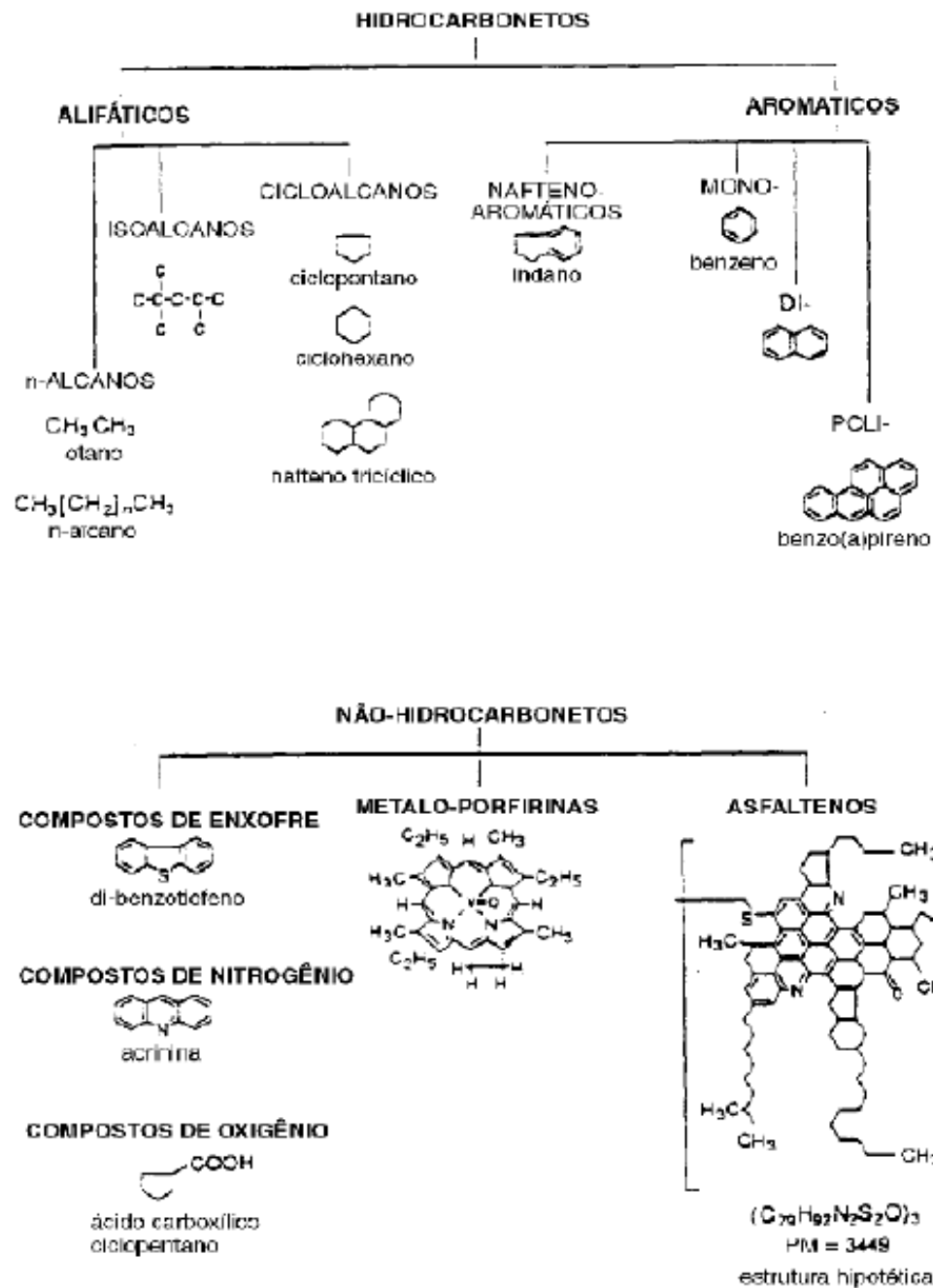


Figura 2.2: Estrutura química de alguns compostos presentes no petróleo.
(Fonte: SEABRA, 2006)

• **Uso do petróleo**

- A proporção dos compostos na composição do petróleo determina a sua classificação: parafínicos, naftênicos, aromáticos intermediários, parafínico-naftênicos, aromático-naftênicos e aromático-asfálticos.
- Devido a essa classificação, dimensiona-se a quantidade das frações que podem ser obtidas e a possível composição e propriedades físico-químicas. Durante o processamento, o petróleo sofre beneficiamentos para a obtenção de frações desejadas. Estas serão submetidas a processos de tratamentos visando à obtenção de diferentes produtos finais.
- As diversas atividades da indústria do petróleo (perfuração, produção, transporte, processamento e distribuição) geram resíduos sólidos e líquidos na forma de lamas, borras, efluentes líquidos, gasosos, etc.

- **Uso do petróleo**

- Os resíduos oleosos gerados nas operações de perfuração e produção incluem: fluidos de perfuração; óleo cru; produtos químicos; filtros usados; areia produzida; água produzida contaminada com hidrocarbonetos; borras de separadores de água-óleo-gás; resíduos de desidratação; fluidos hidráulicos e lubrificantes.
- Na etapa de transporte e distribuição, o óleo e os combustíveis podem ser decorrentes de vazamentos de oleodutos e gasodutos assim como da limpeza de tanques de armazenamento.

- **Uso do petróleo**

- Na etapa de processamento do petróleo em refinarias ocorre geração de resíduos sólidos nas unidades de separação (colunas de destilação – atmosférica e à vácuo –, separadores de água-óleo, dessalinizadores, etc.), nas operações de conversão (craqueamento térmico e catalítico, coqueamento, alquilação, hidrotratamento, etc.), no tratamento de efluentes e nas operações auxiliares (trocadores de calor, tanques de estocagem, torres de resfriamento, etc.).

• Uso do petróleo

Tabela 2.1: Resíduos perigosos e fontes geradoras de hidrocarbonetos em refinarias de petróleo

Fonte: ABNT NBR ISO 10.004

Resíduo perigoso	Constituintes perigosos
Sedimento do tanque de armazenamento de óleo cru, das operações de refino de petróleo	Benzeno
Borra clarificada do resíduo do tanque de óleo e/ou sólidos dos separadores/filtros de linha das operações de refino de petróleo	Benzo[a]pireno, dibenzo[a,h]antraceno, benzo[b]fluoranteno, benzo[k]fluoranteno, *, **
Catalisador gasto proveniente do hidrotreamento das operações de refino de petróleo, incluindo leitos usados para dessulfurizar as alimentações para outros reatores catalíticos	Benzeno, arsênio
Lodo resultante da separação secundária de água/óleo emulsificado de refinaria de petróleo. Qualquer lodo e/ou material flotante gerado da separação física e/ou química de água/óleo no processo de efluentes líquidos oleosos de refinarias de petróleo.	Benzeno, benzo[a]pireno, criseno, chumbo, cromo
Resíduos de fundo de destilador	Benzo[a]antraceno, benzo[a]pireno, benzo[b]fluoranteno, benzo[k]fluoranteno, dibenzo[a,h]antraceno, indeno[1,2,3-cd]pireno

* metilbenzilciclopentaantraceno; ** 7,12-dimetilbenzo[a]antraceno

- **Uso do petróleo**
- As refinarias, além dos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA), geram outros compostos tóxicos: cádmio, bário, mercúrio, selênio e prata, compostos orgânicos como as bifenilas policloradas (PCB) e hidrocarbonetos halogenados.
- O mecanismo de formação de HPA deve-se à repolimerização de fragmentos de hidrocarbonetos formados durante o craqueamento sob condição de baixa oxigenação. Os fragmentos perdem, com frequência, uma pequena quantidade de hidrogênio, que forma água após combinar-se com oxigênio durante as etapas da reação.
- Os fragmentos ricos em carbono então, combinam-se para formar os HPAs, que são moléculas mais estáveis e com razão C:H elevadas. A disposição desses resíduos no meio ambiente acrrata sérios problemas ecológicos.

- Microrganismos envolvidos em processos de remediação
- A microbiota heterogênea do solo inclui a presença de microrganismos capazes de utilizar hidrocarbonetos como fonte de carbono e energia.
- Dentre os vários agentes que possuem a habilidade de degradar hidrocarbonetos, como bactérias e fungos.
- A distribuição da população microbiana no solo está tipicamente associada ao conteúdo de matéria orgânica natural, a qual serve como estoque de micronutrientes (ferro, manganês, zinco, cobre, molibdênio, cloro e boro) e macronutrientes (carbono, nitrogênio, potássio, cálcio, magnésio, fósforo e enxofre). À medida que a profundidade
- aumenta, a população e a diversidade microbiana reduzem devido à diminuição dos teores de matéria orgânica e oxigênio (próximo quadro).

- **Microrganismos envolvidos em processos de remediação**

Tabela 2.3: Distribuição da população microbiana em solos e água subterrânea

Microrganismos	Densidade Microbiana
	Superfície (Cels/g)
Bactérias	$10^8 - 10^9$
Actinomicetos	$10^7 - 10^8$
Fungos	$10^5 - 10^6$
Algas	$10^4 - 10^5$
	Subsolo (Cels/g)
Bactérias	$10^3 - 10^7$
	Água Subterrânea (Cels/mL)
Bactérias	$10^2 - 10^5$

Fonte: TRINDADE, 2002

- A exposição aos poluentes provoca uma seleção natural, os microrganismos degradadores apresentam-se em maiores proporções. Estes geralmente constituem menos do que 1% da população microbiana e podem chegar de 1 a 10% nos ambientes contaminados.

- Microrganismos envolvidos em processos de remediação
- As bactérias geralmente iniciam o processo e podem pertencer aos gêneros: *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Nocardia*, *Flavobacterium*, *Alcaligenes* e *Micrococcus*.
- Os fungos são eficientes em condições extremas de pH, nutrientes e umidade. Destacam-se os gêneros *Penicillium* e *Aspergillus*. Outros gêneros estudados incluem *Candida*, *Sporobolomyces*, *Rhodotorula*, *Saccharomyces* e *Trichosporium*.
- Consórcios microbianos com *Pseudomonas*, *Serratia*, *Bacillus*, *Candida*, *Aspergillus*, *Penicillium* e *Streptomyces* já foi considerado eficiente para degradar 100% de *n*-alcanos e 40% de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos. Outro estudo indicou um consórcio com *Proteus*, *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Alcaligenes*, *Shigella*, *Klebsiella* e *Enterobacter*

Tabela 2.4: Gêneros microbianos hidrocarbonoclasticos

Bactérias	Fungos			
	Actinomicetos	Leveduras	Bolores	
<i>Achromobacter</i>	<i>Actinomyces</i>	<i>Candida</i>	<i>Acremonium</i>	<i>Graphium</i>
<i>Acinetobacter</i>	<i>Endomyces</i>	<i>Debaryomyces</i>	<i>Aspergillus</i>	<i>Humicola</i>
<i>Aeromonas</i>	<i>Nocardia</i>	<i>Rhodotorula</i>	<i>Aureobasidium</i>	<i>Lulworthia</i>
<i>Agrobacterium</i>		<i>Sporobolomyces</i>	<i>Beauveria</i>	<i>Mortierella</i>
<i>Alcaligenes</i>		<i>Yarrowia</i>	<i>Botrytis</i>	<i>Mucor</i>
<i>Arthrobacter</i>		<i>Picchia</i>	<i>Ceriporiopsis</i>	<i>Oxyoirus</i>
<i>Bacillus</i>			<i>Chrysosporium</i>	<i>Paecilomyces</i>
<i>Brevibacterium</i>			<i>Cladosporium</i>	<i>Penicillium</i>
<i>Burkholderia</i>			<i>Cochliobolus</i>	<i>Phialophora</i>
<i>Chromobacterium</i>			<i>Colorospora</i>	<i>Phoma</i>
<i>Comamonas</i>			<i>Coniothyrium</i>	<i>Pleurotus</i>
<i>Corynebacterium</i>			<i>Corioloropsis</i>	<i>Rhizopus</i>
<i>Cytiphaga</i>			<i>Cryphonectria</i>	<i>Scolecobasidium</i>
<i>Flavobacterium</i>			<i>Cylindrocarpon</i>	<i>Scopulariopsis</i>
<i>Gluconobacter</i>			<i>Dendosporium</i>	<i>Sprotrichum</i>
<i>Micrococcus</i>			<i>Dendryphiella</i>	<i>Spicaria</i>
<i>Mycobacterium</i>			<i>Drechslera</i>	<i>Tolypocladium</i>
<i>Pasteurella</i>			<i>Fusarium</i>	<i>Trametes</i>
<i>Proteus</i>			<i>Geotrichum</i>	<i>Trichoderma</i>
<i>Pseudomonas</i>			<i>Glicocladium</i>	<i>Varicosporina</i>
<i>Rhodococcus</i>			<i>Gongronella</i>	<i>Verticillium</i>
<i>Sarcina</i>				
<i>Serratia</i>				
<i>Streptomyces</i>				
<i>Vibrio</i>				
<i>Xanthomonas</i>				

Fonte: URURAHY, 1998; CRAVO, 1998; DEL'ARCO, 1999; OLIVEIRA, 2001; TRINDADE, 2002; SILVA, 2005; PEREIRA, 2008.

- **Exercício**
- Escolher um ou mais exemplos destes microrganismos usados na degradação do petróleo e indicar detalhes de classificação e fonte de produção energética.