

Tecnólogo em
Gestão Ambiental

Diminuindo nosso impacto: tecnologias de recuperação ambiental

Waverli M. Matarazzo-Neuberger
Organizadora



Universidade
Metodista
de São Paulo

Campus
EAD

1º semestre de 2010 - 1ª edição

www.metodista.br

Universidade Metodista de São Paulo

Conselho Diretor: Wilson Roberto Zuccherato (presidente), Augusto Campos de Rezende, Clovis de Oliveira Paradela, Eric de Oliveira Santos, Paulo Roberto Lima Bruhn, Maria Flávia Kovalski, Nelson Custódio Fer (titulares), Henrique de Mesquita Barbosa Corrêa

Reitor: Marcio de Moraes

Pró-Reitoria de Graduação: Vera Lúcia Gouvêa Stivaletti

Pró-Reitoria de Infra-Estrutura e Gestão de Pessoas: Elaine Lima de Oliveira

Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa: Lauri Emílio Wirth

Direção da Faculdade de Saúde: Rogério Gentil Bellot

Coordenação do NEAD: Adriana Barroso de Azevedo

Coordenadora do Curso de Gestão Ambiental

Waverli Maia M. Neuberger

Organizador

Waverli Maia M. Neuberger

Professores Autores

Prof. Carlos Henrique A. de Oliveira

Prof. Ms. Luiz Rogério Mantelli

Profa. Dra. Marta Cristina Souza

Profa. Dra. Rosana Cristina de Souza Giuliano

Assessoria Pedagógica

Adriana Barroso de Azevedo

Patricia Brecht

Rosangela Spagnol Fedoco

Coordenação Editorial

Waverli Maia M. Neuberger

Editoração Eletrônica

Editora Metodista

Projeto Gráfico

Cristiano Leão

Revisão

Tânia Marisa Cotrim Donato

Impressão

Assahi Gráfica e Editora Ltda.

Data desta edição

1ª semestre de 2010

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Biblioteca Central da Universidade Metodista de São Paulo)

Universidade Metodista de São Paulo

Diminuindo nosso impacto : tecnologias de recuperação ambiental

/ Universidade Metodista de São Paulo. Waverli M. Matarazzo-Neuberger.

São Bernardo do Campo : Ed. do Autor, 2010.

128 p. (Cadernos didáticos Metodista - Campus EAD)

Bibliografia

ISBN: 978-85-7814-145-5

1. Desenvolvimento sustentável 2. Gestão ambiental 3. Neuberger, Waverli
Maia M. II. Título

CDD 301.31

UNIVERSIDADE METODISTA DE SÃO PAULO

Rua do Sacramento, 230 - Rudge Ramos

09640-000 São Bernardo do Campo - SP

Tel.: 0800 889 2222 - www.metodista.br/ead



É permitido copiar, distribuir, exibir e executar a obra para uso não-comercial, desde que dado crédito ao autor original e à Universidade Metodista de São Paulo. É vedada a criação de obras derivadas. Para cada novo uso ou distribuição, você deve deixar claro para outros os termos da licença desta obra

Tecnólogo em
Gestão Ambiental

Diminuindo nosso impacto: tecnologias de recuperação ambiental

Waverli M. Matarazzo-Neuberger
Organizadora

UMESP

1º semestre de 2010 - 1ª edição

www.metodista.br

Aprendizagem e autonomia

Prezado/a aluno/a do Campus EAD Metodista,

Seja bem-vindo(a) à Universidade Metodista de São Paulo! A modalidade de educação a distância, escolhida por você, está em crescente expansão. Para ter uma ideia, um em cada cinco alunos que ingressaram no ensino superior no início de 2010 optaram pela EAD, segundo dados do Ministério da Educação. Isso significa que vem ganhando confiança e credibilidade o ensino a distância, graças também ao desempenho bastante positivo dos alunos no ENADE (Exame Nacional de Desempenho Estudantil), se comparado àqueles matriculados na modalidade presencial.

O melhor de tudo isso é a democratização do acesso ao curso superior, facilitada pela EAD, permitindo a uma parcela cada vez maior da população condições mais adequadas de inserção no mercado de trabalho com a qualidade exigida. Tal atributo, associado a valores ético-cristãos que como uma instituição ligada à Igreja Metodista a Universidade defende, são marcas e atributos que buscamos vivenciar na prática pedagógica de nosso dia a dia acadêmico.

Este Guia de Estudos reúne os principais conceitos relacionados às disciplinas que integram o curso que você escolheu. Nosso desejo é que tal material seja um norteador de trabalhos, atividades e outros afazeres acadêmicos a serem desenvolvidos no decorrer do período em que estiver na Metodista. Importante também é incentivá-lo no sentido de que as temáticas sejam aprofundadas em outras fontes de pesquisa (livros, revistas e outras referências que os docentes podem oferecer-lhe).

Bons estudos e um ótimo semestre!

Prof. Dr. Marcio de Moraes
Reitor

Gestão Ambiental

Módulo: Controle de poluição sonora e do ar

- 09** Caracterização do problema e aspectos históricos
- 13** Principais poluentes e efeitos adversos à saúde e ao meio ambiente
- 17** Atmosfera: composição, perfil térmico e circulação geral
- 23** Meteorologia e dispersão dos poluentes
- 29** Efeitos globais da poluição atmosférica
- 37** Padrões e índices de qualidade do ar
- 41** Avaliação da qualidade do ar e das emissões atmosféricas

Módulo: Saneamento ambiental

- 49** Microbiologia geral e ecologia microbiana
- 55** Modelagem de ecossistema e microbiologia do solo
- 63** Microbiologia da água e do ar
- 69** Saneamento: ontem e hoje
- 73** Sistemas urbanos de saneamento: água
- 77** Sistemas urbanos de saneamento: esgoto

Módulo: Recuperação ambiental de áreas degradadas

- 81** Introdução e aspectos conceituais
- 85** Degradação ambiental e solo: aspectos conceituais
- 91** Ocupação urbana
- 95** Áreas contaminadas
- 99** Áreas contaminadas: estratégias de recuperação
- 103** Biorremediação





Caracterização do problema e aspectos históricos

Prof. Ms. Luiz Rogério Mantelli

Objetivos:

Entender a importância dos estudos relacionados à poluição atmosférica e conhecer um breve histórico de problemas relacionados ao assunto.

Palavras-chave:

Poluição atmosférica; emissões atmosféricas; CFCs.





Numa certa altitude na atmosfera, uma camada de ozônio, O₃, atua como uma espécie de filtro solar que diminui a radiação ultravioleta que atinge a superfície terrestre. Esse tipo de radiação é extremamente prejudicial para animais e plantas, de forma que a evolução não pudesse ter ocorrido sem a presença do filtro de ozônio (Purves *et al.*, 2002)

Essa camada foi formada quando a atmosfera tornou-se rica em oxigênio, há alguns milhões de anos. O mais interessante é que o processo de formação do ozônio dá-se pela irradiação do oxigênio (O₂), por fótons ultravioleta, no alto da atmosfera. Em outras palavras, a própria radiação que é danosa para os seres vivos acaba sendo responsável pela formação da camada de ozônio.

Embora a molécula de ozônio seja instável, o processo de dissociação é lento. Contudo, o composto está sujeito a uma ação catalítica, causada por diversos compostos lançados na atmosfera. Em 1970, por exemplo, a ciência voltou-se para os efeitos causados pelos aviões supersônicos, que lançavam o NO diretamente na estratosfera. Em 1974¹, Mario Molina e Sherwood Rowland mostraram que os átomos de clorofluorcarbonos (CFCs) são capazes de chegar à estratosfera sem passar por reação química alguma. Lá os raios ultravioleta dissociam as ligações C-Cl. Livres, os átomos de cloro são capazes de destruir o ozônio (Spiro e Stigliani, 2009).

O mais curioso é que a utilização desse composto em larga escala era justificada pela sua baixa reatividade com outras substâncias na troposfera (camada inferior à estratosfera).

Quatro anos após o alerta dos pesquisadores citados, o governo norte-americano proibiu a utilização do CFC em frascos de aerossol. Dez anos após essa medida, diversos acordos internacionais levaram à assinatura do Protocolo de Montreal, em 1987. Apesar de ser uma iniciativa bem sucedida, verificou-se posteriormente que ela não bastou para impedir o acúmulo do gás na atmosfera. Com isso, novos acordos foram negociados e assinados:

- **Emenda de Londres (London Amendments) de 1990** - exigiu a completa não utilização dos CFCs e derivados até o ano de 2000;
- **Emenda de Copenhague (Copenhagen Amendments) de 1992** - antecipou as datas de desativação dos CFCs para 1996 e dos halons (derivados) para 1994 (2010 no caso de países em desenvolvimento);
- **Viena (1995) e Montreal (1997)** - modificações foram feitas nos protocolos para limitar o uso de 95 compostos considerados controlados e promover o declínio dessas substâncias na atmosfera nos anos seguintes, reduzindo assim a destruição da camada de ozônio.

Um fator que contribuiu para essas mobilizações foi a descoberta, em 1980, do atualmente famoso "buraco na camada de ozônio", instalado sobre o Polo Sul. Na época o fenômeno não pode ser previsto pela modelagem computacional. Atualmente os estudos já estão avançados e, felizmente, podem auxiliar em processos futuros de tomada de decisão.

Certamente você já deve ter notado que estamos falando de problemas do século passado. Contudo, as questões relacionadas à poluição atmosférica advém da história antiga, há 2 mil anos. Nessa época as primeiras reclamações surgiam sobre o assunto. No século XIII (1257), a Rainha Leonor de Provença foi obrigada a deixar o castelo de Nottingham em razão das sucessivas faltas de ar causadas pela respiração do ar poluído devido à intensa queima de carvão. Pouco depois, em 1273, o Rei Eduardo da Inglaterra assinou as primeiras leis de qualidade do ar, proibindo o uso de carvão com alto teor de enxofre. Em 1300, o Rei Ricardo III fixou taxas para permitir o uso do carvão, pela redução demasiada das florestas inglesas. Mais tarde, em 1558, a Rainha Isabel I da Inglaterra e Escócia proibiu a queima de carvão durante as Sessões do Parlamento por ser alérgica à fumaça e aos odores produzidos.



¹ M. J. Molina e F. S. Rowland (1974). "Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine-catalyzed destruction of ozone", *Nature* 249:810-812.



Principais poluentes e efeitos adversos à saúde e ao meio ambiente

Prof. Ms. Luiz Rogério Mantelli

Objetivos:

Conhecer os principais poluentes atmosféricos e suas fontes de emissão; conhecer os problemas ambientais e os prejuízos à saúde causados por tais componentes.

Palavras-chave:

Monóxido de carbono; dióxido de enxofre; compostos orgânicos voláteis.



Podemos dizer que o ar está poluído quando nele são verificadas concentrações de uma ou mais substâncias capazes de causar danos para os seres vivos ou para os materiais.

Como será visto nos capítulos seguintes, a concentração e a dispersão dos poluentes dependem de uma série de fatores como clima, topografia, densidade populacional, tipo de atividade industrial local, etc (Braga *et al.*, 2005).



Desta forma, é possível perceber que, mesmo mantidas as emissões constantes de um determinado poluente, a qualidade do ar ambiente sofre alterações conforme as condições meteorológicas, que determinam melhor ou pior condição para a dispersão dos poluentes. Além disso, a meteorologia influencia na própria condição de ocorrência das reações químicas. Sabe-se, por exemplo, que as reações fotoquímicas variam em função da disponibilidade da luz solar incidente na baixa atmosfera. Portanto, esta interação entre os poluentes emitidos pelas fontes e as condições da atmosfera é que irá determinar a qualidade do ar e seus consequentes efeitos adversos sobre os receptores.

Os poluentes podem ser classificados de acordo com a sua fonte de emissão e de acordo com a sua origem. Embora haja quem defina como poluentes somente aqueles emitidos pela ação do homem, o mais usual é classificar as emissões de poluentes como:

- **Antropogênicas:** provocadas pelas atividades humanas (indústria, transporte, geração de energia, etc.);
- **Naturais:** causadas por fontes naturais, tais como emissões vulcânicas, decomposição de matéria orgânica.

De acordo com sua origem, os poluentes são classificados como: primários ou secundários (Braga *et al.*, 2005).

- **Primários:** são aqueles lançados diretamente no ar.
- **Secundários:** são formados pelas reações químicas que ocorrem na atmosfera, sob determinadas condições físicas e de acordo com outras substâncias em suspensão no ar (é o caso do SO_3 , que reage com o vapor d'água e forma a chuva ácida).

De acordo com Spiro e Stigliani (2009), uma série de substâncias podem poluir o ar. Contudo, as mais conhecidas, alvo de monitoramento e medidas de controle são:

- Monóxido de carbono (primário)
- Dióxido de enxofre (primário)
- Compostos orgânicos tóxicos
- Materiais particulados (primário)
- Óxidos de nitrogênio (primário)
- Compostos orgânicos voláteis

Desses compostos listados, os quatro primeiros são capazes de causar efeitos diretos na saúde humana. Os dois últimos são responsáveis pela formação do efeito *smog*, e provocam danos em razão da produção de ozônio e outras moléculas oxidantes. Nesse momento cabe ressaltar que o ozônio, apesar de ser benéfico por formar a camada de ozônio, quando presente em baixas altitudes, é um composto extremamente tóxico, podendo ser letal para o ser humano.

O **monóxido de carbono** é um gás levemente inflamável, incolor, inodoro e extremamente perigoso por sua grande toxicidade. É produzido pela queima de materiais em condições de pouco oxigênio (combustão incompleta) e/ou altas temperaturas carvão ou outros materiais ricos em carbono, como derivados de petróleo.



Atmosfera: composição, perfil térmico e circulação geral

Prof. Ms. Luiz Rogério Mantelli

Objetivos:

Conhecer as características físicas da atmosfera, os processos de circulação do ar e a distribuição da temperatura na superfície da Terra.

Palavras-chave:

Perfil da atmosfera;
composição atmosférica;
circulação do ar.



Não é difícil entender porquê é tão importante conhecer a composição, as características e os processos que ocorrem na nossa atmosfera. Como já foi estudado, os compostos lançados no ar, dito poluentes, sofrem grande influência por conta das condições atmosféricas. Essas condições serão estudadas na sequência.

Composição da atmosfera

A composição da atmosfera é resultado de uma série de processos físico-químicos e biológicos, iniciados há milhões de anos. A teoria mais aceita atualmente para explicar essa evolução é a de que, há milhões de anos, a Terra, sem atmosfera presente, formou-se através do acúmulo de partículas sólidas de tamanhos variados, provenientes da nuvem de gás e poeira que originou o Sistema Solar. Com o tempo, essas partículas sofreram aquecimento e desencadearam uma série de reações que culminou na formação da atmosfera, primordialmente composta por gás carbônico e vapor d'água, sem a presença de oxigênio até então (Braga *et al.* 2005).

Somente alguns milhões de anos depois, com o surgimento dos oceanos, formou-se um ambiente favorável para surgimento de vegetação, capaz de realizar fotossíntese e, dessa maneira, começou a ser produzido e liberado oxigênio gasoso para a atmosfera. Com o passar dos anos o nível foi aumentando até atingir as concentrações atuais.

Fisicamente, o ar pode ser considerado como um fluido ideal compressível, o que lhe confere características diferentes da água no que se refere aos processos termo e hidrodinâmicos. Também diferentemente da água, é consumido pelos seres humanos na forma como se apresenta na natureza, sem nenhum tipo de tratamento, devendo portanto, em qualquer ambiente habitável, estar em condições próprias para consumo. Contudo, é preciso reconhecer quais são essas condições.

Mesmo desconsiderando-se as fontes de poluição instaladas pelos homens, não é possível afirmar que existe ar totalmente livre de poluentes. Isso deve-se ao fato de que muitas das substâncias consideradas poluentes têm sua origem em fontes naturais. No entanto, considera-se um ar puro aquele que apresenta níveis que não comprometem o meio ambiente, em concentrações próximas dos valores médios de locais de baixo ou nenhum impacto de fontes significativas de poluição do ar. Dessa forma, a composição média dos gases na atmosfera pode ser entendida da seguinte maneira (Quadro 1):

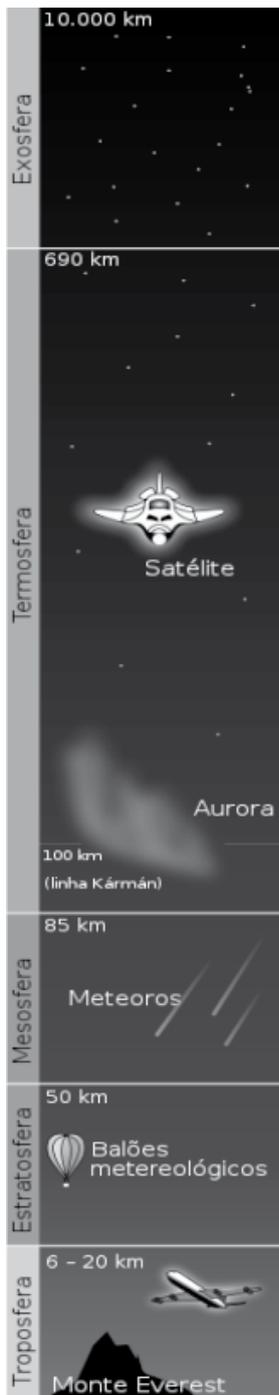
Quadro 1. Distribuição percentual do volume médio de gases na atmosfera terrestre

Gases	Volume (%)
Nitrogênio (N ₂)	78,11
Oxigênio (O ₂)	20,95
Argônio (Ar)	0,934
Gás Carbônico (CO ₂)	0,033

Apesar da composição natural variar ligeiramente de acordo com as condições locais, as concentrações médias dos gases que a compõem podem ser determinadas com razoável precisão.

Estão presentes, ainda, uma série de outros gases em percentuais muito baixos, tais como neônio, criptônio, hélio, xenônio, hidrogênio, metano, etc. Há ainda cerca de 1% a 4% de água no volume da mistura total (Derisio, 2000).

As concentrações de gases na atmosfera, poluentes ou não, são normalmente expressas em miligramas por metro cúbico (mg/m³), microgramas por metro cúbico (µg/m³), em porcentagem de volume de ar (%v) ou partes por milhão em volume de ar (ppm v). A composição dos gases acima descritos, no entanto, não é igual em todas as altitudes na atmosfera: a maior parte dos gases está presente nos níveis mais baixos. Essa é uma característica importante que será estudada na sequência.



Perfil térmico da atmosfera

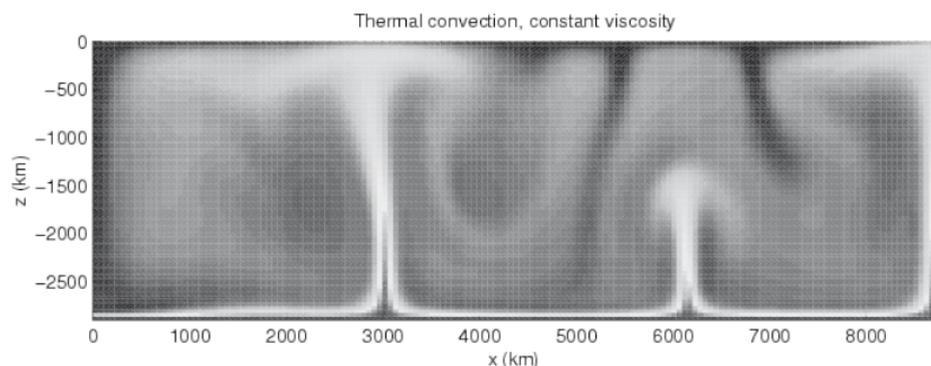
Certamente você já deve ter ouvido falar em ar rarefeito ou com pouco oxigênio. Também já deve ter notado que esses termos são frequentes quando tratamos de assuntos relacionados a locais altos, montanhas, etc. Como veremos a seguir, à medida que a altitude numa determinada região aumenta, a temperatura e pressão atmosférica diminuem. Essa combinação faz com que a disponibilidade de O_2 no ar esteja diminuída causando, em casos extremos, dificuldades respiratórias. Vejamos as explicações seguintes.

Verticalmente, a atmosfera pode ser descrita conforme a variação de diversos parâmetros. A distribuição em camadas com base no perfil vertical térmico, é a considerada mais correta do ponto de vista ambiental. A figura ao lado ilustra a divisão em camadas, realizada com base no perfil térmico mencionado.

A troposfera é a camada mais fina (10 km de espessura), localizada próxima ao solo, que concentra 90% dos gases discriminados no quadro acima. Nesta camada, a temperatura decresce com a altitude numa razão de cerca de $6,5^\circ C/km$ e é onde ocorrem quase todos os fenômenos meteorológicos, já que concentra cerca de 90% do ar do planeta (Braga *et al.*, 2005).

Na base da troposfera encontra-se a Camada Limite Planetária (CLP) (também chamada Camada Limite Atmosférica, CLA), com altura típica de 2 km, na qual os efeitos da superfície são importantes, como o ciclo diurno de aquecimento e o resfriamento. Acima da camada limite, considera-se a atmosfera livre ou camada geostrófica, com efeitos menores da superfície. Em geral, durante o dia, a CLP é uma camada convectiva (Figura 2); durante a noite, é estável junto à superfície que se resfria por perda radiativa do calor acumulado durante o dia.

Figura 2. Convecção térmica atmosférica



Uma forma mais didática de explicar isso seria a seguinte:

Durante o dia, a radiação solar incidente sobre a Terra tende a aquecer a sua superfície e por conseguinte as camadas acima mais próximas a ela. Este ar mais quente e menos denso nos baixos níveis tende a ascender na atmosfera, gerando uma condição de instabilidade. No período noturno, a Terra perde radiação na forma de onda longa e esfria-se, resfriando também o ar adjacente. Nesta condição, o ar mais frio (mais denso) tende a se manter nos baixos níveis, inibindo o movimento vertical na atmosfera, condição que denominamos estável.

Acima da troposfera localiza-se a estratosfera, cuja temperatura possui uma amplitude de variação baixa até cerca de 20km de altitude, quando volta a aquecer-se. Do ponto de vista ambiental, esta também é uma camada importante, pois é nela que observamos a chamada camada de ozônio estratosférica (conhecida também como ozonósfera), com máxima concentração em torno de 30km de altitude.



Circulação geral da atmosfera

Os grandes responsáveis por influenciar a dispersão de poluentes na atmosfera são os ventos. Suas origens estão relacionadas a dois fenômenos.

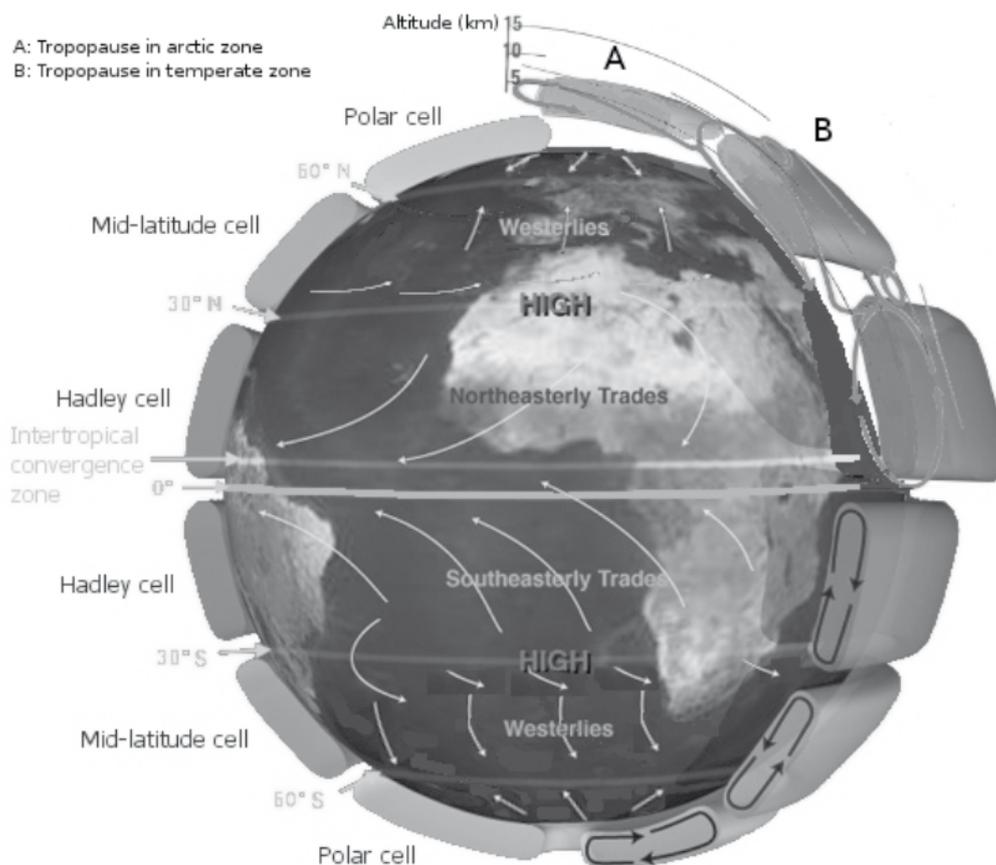
O primeiro é a distribuição heterogênea de energia solar no planeta. Esta característica é de extrema importância, uma vez que promove um aquecimento "desigual" da superfície terrestre e, dessa maneira, causa uma variação horizontal de temperatura e pressão. O fenômeno é mais conhecido como "força devida ao gradiente horizontal de pressão".

O segundo fenômeno, que atua na formação dos ventos (movimentação das massas de ar), é chamado força de Coriolis. Esta força é devida ao movimento de rotação da Terra. Próximo à linha do Equador, a velocidade tangencial de rotação é maior que nos polos, provocando uma movimentação desuniforme das massas de ar (Lacava e Chain, 2006).

A definição do movimento da atmosfera terrestre, considerando as duas forças descritas, é chamada de vento geostrófico. Essas correntes de vento são misturadas por três grandes células (Figura 3):

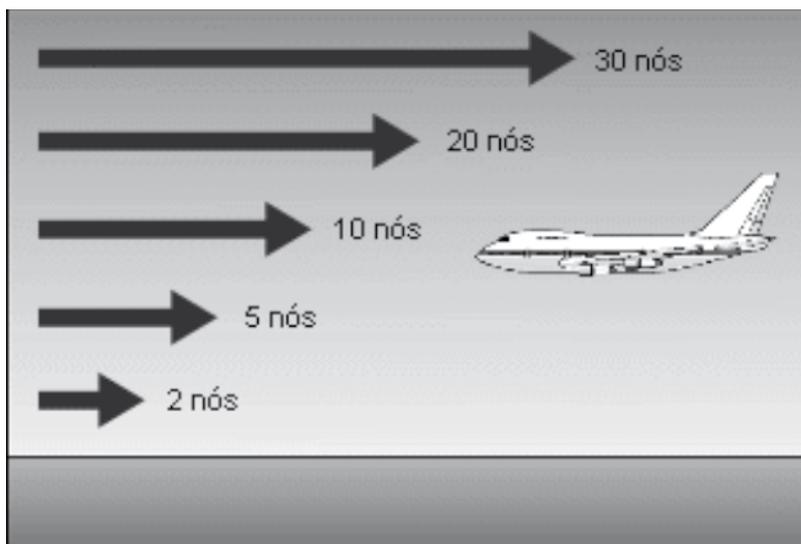
- Células de Hadley;
- Células de Ferrel;
- Células polares.

Figura 3. Note na figura a localização das células de movimentação das correntes de vento. As Células de Ferrel são representadas na figura pela "Mid-latitude cell".



Contudo, apesar de ser uma teoria bastante fundamentada, a aproximação geostrófica somente deve ser tomada como base para explicar a circulação em escala planetária na atmosfera livre, acima da CLP. Na CLP, no entanto, há fortes influências de outros fatores como a força de atrito exercida pelo ar, que acaba diminuindo a velocidade do vento nas camadas inferiores da atmosfera, fenômeno conhecido como cisalhamento do vento (Figura 4) (Lacava e Chain, 2006).

Figura 4. Efeito de cisalhamento do vento. Note que nas camadas superiores a velocidade do vento é maior.



O comportamento do vento e do perfil vertical de temperatura na CLP são causadores de um outro fenômeno bastante importante nos baixos níveis da troposfera, que é a chamada difusão turbulenta, ou simplesmente turbulência. A difusão turbulenta possui uma escala de grandeza muito maior que a difusão molecular. Do ponto de vista físico, o ar na CLP comporta-se como um fluido que escoar em um regime de turbulência.

Embora a circulação geral da atmosfera possa ser descrita pelo resultado das forças aqui apresentadas, a circulação ainda sofre influência de outros fatores, tais como a distribuição dos oceanos e continentes e suas diferentes capacidades de absorção de calor, fatores estes que tornam a circulação real distinta em parte da situação idealizada.

No próximo capítulo serão estudados com maiores detalhes as variáveis e os fenômenos meteorológicos mais importantes relacionados à poluição atmosférica.



Referências

BRAGA B, HESPANHOLI I, CONEJO JGL, BARROS MTL, SPENCER M, PORTO M, NUCCI N, JULIANO N, EIGER S. **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo, Prentice Hall, 305p, 2005.

DERISIO JC. **Introdução ao Controle de Poluição Ambiental**. São Paulo, Editora Signus, 2ª ed., 164 p., 2000.

LACAIVA CIV, CHAIN RCP. **Técnicas de Controle da Poluição do Ar e Sonora**. Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental, Universidade Metodista de São Paulo, 2006.

SPIRO TG, STIGLIANI WM. **Química Ambiental**. São Paulo, Pearson Prentice Hall, p. 103-150, 2009.



Meteorologia e dispersão dos poluentes

Prof. Ms. Luiz Rogério Mantelli

Objetivos:

Entender os processos de dispersão de poluentes na atmosfera; conhecer o fenômeno de inversão térmica e os efeitos consequentes para vida no planeta; compreender as diferenças entre tempo e clima.

Palavras-chave:

Dispersão de poluentes; estabilidade térmica; inversão térmica; tempo; clima.





Para entender a dispersão de poluentes na atmosfera é fundamental conhecer a forma e os gradientes de temperatura que influenciam esse processo. Um exemplo bastante simples pode ser dado para facilitar esse entendimento. Imagine que você possuiu um balão cheio de ar e que, de alguma maneira, ele possa subir e descer na atmosfera. Imagine também que esse balão está isolado termicamente, não sofrendo nenhum tipo de troca de calor. Se elevarmos o balão, ele irá expandir-se devido ao decréscimo da pressão externa (lembre que quanto maior a altitude, menor a pressão atmosférica). À medida que o balão expande, sua temperatura diminui (propriedade química dos gases). O decréscimo da temperatura com a altitude, nesse caso (sem troca de calor), é chamado de "gradiente de temperatura adiabático seco". Esse decréscimo equivale a 6,5°C a cada 1km de altitude (Braga *et al.* 2005). Com esses parâmetros em vista, é possível encontrar quatro estados de disposição da temperatura na atmosfera.

1

Atmosfera instável - quando a temperatura atmosférica diminui mais do que a adiabática, a atmosfera é dita superadiabática. Num cenário como esse, quando o balão é colocado em uma altitude determinada, ele acaba passando para uma elevação maior. Extrapolando essa história para a dispersão de poluentes na atmosfera, quando uma situação superadiabática é verificada, tem-se um ambiente instável, que permite maior dispersão dos poluentes;

2

Atmosfera estável - ao contrário, quando a temperatura atmosférica diminui mais lentamente do que a adiabática, a atmosfera é dita subadiabática, dificultando a dispersão dos poluentes, o que garante maior estabilidade. Nesse caso, o balão permaneceria na mesma posição, já que o estado subadiabático não proporciona mistura vertical. Em eventos de emissão excessiva de poluentes, essa condição propicia o desenvolvimento de episódios críticos de poluição;

3

Atmosfera extremamente estável - caso a temperatura da atmosfera aumente proporcionalmente à altitude, representando um caso extremo, ocorre o fenômeno chamado inversão térmica. Nesse cenário, o ar torna-se extremamente instável e os níveis de poluição tendem a elevar-se. Vale ressaltar que é preciso levar em conta a carga de poluentes lançados no ar;

4

Atmosfera neutra – quando a parcela de ar está sempre em equilíbrio com a atmosfera ao seu redor, pois não há forças termais atuando.

Tendo-se em vista a dispersão de poluentes, a pior condição esperada é a que caracteriza uma atmosfera extremamente estável. A melhor condição está relacionada à atmosfera instável, uma vez que o ar poluído sobe rapidamente, permitindo a diluição nos níveis mais elevados.

A estabilidade atmosférica é a variável meteorológica que vai definir até que altura a poluição irá subir na atmosfera. Essa camada onde os poluentes ficam restritos é chamada de *camada de mistura*, sendo a altura do topo dessa camada denominada *altura de mistura* (Lacava e Chain, 2006).

A **Figura 5** apresenta o comportamento de uma pluma de poluição associada aos diferentes perfis verticais de temperatura. Uma pluma de poluição indica a trajetória espacial de um poluente que sai de uma chaminé. A linha sólida à esquerda representa a variação da temperatura com a altitude nas diferentes condições. A linha pontilhada representa o perfil adiabático, que pode ser considerado como perfil médio da atmosfera, para referência. Nos dias em que a atmosfera se aproxima do perfil adiabático, considera-se que esta possuiu uma condição neutra.

Quadro 2. Classes de estabilidade de Pasquill - Gifford

Velocidade do Vento (m/s)	Dia			Noite	
	Radiação Solar Incidente			Cobertura de Nuvens	
	Forte	Moderada	Fraca	$\geq 1/2$	$\leq 3/8$
< 2	A	A-B	B		
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B		C	D	D
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

(Fonte: Adaptado de Stern, 1976)

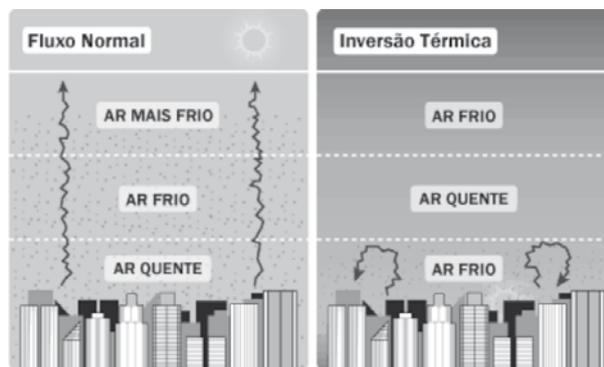
Como já foi discutido anteriormente, quando a atmosfera está extremamente estável ocorre um fenômeno denominado *inversão térmica*, observado principalmente nos meses mais frios.

De forma simplificada, uma inversão térmica ocorre quando a temperatura do ar está mais quente em altitudes maiores, quando comparada à superfície terrestre. É um fenômeno que dificulta a convecção natural pela inversão do gradiente de temperatura. Com isso, pode ocorrer confinamento de grandes quantidades de poluentes. As inversões térmicas podem ocorrer em várias altitudes da atmosfera, contudo, as mais preocupantes são as inversões em baixa altitude (100 a 300 metros), por sua capacidade de dificultar a dispersão dos poluentes gerados nos centros urbanos (**Figura 6**). A **Figura 7**, a seguir, ilustra a inversão do gradiente de temperatura da atmosfera.

Figura 6. Concentração de poluentes em baixas altitudes na cidade de São Paulo.



Figura 7. Configuração da atmosfera de forma a propiciar a ocorrência de inversão térmica.



Tempo e clima

Tempo meteorológico e clima são duas importantes áreas da Meteorologia. Cabe, nesse momento, realizar uma descrição clara do que vem a ser cada uma dessas áreas e qual sua importância para as questões ligadas à poluição atmosférica. Tempo meteorológico é o conjunto das variáveis meteorológicas para um dado período curto de tempo, para uma dada região. Clima é uma generalização estatística das condições do tempo meteorológico, analisado em períodos mais longos, para uma dada região. Para que a explicação fique mais clara, acompanhe a seguinte situação como exemplo:

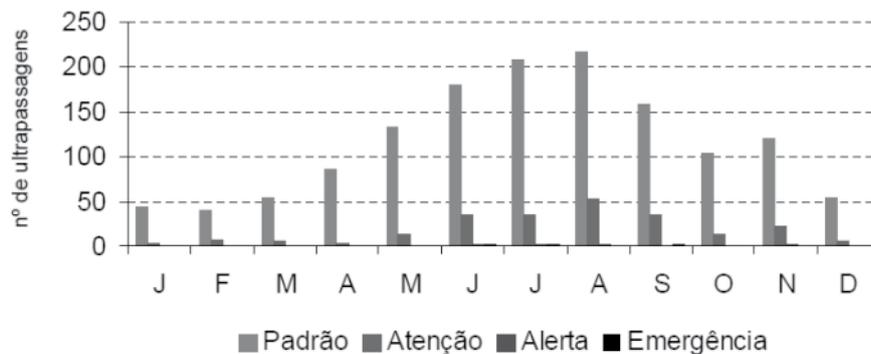
Quando dizemos que um dia está frio, ou mesmo que a semana passada foi fria, estamos nos referindo à condição de tempo meteorológico. Por outro lado, ao dizer que o mês de julho é um mês frio, significa que estamos considerando uma análise realizada com uma série histórica de dados climatológicos, que nos permite concluir que o mês de julho é, em média, mais frio que os demais meses do ano.

Do ponto de vista da poluição do ar, esta também mantém correlação com as diferentes análises baseadas nas condições de tempo e clima. Por exemplo, pode-se dizer que um determinado dia apresentou concentrações mais altas associadas às condições do tempo meteorológico, como pouca ventilação. Contudo, pode-se dizer também que determinado mês ou estação do ano é mais poluída, em virtude das condições do clima da região nesse período (Lacava e Chain, 2006).



Para que a explicação possa tornar-se mais clara, a **Figura 8** ilustra um exemplo de aspectos climáticos relacionados com a poluição do ar. A análise, baseada em 19 anos de dados, mostra que o número de ultrapassagens do Padrão de Qualidade do Ar (PQAR) para o poluente *partículas inaláveis* (MP10), na Região Metropolitana de São Paulo, é maior para os meses de junho, julho e agosto, resultado das condições climatológicas desses meses.

Figura 8. Número de ultrapassagens do PQAR e níveis críticos de partículas inaláveis (MP10) na Região Metropolitana de São Paulo, acumulado de 1982 a 2000 (Fonte: Lacava e Chain, 2006).



Outras variáveis importantes para estudo

O **vento horizontal**, definido pelas variáveis *velocidade* e *direção*, é um dos parâmetros mais importantes para estudos relacionados à poluição do ar. O vento horizontal é responsável pelo transporte dos poluentes e contribui para a diluição desses compostos na atmosfera.

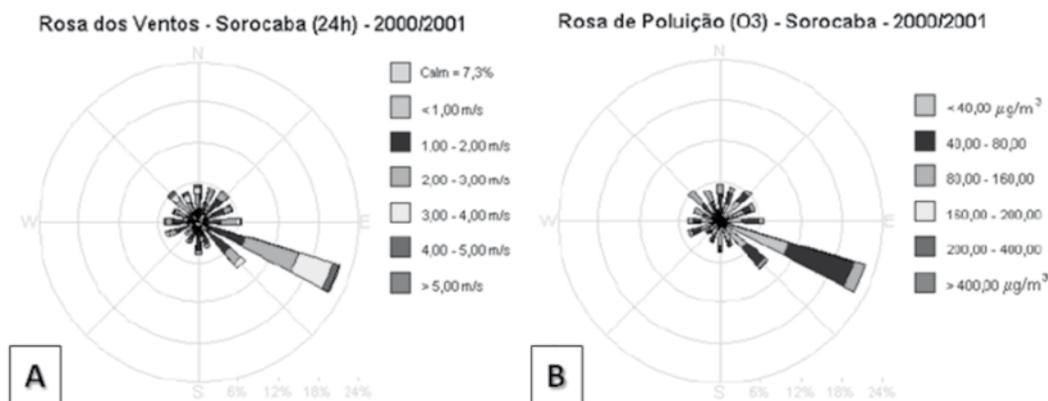
O vento sofre efeito dos diversos fenômenos meteorológicos de diferentes escalas espaciais, podendo variar sua direção e velocidade, dependendo do sistema atuante. A direção do vento é um parâmetro que pode ser bastante variável em pequenos períodos de tempo. Uma variação, por exemplo, da ordem de 30° na direção do vento em 1 hora é algo bastante comum. Em períodos de 12h, o vento médio pode variar em mais de 180°, como é o caso do efeito das brisas marítima e terrestre.

Direção e velocidade do vento têm um efeito fundamental na qualidade do ar. Áreas na direção do vento que passa por uma fonte de poluição, terão concentrações mais altas que áreas equidistantes, mas que não estão na rota da corrente que passa pela fonte poluidora. Se o vento for persistente, a situação tende a se agravar. Se o vento for mais variável em direção, os poluentes irão se dispersar em um volume maior de ar.

Uma maneira muito utilizada para representar a distribuição predominante dos ventos é através da construção de uma Rosa dos Ventos. Também é comum encontrar, nesse tipo de diagrama, a dispersão dos poluentes de uma região, chamada de Rosa de Poluição (**Figura 9**).



Figura 9. Exemplo de Rosa dos Ventos (A) e Rosa de Poluição (B) para a cidade de Sorocaba. Note uma direção preferencial para dispersão dos poluentes para Sudeste (Fonte: Adaptado de CETESB, 2004).



A **umidade do ar** é um parâmetro que influencia fortemente na concentração de poluentes. Uma baixa umidade relativa pode resultar no aumento das concentrações de material particulado pela ressuspensão de poeira do solo seco. Por outro lado, a alta umidade, normalmente observada no período da manhã, pode provocar a formação de névoa úmida e nevoeiro, que tendem a bloquear em parte a radiação solar incidente e, com isso, aumentar o tempo de vida de inversões térmicas (Lacava e Chain, 2006).

A **precipitação** é outro fator que influencia na qualidade do ar. Ela pode ocorrer na forma de chuvas, neve ou granizo. Em termos de poluição, interessam principalmente os processos que ocorrem com as chuvas, uma vez que é o tipo predominante nas condições climáticas brasileiras. O principal efeito da precipitação sobre os poluentes é a remoção, já que parte do material particulado (poeira) e gases solúveis em água são incorporados às gotas e se depositam na superfície (deposição úmida). O solo úmido também evita que haja ressuspensão de poeira (Lacava e Chain, 2006).

A **radiação solar**, além de ser a fonte principal de energia que influencia no tempo e no clima, afeta diretamente os poluentes na atmosfera. Um dos seus efeitos mais importantes é a interferência nas reações químicas que ocorrem na atmosfera, que dão origem a muitos dos poluentes secundários, tais como o ozônio (Lacava e Chain, 2006).

Da mesma forma, o percentual de **cobertura de nuvens** em uma região também é uma informação importante nos estudos de poluição do ar, uma vez que interfere diretamente na radiação solar que incide na superfície. Nos estudos de poluentes secundários de origem fotoquímica, a nebulosidade presente deve ser considerada, pois impede que parte da radiação solar chegue à atmosfera próxima da superfície, inibindo a formação desses poluentes (Lacava e Chain, 2006).



Referências

- BRAGA B, HESPANHOLI I, CONEJO JGL, BARROS MTL, SPENCER M, PORTO M, NUCCI N, JULIANO N, E EIGER S. **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo, Prentice Hall, 305p, 2005.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo - 2003**. São Paulo, 2004.
- PASQUILL F. **Atmospheric Diffusion**. Van Nostrand, London, 1962.
- LACAVA CIV, CHAIN RCP. **Técnicas de Controle da Poluição do Ar e Sonora**. Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental, Universidade Metodista de São Paulo, 2006.
- STERN AC. **Air Pollution**, - Vol. 3 – Measuring, Monitoring and Surveillance of Air Pollution. New York, Academic Press, 3ª ed., 799 p., 1976.



Efeitos globais da poluição atmosférica

Prof. Ms. Luiz Rogério Mantelli

Objetivos:

Conhecer os efeitos da poluição atmosférica; entender o que é efeito estufa e como ele é importante para a manutenção da temperatura da Terra; compreender o processo de destruição da camada de ozônio e da formação da chuva ácida; reconhecer os efeitos desses problemas ambientais para os seres vivos e os prejuízos materiais inerentes.

Palavras-chave:

Efeito estufa; camada de ozônio; chuva ácida.



Quando a dispersão de poluentes é analisada do ponto de vista espacial, é preciso levar em consideração que as fontes emissoras podem ser *móveis*, como os carros, por exemplo, ou *estacionárias*, como as chaminés das indústrias ou os vulcões em atividade. Do ponto de vista das cargas de poluentes produzidas, elas podem ser classificadas como *pontuais* (fontes estacionárias) ou *difusas* (fontes móveis).

Conhecer essas diferenças é extremamente importante, já que o enfoque dado à resolução de determinado problema é diferente em cada caso. Com isso, surge uma última classificação que determina, de fato, a escala de ocorrência de um problema. Quando uma poluição é verificada de forma regional, numa área relativamente pequena, trata-se o fato como problema local. Contudo, quando o impacto envolve todo o planeta e exige esforço conjunto de diversos países para sua resolução, trata-se como problema global.

Muitos dos impactos decorrem do próprio crescimento da população e são consequências dos padrões de vida e de consumo desejados pelas populações. Outros se dão pelo modelo de desenvolvimento e exploração dos recursos naturais, que não se preocupam com os efeitos ambientais na maioria dos casos. Vários exemplos podem ser dados como consequência negativa dos impactos globais, como a extinção de espécies, a perda de variabilidade genética, a diminuição da disponibilidade de recursos naturais de qualidade, como a água doce.

Neste capítulo serão estudados quatro fenômenos de poluição atmosférica bem conhecidos e de importância global: aumento do efeito estufa, redução da camada de ozônio, chuva ácida e poluição nos grandes centros urbanos.

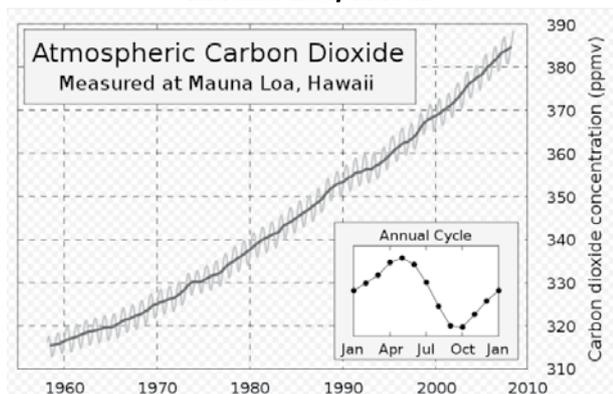
Efeito Estufa

Um dos problemas ambientais mais discutidos na atualidade é o fenômeno conhecido como efeito estufa. É de extrema importância conhecer com detalhe os processos inerentes a esse fenômeno, uma vez que ele ocorre naturalmente e é um dos responsáveis pela manutenção da vida na Terra. A maneira correta de abordar o problema é falando do *aumento do efeito estufa*.

O efeito estufa natural permite a manutenção da temperatura da superfície na casa dos 15°C. Como já comentado, do contrário a superfície do planeta seria extremamente fria para a existência da vida. Contudo, atualmente é comum relacionar o aumento antropogênico da temperatura ao fenômeno em questão. Esse aumento é demasiado, sobretudo na baixa atmosfera. Essas variações são co-responsáveis pelas alterações no clima e nos sistemas de tempo meteorológicos, pela elevação do nível dos oceanos, etc.

O aumento do efeito estufa está diretamente relacionado ao aumento da concentração dos chamados "gases do efeito estufa" (GEE) na atmosfera. Os principais gases são o gás carbônico (CO_2) e o vapor d'água. Também podem ser citados outros gases, como o metano (CH_4), o óxido de nitrogênio (N_2O), o ozônio O_3 troposférico e os CFCs que, como já comentado, são emitidos exclusivamente pelos homens. A **Figura 10** ilustra o aumento da média de concentração de CO_2 , historicamente, no observatório de Mauna Loa.

Figura 10. Aumento da concentração de CO_2 medida no observatório de Mauna Loa, Havaí.



O fenômeno pode ser explicado da seguinte maneira: a energia solar que chega no topo da atmosfera é absorvida pela própria atmosfera. Parte desta energia é refletida pelas nuvens e parte é então absorvida pela superfície da Terra. Esta radiação absorvida pelo planeta aquece a superfície e é convertida em radiação infravermelha, reemitida pelo planeta de volta para o espaço. Ocorre que a atmosfera terrestre é praticamente transparente para a radiação emitida pelo Sol, de comprimento de onda mais curto, e menos transparente para a radiação emitida pela Terra (o infravermelho), de comprimento de onda mais longo. Assim, a atmosfera terrestre permite que a radiação solar, na faixa do ultravioleta

e visível, passe através dela, enquanto retarda a radiação infravermelha emitida pela Terra, diminuindo a perda radiativa e mantendo um aquecimento constante. A **Figura 11** auxilia na compreensão do fenômeno acima explicado.

Com isso, conclui-se que o aumento do efeito estufa se dá pelo aumento do lançamento de GEE pelas atividades humanas, principalmente a queima de combustíveis fósseis, que vem ocorrendo a partir do início da era industrial. De acordo com o importante órgão ambiental internacional IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), uma variação no balanço líquido de energia na atmosfera terrestre age como uma forçante radiativa. Forçantes positivas aquecem a Terra e forçantes negativas a esfriam.

O **Quadro 3** foi retirado do trabalho elaborado por Godish (1994). Ele foi realizado em 1994, sumariza as emissões de GEE na era pré-industrial e fez estimativas para as emissões desses gases no ano de 2000. O quadro também mostra as estimativas da efetividade radiativa (capacidade de absorver energia térmica) e da contribuição relativa dos principais GEE para o ano 2000.

Quadro 3. Contribuição dos gases do Efeito Estufa

	CO ₂	CH ₄	CFCs	NO ₂	O ³
Concentração pré-industrial	280 ppmv	0,7 ppmv	0 ppmv	270 ppbv	13 ppbv
Concentração em 2000	368 ppmv	1,76 ppmv	800 pptv	316 ppbv	20 ppbv
Efetividade radiativa	1	21	13000-16000	206	2000
Contribuição relativa (%)	56	18	13	6	8

Fonte: Elsom (1992) citado por Godish (1994).

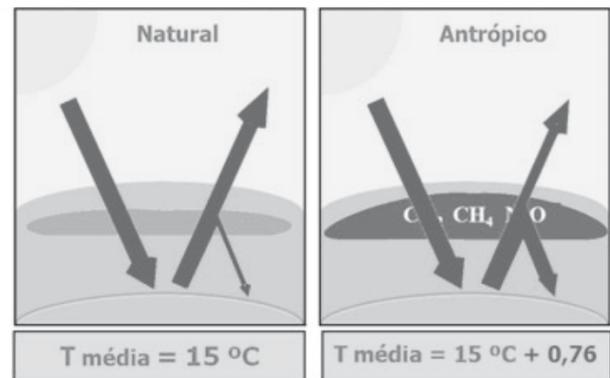
A análise das informações acima mostra que o dióxido de carbono (CO₂) apresentou um acréscimo de cerca de 32% desde 1750. Nas últimas duas décadas esse aumento ocorreu na ordem de 0,4% ao ano. Como já comentado, o CO₂ é o principal causador do efeito estufa, estando suas emissões em grande parte (70% a 90%) relacionadas à queima de combustíveis fósseis. O tempo de vida estimado do CO₂ na atmosfera é de cerca de 100 anos, sendo removido principalmente pelos oceanos e pelas florestas.

Contudo, vale ressaltar que a emissão de CO₂ é desigual quando comparamos diferentes regiões do planeta. Para ilustrar essa distribuição, a **Figura 12** mostra graficamente as emissões desse gás em diferentes regiões do planeta.

Figura 12. Variação das emissões globais de CO₂.



Figura 11. Representação esquemática de ocorrência do efeito estufa (Fonte: Adaptado de CENA/USP, 2010)





A análise da figura mostra claramente uma tendência de menor emissão nos países subdesenvolvidos e em desenvolvimento. O Brasil, em 2006, ocupava o 17º lugar no ranque de países emissores de CO₂. As três primeiras posições eram ocupadas, respectivamente, por China, Estados Unidos e União Europeia (UNSD, 2010).

O segundo gás que mais contribui para o agravamento do efeito estufa é o metano (CH₄). Dentre as diversas fontes emissoras deste gás, merecem destaque as áreas de cultivo de arroz, as criações de gado e a disposição e tratamento inadequados de lixo. Contudo, as emissões de metano são estáveis e, em alguns casos, como nos países desenvolvidos, decrescentes. Outro gás importante é o óxido nitroso (N₂O), liberado principalmente pelo uso de fertilizantes. De forma muito similar ao metano, as emissões parecem estar sob controle nos países desenvolvidos.

Embora as emissões dos dois gases citados anteriormente (metano e óxido nitroso) estejam sob controle, ainda assim eles são considerados como importantes agravantes do efeito estufa. Isso se deve à grande capacidade de absorção de calor desempenhada por esses compostos. Só para se ter ideia, uma única molécula de CH₄ equivale ao poder acumulado por 21 moléculas de CO₂. Para o óxido nitroso a situação é ainda mais preocupante, já que uma única molécula de N₂O possui o poder de absorção de 206 moléculas de CO₂.

Além de N₂O e CH₄, os CFCs e o ozônio também possuem alto poder de absorção da radiação infravermelho, emitida pela Terra. Contudo, as emissões de CFCs têm diminuído devido ao malefício que esses compostos causam para a camada de ozônio, como já comentado. Para se ter uma ideia das causas do efeito estufa, o relatório do IPCC publicado em 2001 mostrou que a Terra sofreu um aumento entre 0,45°C a 0,6°C somente no século 20. Nessa mesma publicação, os cientistas apontaram que os 7 anos mais quentes nos últimos 140 ocorreram entre 1990 e 2000. Esse dado se torna ainda mais alarmante quando consideramos que esse aumento foi verificado, sobretudo, em regiões de médias e altas latitudes do Hemisfério Norte, justamente onde está localizada boa parte das geleiras restantes.

Certamente há uma série de erros inerentes aos processos de pesquisa nesses relatórios. As previsões são baseadas em modelos matemáticos aproximados. Muitas áreas do planeta não possuem coletas primárias de dados. Mesmo assim, as previsões devem ser levadas em conta e medidas mitigatórias devem ser buscadas a cada dia. Dentre algumas das consequências do aumento da temperatura na Terra, merecem destaque (Lacava e Chain, 2006):

- as mudanças nos regimes de chuva: espera-se um aumento da evaporação. Isto significa que choveria mais, mas a água evaporaria mais rápido, deixando os solos mais secos e agravando o problema já existente de disponibilidade de água;
- a redução das diferenças de temperatura entre o dia e a noite; redução das variações de temperatura durante o inverno e aumento durante o verão no Hemisfério Norte;
- a elevação dos níveis dos mares, com o derretimento das geleiras e a expansão térmica dos oceanos, ameaçando zonas costeiras e pequenas ilhas de baixa altitude;
- o aumento de eventos extremos de tempo meteorológico, ou seja, ocorrência de dias mais quentes, mais chuvosos, risco de secas etc.

Caso essas previsões ocorram, de fato, os países em desenvolvimento serão provavelmente os que mais sofrerão, já que muitos simplesmente não possuem recursos científicos e econômicos ou os sistemas de segurança social necessários para enfrentar as mudanças do clima. Há, portanto, dados suficientes para afirmar que medidas mitigadoras necessitam ser tomadas para impedir o avanço das mudanças no clima (Lacava e Chain, 2006).

Na tentativa de conter as emissões de GEE, um dos marcos mais importantes foi a assinatura do Protocolo de Quioto, durante a Convenção Internacional sobre Melhoria Climática, sediada em Quioto (Japão), em 1997. O Protocolo de Quioto é consequência de uma série de eventos iniciada com a *Toronto Conference on the Changing Atmosphere*, no Canadá (outubro de 1988), seguida pelo *IPCC's First Assessment Report em Sundsvall*, Suécia (agosto de 1990) e que culminou com a *Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança Climática* (CQNUMC, ou UNFCCC em inglês) na ECO-92 no Rio de Janeiro, Brasil (junho de 1992).

Destruição da Camada de Ozônio Estratosférico

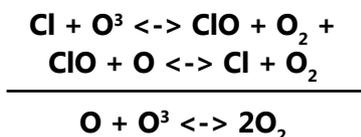
Como já comentado, o ozônio localizado entre 15 km e 60 km de altitude representa uma proteção à vida terrestre contra a radiação solar, sobretudo a ultravioleta (UV), impedindo que níveis excessivos atinjam a superfície. De acordo com o comprimento de onda da emissão solar, a radiação UV pode ser dividida em três grupos distintos (**Quadro 4**):

Quadro 4. Tipos de radiação ultravioleta.

Tipo de radiação Ultravioleta	Comprimento de onda característico (nm)	Observações
UV-A	320-400	Radiação com comprimento de onda próximo à luz visível (violeta), não é absorvida pela camada de ozônio
UV-B	280-320	Apresenta vários efeitos prejudiciais, como alterações do DNA, causando doenças de pele como melanoma, entre outras. Também pode causar danos em plantações. A camada de ozônio é capaz de filtrar boa parte da radiação UVB
UV-C	<280	É extremamente prejudicial, contudo, é inteiramente absorvida pela camada de ozônio atmosférica

Fonte: Adaptado de Braga *et al.*, 2005.

A destruição da camada de ozônio se dá pela ação de moléculas de cloro (Cl) proveniente dos CFCs. Como já comentado, uma única molécula de cloro é capaz de destruir até 10 mil moléculas de ozônio, de acordo com a reação abaixo:



O fenômeno de redução da camada de ozônio é especialmente intenso na estratosfera da Antártida, cujas razões ainda não são total consenso entre os cientistas. Mas uma teoria, aceita, é de que a presença de um vórtice circumpolar sobre a Antártida, com ventos fortes que isolam esta região da circulação geral e provocam temperaturas no interior do vórtice nos períodos de inverno muito baixas, que formariam nuvens estratosféricas e tornariam o cloro estratosférico mais reativo (Lacava e Chain, 2006).

Como prováveis efeitos do aumento à incidência de radiação UV à saúde podem ser destacados uma maior incidência de catarata; queimaduras e câncer de pele; prejuízos ao sistema imunológico; redução da camada de gordura, com aumento de infecções fúngicas e bacterianas; envelhecimento precoce da pele e sua degeneração elástica. Os danos à vegetação também são significativos, especialmente à agricultura, com redução da fotossíntese e do crescimento das plantas (Lacava e Chain, 2006).

Chuva Ácida

Outro grave problema que está relacionado à poluição atmosférica é a conhecida chuva ácida. Esse é um fenômeno provocado pela reação do vapor d'água atmosférico com os gases nitrogenados e sulfurados produzidos principalmente por atividades industriais. Essa reação produz o ácido nítrico e o ácido sulfúrico, que acabam precipitando pela ação da chuva (Braga *et al.*, 2005). A **Figura 14**, a seguir, ilustra o processo de formação da chuva ácida.

Embora a água, ao se condensar na atmosfera, apresente pH igual a 7 (considerado neutro), quando precipita em uma atmosfera livre de poluição, a água da chuva apresenta uma condição naturalmente

ácida, com pH de 5,65 devido a presença natural de CO_2 na atmosfera. No entanto, em uma atmosfera poluída por outros gases ácidos, principalmente óxidos de enxofre (SO_x) e óxidos de nitrogênio (NO_x), como comentado acima, a água que precipita na atmosfera passa a ter um pH menor que 5,65. Por isso é chamada de chuva ácida.

A deposição ácida é mais intensa nos países desenvolvidos, principalmente em regiões que utilizam combustíveis com alto teor de enxofre. O casos mais graves ocorrem nos países escandinavos, nos EUA e Canadá, mas os dados mais recentes indicam que este é um problema que afeta diversas regiões do globo. No Brasil, os dados sobre pH de chuva são escassos, mas as regiões mais propensas ao problema são as mais industrializadas como Rio de Janeiro e São Paulo, ou mesmo afetadas por problemas de queimadas. Cabe destacar que atualmente os níveis de SO_2 na atmosfera, em regiões de alta atividade industrial ou com grande frota de veículos, são bem mais baixos que os que eram observados nas décadas de 70 e 80, devido a redução dos teores de enxofre nos combustíveis. Há de se destacar também, por outro lado, o possível aumento das emissões de NO_x em função do aumento das demandas de geração de energia e de transportes, o que pode, entre outras coisas, aumentar os níveis de acidez atmosféricos.

Os problemas causados pela chuva ácida são variados. A recorrência e gravidade dos episódios de chuva ácida variam de país para país, de região para região. De forma geral, observa-se danos na atividade agrícola, em reservatórios e lagos utilizados para abastecimento público, no ecossistema aquático como um todo, aos bens materiais como monumentos, carros, tubulações, etc. A **Figura 15** ilustra os danos da chuva ácida a florestas e monumentos.

Figura 14. Processo de formação da chuva ácida.

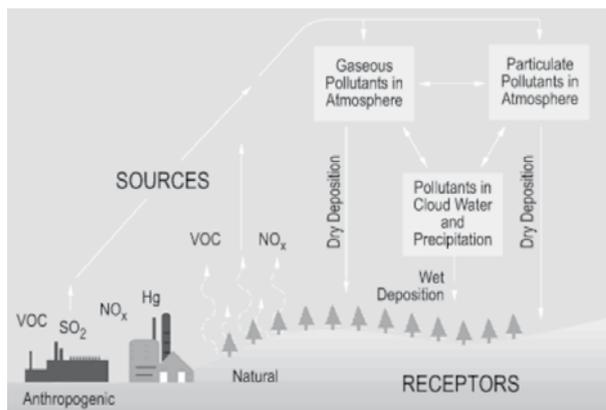


Figura 15. Danos causados pela chuva ácida em monumentos e às florestas.





Padrões e índices de qualidade do ar

Prof. Ms. Luiz Rogério Mantelli

Objetivos:

Entender a forma de avaliar a qualidade do ar que respiramos; compreender a importância dos programas e índices de qualidade do ar; conhecer a Resolução CONAMA N°003/1990.

Palavras-chave:

Índice de qualidade do ar; Resolução CONAMA N°003/1990; padrões de emissão.



Metodista

A legislação adotada no Brasil para assuntos relacionados à poluição atmosférica é equivalente àquela adotada por países como os Estados Unidos, por exemplo. Ao estudar a poluição do ar surge frequentemente o termo *limite máximo ou padrão*. Padrões são limites legais, adotados pelos países como medidas de controle ambiental, e podem ser subdivididos da seguinte maneira:

1

Padrões de qualidade (limite primário) - Os padrões de qualidade do ar (PQAr) são limites de concentração para um dado poluente na atmosfera ambiente, definidos legalmente, e adotados pelos órgãos responsáveis pelo controle da poluição do ar para uma determinada região. Embora sejam ferramentas de gestão da poluição atmosférica, onde as particularidades de cada país ou região devam ser consideradas, os PQAr são normalmente definidos com base nos estudos toxicológicos e estatísticos do impacto da poluição na saúde humana desenvolvidos internacionalmente, o que lhes confere muitas similaridades entre países ou regiões (Lacava e Chain, 2006). No caso dos PQAr, a verificação do atendimento exige o monitoramento ambiental. Esse tipo de padrão também é conhecido como limite primário (inclui uma margem de segurança para proteger indivíduos mais sensíveis, como crianças, idosos e pessoas com problemas respiratórios);

2

Padrões de emissão (limite secundário) - Os padrões de emissão são limites estabelecidos em lei para a emissão de poluentes por uma determinada fonte, adotados pelos órgãos responsáveis pelo controle da poluição do ar para uma determinada região. Os valores de referência, ou limites, podem ser expressos em concentração, em taxa de emissão ou alguma outra variável da fonte que possa ser quantificada (ex: kg emitidos/tonelada de combustível). O padrão de emissão deve ser atendido no lançamento da fonte, portanto, o monitoramento para verificação do atendimento dos limites deve ser feito na própria fonte (por exemplo, na saída de uma chaminé) (Lacava e Chain, 2006). O padrão de emissão também é conhecido como limite secundário (considerado para estabelecimento dos valores de referência, danos causados à agricultura, a materiais e construções, à vida animal, mudanças climáticas, problemas de visibilidade e conforto pessoal).

O PQAr utilizado atualmente no país é definido pela Resolução CONAMA Nº 003, de 28 de junho de 1990. Apesar dos avanços nos estudos dos efeitos dos poluentes atmosféricos na saúde humana ocorridos nos últimos 10 anos, os atuais padrões legais nacionais não são muito distintos dos padrões utilizados atualmente em países desenvolvidos, bem como dos valores de referência sugeridos pela Organização Mundial da Saúde (OMS).

De forma geral, a Resolução CONAMA 003/1990 delibera sobre o seguinte:

- são padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como ocasionar danos à flora e à fauna, aos materiais e ao meio ambiente em geral;
- ficam estabelecidos os conceitos de padrões primários e secundários de qualidade do ar;
- ficam estabelecidos os seguintes PQAr e respectivos métodos de análise de acordo com o **Quadro 5**;
- o monitoramento da qualidade do ar e atribuição dos Estados;
- ficam estabelecidos os Níveis de Qualidade do Ar para elaboração do Plano de Emergência para Episódios Críticos de Poluição do Ar, visando providências dos governos de Estado e dos municípios, assim como de entidades privadas e comunidade em geral, como objetivo de prevenir grave e iminente risco à saúde da população.

Quadro 5. PQAr e respectivos métodos de análise.

Poluente	Tempo de Amostragem	Padrão Primário $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Padrão Secundário $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Método de Medição
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	24 horas ¹ MGA ²	240 80	150 60	Amostrador de grandes volumes
Fumaça (FMC)	24 horas ¹ MAA ³	150 60	100 40	Reflectância
Partículas Inaláveis (MP_{10})	24 horas ¹ MAA ³	150 50	150 50	Separação inercial / filtração
Dióxido de Enxofre	23 horas ¹ MAA ³	365 80	100 40	Pararosanilina
Monóxido de Carbono	1 hora ¹ 8 horas ¹	40.000 (35 ppm) 10.000 (9 ppm)	40.000 (35 ppm) 10.000 (9 ppm)	Infravermelho não dispersivo
Ozônio	1 hora ¹	160	160	Quimioluminescência
Dióxido de Nitrogênio	1 hora ¹ MAA ³	320 100	190 100	Quimioluminescência

Fonte: CONAMA, 1990. ¹ Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano. ² Média geométrica anual. ³ Média aritmética anual. ⁴ A resolução permite a utilização de método equivalente.

Todos os valores do PQAr são médias baseadas no período de amostragem. Por exemplo: o PQAr primário de 8 horas de CO, que é de 10.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (9 ppm), será ultrapassado quando a concentração média em oito horas consecutivas for maior que 10.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e ocorrer mais que uma vez ao ano. No caso dos métodos de medição, a Resolução CONAMA estabelece os métodos citados como de referência, podendo ser utilizados métodos equivalentes, desde que aprovados pelo IBAMA (Lacava e Chain, 2006). Na maioria dos Estados e municípios brasileiros, mesmo as grandes cidades e áreas sabidamente suscetíveis a altos níveis de poluição do ar, não há ainda redes de monitoramento da qualidade do ar, ou o monitoramento é insuficiente para que se possa fazer uma avaliação se os PQAr estão sendo atendidos. Ainda assim, alguns Estados criaram legislação específica, como é o caso de São Paulo.

No Estado de São Paulo, o Decreto Estadual N°8468, de 08 de setembro de 1976, já estabelecia padrões e critérios agudos para episódios críticos de poluição do ar. Embora não tenham sido propostos padrões para fumaça, partículas inaláveis e dióxido de nitrogênio, os PQAr e critérios para episódios críticos da legislação estadual são iguais aos estabelecidos nacionalmente, exceto para o ozônio, onde a legislação estadual é mais rigorosa para o nível de atenção (200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Índice de qualidade do ar

Além do PQAr (referência nacional), a EPA (Environmental Protection Agency), órgão ambiental americano, criou o Pollution Standart Inex (PSI), usado para manter a sociedade informada sobre a qualidade do ar que respira e de forma a atuar em situações críticas, quando algum valor de referência está fora do padrão. No Brasil este índice é chamado de Índice de Qualidade do Ar (IQA), determinado da seguinte maneira (**Quadro 6**):

Quadro 6. Limites de qualidade do ar segundo o IQA.

IQA	Qualidade do ar
0-50	Boa
51-100	Aceitável
101-199	Inadequada
200-299	Má
300-399	Péssima
Maior que 400	Crítica

Fonte: Braga, et al. (2005).





Avaliação da qualidade do ar e das emissões atmosféricas

Prof. Ms. Luiz Rogério Mantelli

Objetivos:

Entender as diferentes formas de avaliação da qualidade do ar; entender a concepção e importância das redes de monitoramento de qualidade do ar; reconhecer as vantagens e desvantagens de cada método de avaliação da qualidade do ar.

Palavras-chave:

Rede de monitoramento;
tipo de amostradores; escala de
representatividade.





Considerando-se a qualidade alarmante do ar, sobretudo nas grandes cidades, torna-se primordial a existência de programas de controle eficientes, de forma a promover reais mudanças nos índices atuais de poluentes atmosféricos. Esses programas devem, necessariamente, ser baseados em dados confiáveis e não em estimativas ou dados modelados.

Qualitativamente a poluição do ar pode ser avaliada com base na visibilidade, na deposição superficial do material particulado e nos danos causados à saúde humana. Por outro lado, as políticas de controle ambiental dependem de maneiras mais eficazes e precisas para realizar essa avaliação. Na maioria dos casos são necessários dados quantitativos para realizar estimativas precisas dos impactos ambientais causados pela poluição atmosférica. Dessa maneira, os instrumentos para avaliação da qualidade tornam-se ferramentas indispensáveis nos processos de gestão de qualidade do ar.

Foi pensando nisso que, durante a Agenda 21, elaborada durante a Conferência das Nações Unidas para o Desenvolvimento e Meio Ambiente, no Rio de Janeiro, em 1992 (ECO 92), pesquisadores e órgãos governamentais de diversos países enfatizaram a necessidade de se obter um diagnóstico adequado dos níveis de poluição. Destacou-se ainda a importância da disponibilidade de dados sobre os níveis de concentração em diferentes escalas de tempo e espaço. Tais dados devem apresentar ainda o nível de precisão, de forma a garantir a qualidade da informação (Lacava, 2008).

Além das medições ambientais, também denominadas de monitoramento da qualidade do ar, a avaliação envolve a identificação das principais fontes que causam a poluição medida, estudos de tendência, estimativa da poluição em áreas não monitoradas e até mesmo a previsão de impacto na qualidade do ar de fontes ainda não instaladas.

As três principais ferramentas utilizadas para avaliação da qualidade do ar são:

- monitoramento da qualidade do ar ambiente;
- modelagem da qualidade do ar;
- inventário de emissões.

Aspectos conceituais do monitoramento ambiental

Há cerca de 30 décadas, avaliar a qualidade do ar era quase sinônimo de monitorar o meio ambiente, já que instrumentos que pudessem associar as emissões com a qualidade do ar, como modelos de qualidade do ar, eram muito pouco utilizados. Atualmente, os especialistas em poluição recomendam que o monitoramento ambiental seja completado pela elaboração de bons inventários de emissão e pela implementação de modelos de qualidade do ar. Isto porque o monitoramento ambiental é muito mais que uma coleta de dados para o diagnóstico ambiental: ele deve fornecer as informações necessárias ao planejamento e a definição de planos de controle da poluição do ar (Lacava, 2008).

Pode-se perceber, portanto, que a definição com relação ao monitoramento ambiental vai depender, sobretudo, dos objetivos para qual o monitoramento está sendo realizado. Embora pareça óbvio que o objetivo principal de uma estação de monitoramento seja avaliar as concentrações ambientais para avaliação da saúde, há uma série de outros objetivos específicos. São esses objetivos e as características das regiões a serem monitoradas que irão definir o tipo de estação e o número de estações que comporão uma rede de monitoramento da qualidade do ar. Objetivos que não estejam bem definidos podem resultar em custos excessivos e/ou informações insuficientes para um diagnóstico efetivo da qualidade do ar ambiente (Lacava, 2008).

O monitoramento é um dos mais importantes instrumentos da avaliação da qualidade do ar, sendo realizado por meio de grande número de medidas de diversos poluentes na atmosfera, em diversos locais e de forma sistemática. A **Figura 16**, a seguir, ilustra a organização de uma rede de monitoramento. Os amostradores são equipamentos específicos para medição das concentrações dos poluentes, como por exemplo, o amostrador de monóxido de carbono, de oxigênio, etc. O conjunto de amostradores representa uma estação de monitoramento. A amostragem em estações espalhadas em diferentes locais representa uma rede de monitoramento.

Figura 16. Rede de monitoramento da qualidade do ar.



- os níveis gerais de concentração de poluentes na atmosfera para a região (*background concentration*).

As estações de monitoramento podem ser classificadas de muitas maneiras. Uma delas está relacionada à classificação das estações de monitoramento da qualidade do ar em termos do uso do solo (**Quadro 7**).

Quadro 7. Classificação das estações de monitoramento da qualidade do ar em termos do uso do solo.

Característica da Estação	Descrição
Comercial	Mede a exposição da população em áreas urbanas centrais e áreas de comércio com grande movimentação de pedestres e veículos;
Urbana/concentração de fundo (<i>background</i>)	Situa-se em área urbana, localizada não próxima de fontes específicas; representa as concentrações de fundo da área urbana como um todo;
Residencial	Mede a exposição da população em bairros residenciais e áreas suburbanas das cidades;
Industrial	Situa-se em área onde as fontes industriais têm grande influência nas concentrações observadas tanto em longo prazo quanto para avaliação de picos de concentração;
Próxima de vias de tráfego (veicular)	Localiza-se próxima de uma via de tráfego; mede a influência da emissão dos veículos que circulam na via (rua, estrada etc.);
Rural	Mede as concentrações em áreas rurais; deve estar situada o mais distante possível de fontes veiculares, industriais e urbanas;
Ambiente fechado (<i>indoor</i>)	Mede as concentrações em ambientes domésticos e de trabalho (exceto ambientes ocupacionais).

Fonte: Adaptado de Lacava, 2008.

O objetivo das estações de monitoramento é prover um diagnóstico bastante preciso da qualidade do ar. Esses dados podem ser utilizados para aferição de modelos matemáticos, para planejamento estratégico, para verificação de padrões e tendências sazonais, para aplicação dos planos de emergência quando episódios críticos são verificados.

Contudo, para que esses objetivos possam ser permeados, de acordo com Lacava (2008), é preciso determinar:

- as concentrações mais altas de poluentes esperadas para a área de abrangência da rede;
- as concentrações representativas das áreas de maior densidade populacional;
- o impacto da poluição no meio ambiente por determinadas fontes ou grupo de fontes;



Outra forma de classificação é através das escalas espaciais de representatividade (**Quadro 8**).

Quadro 8. Classificação das estações de monitoramento da qualidade do ar em termos das escalas espaciais de representatividade.

Escola de Representatividade	Área de Abrangência
Microescala	Concentrações abrangendo áreas de dimensão de poucos metros até 100 metros;
Média escala	Concentrações para blocos de áreas urbanas (poucos quarteirões com características semelhantes), com dimensões entre 100 e 500 metros;
Escala de bairro	Concentrações para áreas da cidade (bairros), com atividade uniforme, com dimensões de 500 a 4.000 metros;
Escala urbana	Concentrações de cidade ou regiões metropolitanas, da ordem de 4 a 50 Km;
Escala regional	Concentrações geralmente de uma área rural, de geografia razoavelmente uniforme e de dimensões de dezenas a centenas de quilômetros;
Escala acional e global	Concentrações de um país e do planeta como um todo, respectivamente.

Fonte: Adaptado de Lacava, 2008.

Como já comentado anteriormente, os programas de monitoramento e o controle da poluição não pode ser feito com base em dados inconsistentes ou pouco confiáveis. É preferível, na maioria dos casos, não dispor de dados do que dispor de dados errados ou não confiáveis. Assim, os programas de controle de qualidade de dados são parte essencial dos sistemas de monitoramento e devem ser aplicados desde o planejamento da rede de estações de monitoramento, compreendendo uma série de procedimentos a fim de garantir:

- medidas confiáveis, com precisão aceitável;
- dados representativos do ambiente;
- resultados comparáveis;
- medidas consistentes no tempo;
- boa distribuição espacial dos dados;
- otimização dos recursos.

Equipamentos de amostragem e métodos de medição

Tendo-se em vista o monitoramento da qualidade do ar, os procedimentos de medição podem ser realizados com base em sistemas manuais ou automáticos.

Nos *sistemas manuais*, as amostragens e análises são eventos discretos, sendo a análise realizada em laboratório dias ou semanas após a amostragem. Deve-se obter uma quantidade suficiente de poluentes na amostra que atenda aos limites de detecção do método analítico.

Nos *sistemas automáticos*, a amostragem e análise são eventos quase simultâneos, o que permite a obtenção de dados de concentração em tempo real. As técnicas de análise dos poluentes são suficientemente sensíveis para que o volume necessário para atender ao limite de detecção do método seja bastante baixo (normalmente em mm/min).

Como o monitoramento da qualidade do ar envolve medir a poluição nas escalas de tempo e espaço, a definição dos equipamentos (monitores) deve garantir que os dados gerados atendam aos objetivos do monitoramento, em especial que possam ser comparados com os padrões legais de qualidade do ar. A escolha dos monitores de poluição deve levar em consideração ainda os recursos necessários para a aquisição, operação e manutenção dos equipamentos (Lacava, 2008). Atualmente,

os equipamentos que medem a poluição do ar podem ser divididos, com base nas metodologias empregadas, em quatro grupos (Lacava, 2008):

- Amostradores passivos
- Amostradores ativos (manuais)
- Analisadores automáticos
- Sensores remotos

Esses quatro tipos mais comuns de monitores cobrem uma faixa muito grande em termos de custos e “performance”, exigindo certos cuidados na escolha dos mesmos. As vantagens e desvantagens dos equipamentos de medição da qualidade do ar podem ser apreciadas no Quadro 9, abaixo:

Quadro 9. Vantagens e desvantagens dos equipamentos de medição

Monitores	Vantagens	Desvantagens
Amostradores passivos	<ul style="list-style-type: none"> - Baixo custo - Muito simples de operar - Não dependem de energia elétrica - Podem ser utilizados em grande número - Úteis para mapeamento espacial da poluição 	<ul style="list-style-type: none"> - Inexistente para alguns poluentes - Em geral, fornecem somente medidas mensais ou semanais - Exigem desenvolvimento e análise - Resultados não imediatos
Amostradores manuais	<ul style="list-style-type: none"> - Baixo custo - Fácil operação - Dados confiáveis - Banco de dados histórico 	<ul style="list-style-type: none"> - Fornecem somente medidas diárias e não horárias - Exigem coleta e análise em laboratório
Analisadores automáticos	<ul style="list-style-type: none"> - Disponíveis para vários poluentes - Alta eficiência - Dados horários - Informações em tempo real 	<ul style="list-style-type: none"> - Complexos e caros - Exigem especialização - Altos custos de manutenção
Sensores remotos	<ul style="list-style-type: none"> - Informações em tempo quase real - Bastante úteis para medir poluição de fontes específicas - Medidas para vários poluentes em um mesmo equipamento - Medidas integradas horizontal e verticalmente na atmosfera 	<ul style="list-style-type: none"> - Complexos e caros - Operação, calibração e validação por vezes difíceis - Resultados não diretamente comparáveis com as medidas pontuais - Interferência das condições atmosféricas

Fonte: Adaptado de Lacava, 2008.

Com base no tipo de informação desejada, pode-se realizar o monitoramento obtendo concentrações médias para diferentes períodos de tempo, que vão desde medidas instantâneas, obtidas por analisadores automáticos e sensores remotos, até médias semanais ou mensais, obtidas com o uso de monitores passivos.

Monitores ou amostradores passivos

Por apresentarem baixo custo, os monitores passivos foram muito utilizados no início do controle da poluição, sendo depois substituídos pelos métodos dinâmicos de amostragem. Mais recentemente, o surgimento de novas técnicas de monitoramento passivo garantiu seu uso para finalidades específicas, como medições em ambientes ocupacionais e estudos sobre saúde. Também são usuais para acompanhamento em áreas com baixos níveis de poluição. No Estado de São Paulo são utilizados monitores passivos para monitoramento do SO₂ em diversos municípios. Mesmo obtendo-se apenas médias mensais, seu uso está justificado pelos baixos níveis atuais desse poluente (Lacava, 2008).





Os amostradores passivos não necessitam do uso de bombas ou outro tipo de equipamento de sucção que force o movimento de um volume de ar através do amostrador.

Existem monitores passivos desenvolvidos ou em desenvolvimento para a maioria dos poluentes urbanos gasosos prioritários, entre eles: NO_2 , SO_2 , NH_3 (amônia), compostos orgânicos voláteis e O_3 . A amostragem é integrada em um período de tempo definido (normalmente uma semana ou um mês). A amostra é obtida por difusão molecular, utilizando um filtro com material absorvente para um poluente específico em um tubo ou disco amostrador passivo exposto às concentrações ambientes, que posteriormente é analisado em laboratório (Lacava, 2008).

Os amostradores passivos atuais são compostos geralmente por um tubo (*Palmer Tubes*), ou num formato mais chato, como um disco ou *bottom* com uma extremidade aberta protegida do vento por uma membrana ou algo equivalente, e outra fechada funcionando como meio absorvedor do poluente gasoso a ser monitorado (Lacava, 2008).



Monitores manuais

O monitoramento com equipamentos manuais foram amplamente utilizados nos EUA dos anos 50 aos anos 70 para medição de MP, SO_2 e NO_x e ainda são muito utilizados em várias cidades do mundo. No Estado de São Paulo, eles são empregados para medir dois tipos de material particulado: fumaça (FMC) e partículas totais em suspensão (PTS). Esse tipo de equipamento também apresenta um custo relativamente baixo, mas entre as desvantagens estão a impossibilidade de medição de concentrações horárias e a necessidade de análise posterior em laboratório (Lacava, 2008).

Podem ser considerados amostradores manuais de material particulado os amostradores de grande volume (*high-vol*), médio volume (*medium-vol*) e pequeno volume (*low-vol*), os quais variam basicamente em termos do volume de ar amostrado, e não no tamanho da partícula amostrada. Por outro lado, variações nas características geométricas dos captadores, como os funis amostradores, permitem diferenciações no tamanho da partícula. Em ambos os amostradores, o material é coletado utilizando filtros (Lacava, 2008).

O mais difundido dos amostradores manuais de material particulado é o amostrador de grande volume. Neste amostrador o ar passa através de um filtro de fibra de vidro em um fluxo de cerca de $2000 \text{ m}^3/\text{dia}$. Os filtros são então pesados por meio de microbalanças, para determinar o ganho de massa devido ao material particulado em 24 horas de amostragem. O amostrador de grande volume é aplicável para medir concentrações integradas em períodos de 24 horas, com limites de detecção a partir de 1 a $5 \text{ mg}/\text{m}^3$, e diâmetro até cerca de 100mm, dependendo das condições de vento (Lacava, 2008).

É importante salientar, ainda, que o método gravimétrico (manual) de análise exige grande tempo de trabalho em laboratório, o que torna o uso de amostradores manuais impróprio para casos em que são necessários dados diários, sendo então preferível o uso de equipamentos automáticos (Lacava, 2008).

Analisadores automáticos

Os analisadores automáticos são os mais recomendados, por fornecer dados com alta resolução temporal e em tempo real. Porém, possuem alto custo financeiro e exigem uma significativa estrutura operacional, sendo normalmente utilizados quando há necessidade de monitoramento por longos períodos (acima de cinco anos). Já os sensores remotos, apesar de ainda bastante caros e complexos, têm se tornado uma alternativa cada vez mais utilizada, principalmente pelos recursos de medição de vários poluentes com um mesmo equipamento, embora não sejam usuais redes de monitoramento baseadas exclusivamente em sensores remotos (Lacava, 2008).

Utilizam princípios eletro-óticos para medição. A amostra de ar entra em uma câmara de reação onde a propriedade ótica do gás pode ser medida diretamente ou uma reação química ocorre produzindo quimiluminescência ou luz fluorescente. Um detector de luz produz um sinal elétrico proporcional à concentração do poluente que está sendo medido. Dependendo do poluente a ser medido, o analisador utiliza diferentes princípios eletro-óticos, tais como fluorescência para SO_2 , quimiluminescência para NO_x , NO e NO_2 , absorção de infravermelho não-dispersivo para CO , cromatografia gasosa/ionização de chama para hidrocarbonetos, absorção de ultravioleta para O_3 , absorção para partículas em suspensão (Lacava, 2008).

As medidas obtidas por meio dos analisadores automáticos possuem alto grau de precisão, mas exigem um trabalho rigoroso de operação, manutenção e controle de qualidade dos dados gerados. Analisadores automáticos funcionando continuamente produzem, além disso, uma quantidade muito grande de dados. Assim, embora não necessitem de análise em laboratório, exigem sistemas de telemetria para aquisição dos dados e computadores exclusivamente dedicados para posterior processamento. No Estado de São Paulo são utilizados equipamentos deste tipo para a divulgação diária da qualidade do ar (Lacava, 2008).

Sensores remotos

Desenvolvidos mais recentemente, fornecem informações da concentração de poluentes em pontos do espaço mais distantes do equipamento por meio de técnicas de espectroscopia. Os dados são obtidos pela integração ao longo de um caminho ótico entre uma fonte de luz e um receptor, distantes normalmente em mais de 100 metros. O equipamento pode trabalhar na faixa ultravioleta do espectro, como o equipamento DOAS (Differential Optical Absorption Spectroscopy), ou próximo ao infra-vermelho, como o FTIR. Há ainda equipamentos mais sofisticados baseados em laser (LIDAR) (Lacava, 2008).

Este tipo de equipamento pode ser particularmente útil para avaliação das concentrações de poluentes nas proximidades de fontes emissoras e para obtenção de medidas de concentração verticalmente na atmosfera (Lacava, 2008).



Referência

BRAGA B, HESPANHOLI, CONEJO JGL, BARROS MTL, SPENCER M, PORTO M, NUCCI N, JULIANO N, E EIGER S. **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo, Prentice Hall, 305p., 2005.

LACAVA CIV. **Notas de Aula da Disciplina Controle da Poluição do Ar e Sonora**. Universidade Metodista de São Paulo, 2008.

SPIRO TG, STIGLIANI WM. **Química Ambiental**. São Paulo, Pearson PrenticeHall, p. 103-150, 2009.





Microbiologia geral e ecologia microbiana

Prof^a Dra. Marta Cristina Souza

Objetivos:

Conhecer a natureza de micro-organismos e sua participação nos processos ambientais naturais.

Palavras-chave:

Bactérias; fungos; microbiota; micro-organismos; autoecologia; sinecologia.



Microbiologia ambiental

A Microbiologia, *Mikros* (= pequeno) + *Bio* (= vida) + *logos* (= ciência), era definida, até recentemente, como a área da ciência que se dedica ao estudo dos micro-organismos, um vasto e diverso grupo de organismos unicelulares de dimensões reduzidas, que podem ser encontrados como células isoladas ou agrupados em diferentes arranjos (cadeias ou massas), sendo que as células, mesmo estando associadas, exibiriam um caráter fisiológico independente (www.portalsaofrancisco.com.br).

Assim, com base neste conceito, a microbiologia envolve o estudo de organismos *procaríotos* (bactérias, *archaeas*), *eucariotos inferiores* (algas, protozoários, fungos) e também os *vírus*. Esta área do conhecimento teve seu início com os relatos de Robert Hooke e Antony van Leeuwenhoek, que desenvolveram microscópios que possibilitaram as primeiras observações de bactérias e outros micro-organismos, além de diversos espécimes biológicos. Embora Van Leeuwenhoek seja considerado o "pai" da microbiologia, os relatos de Hooke, descrevendo a estrutura de um bolor, foi publicado anteriormente aos de Leeuwenhoek. Assim, embora Leeuwenhoek tenha fornecido importantes informações sobre a morfologia bacteriana, estes dois pesquisadores devem ser considerados como pioneiros nesta ciência. Recentemente foi publicado um artigo discutindo a importância de Robert Hooke para o desenvolvimento da Microbiologia (www.portalsaofrancisco.com.br).

Importância da Microbiologia

A Microbiologia é uma área da Biologia que tem grande importância seja como ciência básica ou aplicada. Como básica, inclui: estudos fisiológicos, bioquímicos e moleculares (modelo comparativo para seres superiores). => Como microbiologia molecular e aplicada inclui: processos industriais, controle de doenças, de pragas, produção de alimentos, etc.

Áreas de estudo

- **Odontologia:** estudo de micro-organismos associados à placa dental, cárie dental e doenças periodontais. Estudos com abordagem preventiva.
- **Medicina e Enfermagem:** doenças infecciosas e infecções hospitalares.
- **Nutrição:** doenças transmitidas por alimentos, controle de qualidade de alimentos, produção de alimentos (queijos, bebidas).
- **Biologia:** aspectos básicos e biotecnológicos. Produção de antibióticos, hormônios (insulina, GH), enzimas (lipases, celulasas), insumos (ácidos, álcool), despoluição (herbicidas - *Pseudomonas*, petróleo), biofilme (*Acinetobacter*), etc.
- **Biotecnologia:** uso de micro-organismos com finalidades industriais, como agentes de biodegradação, de limpeza ambiental, etc (www.biomedicinacomangelica.blogspot.com, acessado em 20 de maio de 2010).

Os micro-organismos são os menores seres vivos existentes, encontrando-se em uma vasta diversidade de ambientes e desempenhando importantes papéis na natureza. Este grupo caracteriza-se por ser completamente heterogêneo, apresentando como única característica comum o pequeno tamanho dos organismos. Acredita-se que cerca de metade da biomassa do planeta seja constituída pelos micro-organismos, sendo os 50% restantes distribuídos entre plantas (35%) e animais (15%). Em termos de habitat, os micro-organismos são encontrados em quase todos os ambientes, tanto na superfície, como no mar e subsolo. Desta forma, podemos isolar os micro-organismos de fontes termais, com temperaturas atingindo até 130°C de regiões polares, com temperaturas inferiores a -10°C; de ambientes extremamente ácidos (pH=1) ou básicos (pH=13). Alguns sobrevivem em ambientes extremamente pobres em nutrientes, assemelhando-se à água destilada (www.icb.ufmg.br). Há ainda aqueles encontrados no interior de rochas na Antártida.

Em termos metabólicos, temos também os mais variados tipos, desde aqueles com vias metabólicas semelhantes às de eucariotos superiores, até outros que são capazes de produzir ácido sulfúrico,



ou aqueles capazes de degradar compostos pouco usuais como cânfora, herbicidas, petróleo, etc. Uma vez que os micro-organismos precederam o homem em bilhões de anos, pode-se dizer que nós evoluímos em seu mundo e eles no nosso. Dessa forma, não é de se estranhar que a associação homem-micro-organismo mostra-se com grande complexidade, com os micro-organismos habitando nosso organismo em locais tais como a pele, intestinos, cavidade oral, nariz, ouvidos e trato genitourinário. Embora a grande maioria destes micro-organismos não cause qualquer dano, compoem a denominada "microbiota normal", algumas vezes estes podem originar uma série de doenças, com maior ou menor gravidade. Nesta classe de organismos estão aqueles denominados patogênicos e potencialmente patogênicos (www.icb.ufmg.br).

Morfologia: tamanho, forma e arranjos bacterianos

As bactérias são extremamente variáveis quanto ao tamanho e formas de apresentação. Até recentemente acreditava-se que as menores bactérias mediam cerca de 0,3 μm (ex: *Mycoplasma*), entretanto, já existem relatos de células menores, denominadas nanobactérias ou ultramicrobactérias, com tamanhos variando de 0,2 a 0,05 μm de diâmetro, algumas inclusive já cultivadas em laboratório. Existem ainda controvérsias quanto a este grupo, pois vários autores acreditam ser meros artefatos (www.vsites.unb.br/ib/cel/microbiologia).

Características morfológicas das bactérias

Embora existam milhares de espécies bacterianas diferentes, os organismos isolados apresentam uma das três formas:

- **Elipsoidal ou Esférica (COCOS)** - apresentam tipos e arranjos diferentes: diplococos - dois cocos; estreptococos - vários cocos arranjados em cadeias; estafilococos - cocos arranjados em cachos de uva.
- **Cilíndricas ou Bastonetes (BACILOS)**
 - *diplobacilos* - ocorrem em pares
 - *estreptobacilos* - ocorrem em cadeias
- **Espiraladas ou Elicoidais** - ocorrem predominantemente como células isoladas

As exigências nutricionais para a maioria das bactérias são:

- **pH:** limites: 4 - 9/ótimo: 6.5 - 7.5;
- **Temperatura:** limites 0 - 79°C/ótimo 20 - 37° C;
- **Gases:** aeróbias estrita ou facultativa, microaerófila e anaeróbias estritas ou facultativas;
- **Luz:** alguns grupos fotossintéticos;
- **Concentração de carbono no meio:** 0.5 - 1%;
- **Carbono:** autotróficos ou heterotróficos.

Classificação

Existem dois grupos principais de bactérias: *Eubactérias* e *Arqueobactérias*. As diferenças fundamentais entre estes grupos são:

- Quanto à composição da parede celular - *eubactérias*: peptidoglicano; *arqueobactérias*: constituída de proteínas ou polissacarídeo.
- Quanto à estrutura química dos fosfolipídeos da membrana citoplasmática - *eubactérias*: ácidos graxos de cadeia longa; *arqueobactérias*: contém álcoois de cadeia longa ramificada (fitanóis)

- Quanto à síntese protéica - *eubactérias*: o aminoácido usado para iniciar a cadeia protéica é sempre o formilmetionina; *arqueobactérias*: o aminoácido é a metionina.
- Importante lembrar que as *arqueobactérias* são notáveis por formarem produtos finais incomuns do metabolismo, e que as *eubactérias* não podem produzir o gás metano. As arqueobactérias habitam ambientes extremamente adversos que muitas eubactérias não podem tolerar

As **eubactérias** são divididas em dois grupos:

- **com parede celular**: Gram-Negativas e Gram-Positivas
- **sem parede celular**: micoplasmas.

Em relação às formas, a maioria das bactérias estudadas segue um padrão menos variável, embora existam vários tipos morfológicos distintos. De maneira geral, as bactérias podem ser agrupadas em três tipos morfológicos gerais: cocos, bacilos e espiralados (www.vsites.unb.br/ib/cel/microbiologia).

Os **cocos** correspondem às células arredondadas e podem se dividir sem um plano de orientação definido, o que leva a um grande número de arranjos diferentes. Assim, temos os cocos isolados, diplococos (*Neisseria*, pneumococos), tetracocos, sarcinas (cubos contendo 8 células), estreptococos (cocos em cadeia) e estafilococos (cocos formando massas irregulares).

Os **bacilos** têm a forma de bastonetes, podendo apresentar extremidades retas (*Bacillus anthracis*), arredondadas (*Salmonella*, *E. coli*), ou ainda afiladas (*Fusobacterium*). Como seu plano de divisão é fixo, ocorrendo sempre no menor eixo, os bacilos exibem uma menor variedade de arranjos, sendo via de regra encontrados isolados, como diplobacilos ou ainda como estreptobacilos. Há ainda um arranjo, denominado "em paliçada", também denominado letras chinesas, que é típico do gênero *Corynebacterium*. Tal tipo de arranjo ocorre porque a parede celular desses organismos é dupla e no momento da divisão celular ocorre a ruptura de apenas uma das camadas, deixando as células unidas pela camada de parede que não se rompeu. Os bacilos podem ainda apresentar-se como pequenas vírgulas (*Vibrio cholerae*) ou em forma de meia lua (*Selenomonas*).

Os **espiralados** são de nomenclatura ainda bastante controversa, apresentam uma forma de espiral flexível, possuindo flagelos periplasmáticos ou os *espirilos*, que exibem usualmente morfologia de espiral incompleta e rígida. Geralmente os espiralados são micro-organismos bastante afilados, de difícil observação por microscopia de campo claro, sendo muitas vezes analisados por meio da microscopia de campo escuro ou de técnicas de coloração com impregnação por sais de prata (www.vsites.unb.br/ib/cel/microbiologia).

Ultraestrutura Bacteriana

A ultraestrutura bacteriana começou a ser estudada em maiores detalhes nas décadas de 50 e 60, a partir do melhoramento das técnicas de microscopia eletrônica. Os procedimentos adotados incluíam a lise celular, seguida de centrifugação para promover a separação dos vários componentes subcelulares, que podiam agora ser purificados e analisados bioquimicamente (www.universitario.com.br)

- **Parede celular** - envoltório extracelular rígido responsável pela forma da bactéria constituída por um complexo protéico - glicídico (proteína + carboidrato) com a função de proteger a célula contra agressões físicas do ambiente.
- **Cápsula** - camada de consistência mucosa ou viscosa formada por polissacarídeos, e que reveste a parede celular em algumas bactérias. É encontrada principalmente nas bactérias patogênicas, protegendo-as contra a fagocitose.
- **Membrana Plasmática** - mesma estrutura e função das células eucariontes. Obs.: nas bactérias ocorrem invaginações na membrana plasmática que concentram as enzimas respiratórias. Essas invaginações são chamadas de mesossomos.
- **Citoplasma** - formado pelo hialoplasma e pelos ribossomos. Ausência de organelas membranosas.
- **Nucleoide** - é a região onde se concentra o cromossomo bacteriano, constituído por uma molécula circular de DNA. É o equivalente bacteriano dos núcleos de células

eucariontes. Não possui carioteca ou envoltório nuclear. Além do DNA presente no nucleóide, a célula bacteriana pode ainda conter moléculas adicionais de DNA, chamadas Plasmídios ou Episomas.

- **Flagelos** - apêndices filiformes usados na locomoção.
- **Fímbrias** - apêndices filamentosos, de natureza protéica, mais finos e curtos que os flagelos. Nas bactérias que sofrem conjugação, as fímbrias funcionam como pontes citoplasmáticas, permitindo a passagem do material genético (www.universitario.com.br)

Os fungos

São organismos heterotróficos de difícil definição, ubíquos encontrados no solo, na água e no ar. As propriedades de transformação de alimentos é conhecida desde a antiguidade como a produção da cerveja e de vinhos. A utilização de leveduras na indústria de panificação também é muito antiga. Outras funções que os fungos assumem no mundo moderno vão desde a produção de vários medicamentos, como antibióticos, hormônios esteroides e vitaminas, até substâncias que são utilizadas em indústrias de alimentos e cosméticos como acidulantes, espessantes e conservantes, na savorização de queijos como o brie, gorgonzola e camembert. Também são potentes decompositores, utilizados como biodegradadores de materiais xenobióticos e recalcitrantes.

São utilizados na agricultura para biorremediação de solos e também como inseticidas biológicos para controle de pragas. Na indústria têxtil e de papel, seus ácidos são empregados na produção de papéis e para suavizar ou dar uma cor diferente ao jeans (*Stone washed*).

Podem ser unicelulares e chamados então de leveduras, ou multicelulares e chamados de fungos filamentosos ou bolores. Quanto à organização celular, possuem todas as organelas das células eucarióticas e também uma parede celular composta principalmente de açúcares e quitina. Este componente e a morfologia dos fungos os colocaram até 1969 no Reino das plantas, mas neste ano Wittaker, através de três evidências mostrou que os fungos não poderiam ser plantas, devido a sua parede ser constituída de quitina e não de celulose como as dos vegetais; por não possuírem pigmentos fotossintetizantes e por apresentarem como substância de reserva o glicogênio e o amido como as plantas.

A levedura por ser unicelular, apresenta uma única célula como responsável pela vida vegetativa e reprodutiva, sendo a reprodução realizada através de fissão binária, brotamento ou brotamento-fissão. Como não formam tecidos verdadeiros, célula-mãe e célula-filha podem permanecer unidas formando pseudo-hifas e pseudomicélios. Já os fungos filamentosos são formados por unidades tubulares funcionais denominadas hifas. Essas hifas podem apresentar septos que separam uma célula fúngica da outra, sendo então denominadas hifas septadas, ou não apresentarem qualquer divisão, conhecidas então como hifas cenocíticas.

O conjunto de hifas forma o tecido fúngico, denominado micélio. O micélio que é responsável pela vida vegetativa do fungo e está inserido no substrato é denominado micélio vegetativo, já o micélio que se desenvolve acima do substrato é denominado micélio aéreo que pode se especializar na formação de estruturas reprodutivas, os corpos de frutificação, sendo assim denominado micélio reprodutivo.

Ecologia Microbiana

Ramo da ecologia que estuda as atuações de micro-organismos nos ecossistemas, as relações multilaterais entre os micro-organismos e outros componentes do ecossistema, bióticos e abióticos, a fim de entender o papel desses no funcionamento dos ecossistemas.

Formam aglomerações com um grande número de indivíduos que compõem as comunidades microbianas. Os processos biológicos ocorrem nos ecossistemas em três níveis tróficos (alimentar). 1º Básico – Autotróficos – Captam O_2 , reduzem CO_2 e sintetizam compostos orgânicos; 2º Heterotróficos – Consumidores e 3º Redutores ou Decompositores: decompõem os cadáveres de consumidores e produtores, mineralizando-os e liberando energia.

Em grandes ecossistemas terrestres e aquáticos, os três níveis tróficos são facilmente perceptíveis e os micro-organismos o 3º nível trófico, embora possam agir em todos os níveis; como produtores quando possuem a clorofila como pigmento ou outro pigmento com função química semelhante,



embora a sua participação nesse nível não seja quantitativamente significativa, a sua presença é grande e comum em solos e na H₂O.

No 2º nível, micro-organismos heterotróficos consomem compostos orgânicos e simultaneamente os decompõem e no 3º nível, como redutores, possibilita a reciclagem dos bioelementos, sendo decisiva e indispensável para o funcionamento do ecossistema.

Conceitos ecológicos

Autoecologia é a parte da ecologia que investiga adaptações dos organismos. **Sinecologia** investiga as relações de uma comunidade com o ambiente e das relações das populações entre si.

O *indivíduo* é definido como entidade localizada espacial e temporariamente, enquanto a colônia é considerada como grupo da mesma espécie, geralmente aparentados ou idênticos geneticamente e vivendo em proximidade um com o outro. *População* é conjunto de indivíduos da mesma espécie que ocupa determinada região. Tem como características principais, as taxas de natalidade, mortalidade, sexos e distribuição etária e geografia. *Comunidade* é o conjunto de organismos de qualquer tamanho ou longevidade. Conjunto de populações co-ocorrentes e que interagem organizadamente ou grupo de espécies em uma mesma região. *Microbiota* é o conjunto de todos os micro-

organismos existentes em determinado ambiente, independente do grupo taxonômico ou dimensão populacional, enquanto nicho é definido como papel ecológico de uma espécie na comunidade.

Os aspectos sinecológicos estudam: distribuição geográfica; especificidade do ambiente; estrutura da comunidade; mecanismo de sucessão; macro e microambiente; faz levantamento da microbiota e a compilação de informações sobre distribuição ecológica. Já os aspectos Autoecológicos envolvem: abordagem individual; influência das variáveis; especificidade do habitat; características biológicas; comportamento – crescimento, reprodução, mortalidade e adaptabilidade.



Referências

- BONONI VRL. (1999) **Zigomicetos, Basidiomicetos e Deuteromicetos: noções básicas de taxonomia e aplicações biotecnológicas**, 1ª ed São Paulo.
- MELO IS, AZEVEDO JL. (2008) **Microbiologia ambiental**. Embrapa Meio ambiente 2ª ed. 647p.
- MELO IS, AZEVEDO JL. (1998) **Ecologia Microbiana**. Embrapa-CNPMA. 488p.
- MOREIRA FMS, SIQUEIRA JO (2006) **Microbiologia e bioquímica do solo**, 2ªed, UFLA.
- <http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/microbiologia/microbiologia.php>
- <http://www.icb.ufmg.br/mic/mic/m-18.html>
- <http://vsites.unb.br/ib/cel/microbiologia/morfologia1/morfologia1.htm>
- <http://www.universitario.com.br/celo/topicos/subtopicos/bactérias/estrutura/estrutura.html>



Modelagem de ecossistema e microbiologia do solo

Prof^a Dra Marta Cristina Souza

Objetivos:

Conhecer a participação intrínseca dos micro-organismos nos processos naturais, visualizando-os como habitantes naturais e co-participantes de processos biológicos importantes para a ciclagem da matéria.

Palavras-chave:

Micorrizas; decompositores; pedogênese; eutrofização; fungos; algas e bactérias.



Modelagem de Ecossistemas Microbiano

Tem como finalidade conhecer os tipos e as causas das interações através da previsão e da quantificação de parâmetros fundamentais para estabelecer padrões matemáticos de causa e efeito, capazes de expressar os mecanismos que governam os ecossistemas.

Comunidades Microbianas

Na natureza, as comunidades microbianas são muitas e heterogêneas, compostas de várias espécies e grupos fisiológicos. Numerosas, vivem no solo, na água e no ar, no rúmen de animais, intestinos e várias outras microbiotas corporais. Em populações microbianas é possível verificar uma relação inversa entre as dimensões dos indivíduos e seu número: quanto menor, maior seu número em um espaço definido. Densas associações desses indivíduos permitem o contato amplo e íntimo entre os micro-organismos e os substratos por eles colonizados, facilitando a sua exploração, e criam condições para a interação direta entre os indivíduos. A sobrevivência é assegurada pela velocidade de reprodução e pela capacidade de gerar número de descendentes.

Formação da Comunidade Microbiana

Qualquer substrato introduzido num ecossistema torna-se imediatamente colonizado por micro-organismos que dão início à formação da comunidade, pois são ubíquos no meio ambiente e aproximam-se dos substratos através da movimentação, trazidos por ventos, águas ou transportados por vetores biológicos. No processo de colonização utiliza-se de particularidades gerais e bioquímicas, como a quimiotaxia, que os auxiliam na movimentação em direção de substratos; a produção de um grande número de propágulos que asseguram a disseminação; a biossíntese de enzimas específicas; a liberação de exotoxinas e a capacidade de fixar-se no substrato.

Os micro-organismos utilizam produtos do metabolismo dos pioneiros ou substratos transformados e seguem sucessões de vários grupos taxonômicos e fisiológicos até constituir uma comunidade específica para o ambiente.

Controle da Comunidade Microbiana

A população microbiana é controlada por uma variedade de fatores ambientais abióticos e biológicos como temperatura, pH, pressão osmótica. Por isso, comunidades microbianas mistas revelam equilíbrio alto, sendo que a biomassa microbiana permanece estável em condições ambientais estáveis.

Papel ecológico dos micro-organismos

Os compostos orgânicos primários sintetizados em células vegetais são a base da vida no planeta e a mais importante função ecológica dos micro-organismos é a sua contribuição para assegurar a continuidade dessa produção. Outra importante função é a limpeza através da decomposição de detritos, produtos solúveis e voláteis. Micro-organismos saprófitas impedem o acúmulo da massa orgânica em solos e nas águas e liberam os espaços de continuação da produção primária.

Papel geológico dos micro-organismos

A contribuição dos micro-organismos na pedogênese é um exemplo da participação em vários processos que modificam as características da crosta. A participação na erosão das formações geológicas resulta de sua capacidade de utilizar minerais nativos como fonte de alguns elementos, participando da formação de algumas jazidas. Por exemplo, o enxofre molecular tem sua origem nas células de bactérias sulfurosas que oxidam o H_2S até S e o depositam no exterior das células ou em suas cápsulas;

as ferrobactérias oxidam compostos ferrosos até o férrico; e ainda algumas hipóteses sobre a origem do petróleo preconizam a participação dos micro-organismos na síntese e nas transformações de alguns hidrocarbonetos que constituem o petróleo, e na produção de seus derivados.

Efeito dos micro-organismos sobre a atmosfera

A população microbiana do ar tem traços de especificidade de espécies presentes em ecossistemas terrestres e aquáticos, trazidos para a atmosfera junto com poeira ou em gotas formadas durante a evaporação. O ar acima de áreas habitadas pode conter micro-organismos patogênicos disseminados pela tosse ou presentes em excrementos, além daqueles utilizados em alguns processos tecnológicos. O ar acima de culturas vegetais contém esporos e células de fitopatogênicos.

O tempo de sobrevivência no ar depende de suas características e das condições ambientais. A atividade biológica é muito fraca e seus efeitos sobre a atmosfera, se existem, são difíceis de detectar.

Micro-organismos telúricos e aquáticos podem produzir produtos voláteis que evaporam, modificando a composição da atmosfera, principalmente as mais próximas da superfície. Por exemplo, o cheiro de solo é causado por composto volátil chamado geosmin, produzido por alguns estreptomicetos; o cheiro desagradável acima de sítios onde ocorre putrefação resulta da produção microbiana de H_2S , NH_3 e aminas como putrescina e cadaverina.

Algumas atividades do solo alcançam a estratosfera provocando fenômenos ecologicamente perigosos. Por exemplo, no processo de desnitrificação, a produção de óxido nitroso e pequenas quantidades de óxido nítrico que vão para a estratosfera misturam-se com o ozônio e a destroem. Outros micro-organismos produzem óxidos voláteis de enxofre que provocam a criação de chuvas ácidas. Embora este seja um fenômeno limitado, os processos industriais são os mais culpados pelo seu desencadeamento.

Os micro-organismos podem agir como causadores da poluição, ser suas vítimas, participar na redução e também servir de indicadores. Como exemplos de causa podemos citar a eutrofização provocada pela atividade de bactérias nitrificantes. Nitratos produzidos no solo são lixiviados e transportados para água subterrânea, enriquecendo-a com fontes de nitrogênio, responsável pelos aumentos descontrolados de algas, cuja massa pode cobrir a superfície de reservatórios, prejudicando o desenvolvimento de outros organismos aquáticos.

Microbiologia do solo

O solo é definido como a camada mais superficial da crosta terrestre, transformada por fatores climáticos, biológicos e pelas atividades humanas. É composto de fases líquida, sólida e gasosa, intimamente misturadas. A fase sólida ocupa 50% do volume total, é constituída de formações minerais e de fração orgânica (45% minerais e 5% de matéria orgânica, esta última



formada principalmente por celulose, lignina e glicanas - pectina - das plantas e proteínas, e quitina de animais). O restante dos 25% é constituído das fases líquida e gasosa.

A fase líquida é uma solução aquosa de minerais e compostos orgânicos solúveis e a fase gasosa é qualitativamente parecida com a composição do ar, contendo sempre um pouco menos de O₂ e muito mais de CO₂, além de outros compostos voláteis orgânicos e inorgânicos em comparação ao ar livre. Os colóides do solo (argila e húmus) possuem cargas elétricas negativas e são responsáveis pelas características físicas e químicas do solo, e pela capacidade de sustentar o crescimento das plantas.

Existe um reabastecimento contínuo do estoque de nutrientes para as plantas e os mecanismos que envolvem esse processo têm caráter biológico, ou seja, é fruto da atividade dos organismos que vivem no solo, que criam condições para a alimentação normal e contínua das plantas (Edafon = organismos que vivem no solo). Esses elementos pertencem ao Reino Animal e variam de unicelulares até vertebrados. São basicamente divididos em três grupos biológicos: os *geobióticos*, que passam a vida inteira no solo; os *geofíticos*, que vivem no solo somente durante algumas fases de seu ciclo vital, e os *geoxenofíticos*, que aproveitam o solo como esconderijo transitório ou como um lugar para postura e proteção de ovos.

Além dos animais, os vegetais também estão presentes no solo como plantas inferiores (algas) e raízes das plantas superiores, que contribuem para a atividade biológica do solo.

Na microbiota do solo, a quantidade e os tipos dependem de muitos fatores ambientais como: a quantidade e o tipo de nutrientes disponíveis, a umidade disponível, o grau de aeração, a temperatura, o pH e a intervenção através da prática de eventos como adubações, dejetos de esgotos, enchentes e tempestades de poeira. A presença de raízes e a extensão do sistema radicular também podem afetar o número e tipos de micro-organismos presentes.

Basicamente são encontradas uma grande variedade de bactérias, numerosos fungos, alguns protozoários, algas (nos interstícios) e a meso e microfauna.

As bactérias representam a maior parte da população microbiana do solo, tanto em quantidade como em variedade: são encontradas bilhões de bactérias por grama de solo. A maioria é heterotrófica e os bacilos esporulados são observados com maior frequência. Os mais comuns são os *Bacillus*, *Clostridium*, *Arthrobacter*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Azotobacter* e *Nitrobacter*. As bactérias filamentosas, denominadas actinomicetos, mais encontradas são: *Nocardia*, *Streptomyces* e *Microspora*, esta última presente em solos secos e quentes. Esses elementos são responsáveis pelo cheiro de mofo e de terra de um campo recentemente arado, estão associados à degradação de substâncias complexas e à fertilidade do solo, e também são conhecidos pela sua capacidade de produzir antibióticos como a estreptomicina.

As cianobactérias encontradas auxiliam no fornecimento de nitrogênio para certas plantações e são responsáveis pela transformação de rochas para a qualidade de solo, crescendo na superfície das mesmas e acumulando suas células como depósito orgânico; estabelece, assim, uma base de nutrição para o crescimento de outras bactérias. Durante o crescimento desses micro-organismos a produção de ácidos e derivados do metabolismo dissolve os constituintes minerais da rocha. No exemplo da tabela abaixo podemos ter uma ideia da quantidade aproximada de micro-organismos encontrados no solo.

Organismo	Número estimado por grama de solo
Bactérias (exceto actinomicetos)	3 a 500 milhões
Actinomicetos	1 a 20 milhões
Fungos filamentosos	5 a 900 mil
Leveduras	1 a 100 mil
Algas	1000 a 500.000
Protozoários	1000 a 500.000
Nematódeos	50 a 200.000



onde o solo e as raízes de plantas entram em contato, quando o número de micro-organismos na raiz ou em sua volta é maior que na camada de solo livre. Os tipos de micro-organismos também diferem neste ambiente e as bactérias são em número predominante, pois seu crescimento é estimulado por nutrientes (aminoácidos e vitaminas) liberados do tecido radicular. Neste ambiente, os produtos do metabolismo bacteriano estimulam o crescimento das plantas.

Interação dos micro-organismos com o solo

As atividades microbianas são um fator decisivo na criação do equilíbrio do solo maduro. A pedogênese (processo de criação do solo) é um processo demorado onde a formação mineral é transformada em formação bio-organo-mineral. A primeira fase dessa transformação ocorre por processos abióticos e nessa fase já existe colonização primária a partir de organismos autotróficos, sendo as bactérias nitrificantes, as algas, líquens os pioneiros, onde o ácido nítrico e o ácido oxálico liberado pelos líquens que aceleram a corrosão.

Associação entre micro-organismos do solo

A interação faz parte dos mecanismos estratégicos de sobrevivência. Assim, encontramos uma variedade de associações entre os seres vivos, sendo o parasitismo subdividido em partes: seu lado negativo atua na produção de doenças em plantas, animais e homens; já seu lado positivo, atua no controle das pragas. O parasitismo, por sua vez, classifica os micro-organismos em *endofíticos*, parasitas de plantas vivas que não manifestam sintomas de doenças e que depois da morte natural da planta tornam-se saprófitas; os *parasitas potenciais*, aqueles que parasitam nematódeos, plantas, animais e o homem; os *parasitas oportunistas*, saprófitas que em determinado momento encontram condições favoráveis para parasitar determinado hospedeiro; os parasitas *biotróficos* que são não destrutivos; os *necrófilos* que são destrutivos e, finalmente, os *hiperparasitas*, que parasitam outros micro-organismos.

Outras associações como a predação, protocooperação, competição e simbiose, principalmente esta, encontram uma dinâmica especial no solo, como por exemplo, as micorrizas e os líquens.

As micorrizas

As micorrizas são associações do tipo mutualístico ou simbiótico existentes entre fungos e raízes de plantas. Nesta associação a planta favorece o fungo com compostos carbonados elaborados a partir da fotossíntese, enquanto os fungos obtêm nutrientes e água em locais onde as raízes das plantas não conseguem alcançar. A conquista da planta no ambiente terrestre ocorreu a partir de associações com os fungos.

Existem cerca de 170 espécies de micorrizas associadas às 250.000 espécies de plantas. São representadas por uma grande diversidade de tipos ou grupos, sendo as categorias definidas de acordo com as características morfológicas e funcionais das associações. Basicamente são classificadas como endomicorrizas e ectomicorrizas.

As endomicorrizas, também denominadas fungos micorrízicos arbusculares, estão sempre dentro das células da planta, normalmente onde ocorrem as trocas fungo-planta. Vivem geralmente em raízes jovens (regiões pelíferas), próximas ao final da copa de grandes árvores. Formam vesículas entre as células ou dentro das células, onde armazenam substâncias de reserva.

A sua ocorrência é maior em ecossistemas tropicais. Não possuem especificidade de hospedeiro, mas preferem algumas plantas específicas. Drenam até 30% dos compostos fotossintetizados da planta. São funcionais quando o solo é pobre em nutrientes, principalmente de fósforo. As plantas micorrizadas apresentam um teor de fósforo maior que aquelas que não as têm.

No início da associação o fungo é parasita até que se estabeleça para adquirir nutrientes para a planta. Todo o processo biológico do fungo está atrelado ao da planta, considerando que o fungo



Microbiologia da água e do ar

Prof^a Dra Marta Cristina Souza

Objetivos:

Conhecer os micro-organismos que habitam os ambientes aquáticos e do ar e sua relação com a composição desses ambientes.

Palavras-chave:

Bactérias; fungos; coliformes totais; coliformes fecais; cianobactérias; leveduras; poluição e contaminação.



Microbiologia da água

A vida na água é muito influenciada pelos micro-organismos, por isso a microbiologia aquática estuda os micro-organismos que habitam os corpos d'águas naturais e sua relação com o meio ambiente. Estuda o papel da microbiota na reciclagem dos elementos do habitat aquático e do comportamento de espécies terrestres nesses ambientes. Dentre as diversas funções dos micro-organismos nesse ecossistema podemos citar: fazem parte da cadeia alimentar; da degradação da matéria orgânica (heterotróficos); e da assimilação de CO₂ pelos autotróficos (produção primária). As algas são responsáveis pela produção primária, enquanto os protozoários "grazers" (consumidores de outros micro-organismos).

Assumem importância econômica através da produção de animais marinhos; extração de produtos de algas (ágar e alginato), que podem ser comercializados; deterioração de materiais imersos na água; corrosão de encanamentos e autodepuração de águas poluídas.

Classificação de acordo com a iluminação

- **ZONA EUFÓTICA:** possui profundidade de 30 a 100 m, sendo bem iluminada. É povoada por algas unicelulares e diversos consumidores (cardumes).
- **ZONA DISFÓTICA:** o corpo d'água com 100m a 500m de profundidade, com pouca iluminação, onde só aparecem consumidores.
- **ZONA AFÓTICA:** com profundidade superior a 500 m., não contém nem produtores nem consumidores primários, somente detritívoros, carnívoros e decompositores. Região escura e fria.

Classificação em subambientes

- **ZONA LITORÂNEA:** praias, costas baixas ou altas e costões rochosos;
- **ZONA NERÍTICA:** mar raso;
- **ZONA PELÁGICA:** mar alto;
- **ZONA ABISSAL:** grandes profundidades.

Distribuição no ambiente aquático

- **PLÂNCTON:** organismos que vivem em suspensão, flutuam e se movimentam pelas ondas e correntezas marinhas. Compreendem os autótrofos (fitoplâncton), algas e cianobactérias. O zooplâncton é composto por protozoários e microcrustáceos, medusas e larvas de diversos animais.
- **BÊNTON:** organismos que habitam o leito do mar, podendo ser fixos ao fundo ou se locomoverem sobre os mesmos. Destacam-se algas multicelulares, mexilhões, estrelas do mar e crustáceos.
- **NÉCTON:** organismos que se deslocam no ambiente aquático sem depender do movimento das águas (peixes, crustáceos, moluscos e mamíferos aquáticos).

Quanto à quantidade de organismos presentes nesse ambiente, podemos citar a eutrofização. Neste fenômeno, há um crescimento excessivo de algas e plantas aquáticas, devido à presença de nitrogênio, fósforo e potássio, causando problemas ao próprio ambiente e ao uso da água pelas alterações no sabor e odor desagradáveis, toxidez causada pelas algas, formação de massas de matéria orgânica (com redução do oxigênio dissolvido), prejuízos para as atividades de recreação, navegação, provocando inclusive o entupimento de tubulações, danos a bombas e turbinas hidroelétricas, além de prejuízos ao tratamento de água e assoreamento dos reservatórios.

Entre os fatores que podem interferir no crescimento de micro-organismos nesse ambiente está a temperatura. As águas superficiais situam-se entre 0 e 40°C; ao fundo, 90% do volume de água

Poluição e ou contaminação das águas

POLUIÇÃO é definida como a introdução de resíduos na forma de matéria ou energia, tornando-a prejudicial ao homem e a outras formas de vida, ou ainda impróprias para um determinado uso. CONTAMINAÇÃO é definida como um caso particular de poluição, onde há prejuízos para a saúde do homem, em especial quando contém micro-organismos patogênicos ou substâncias radioativas.

A poluição pode ser localizada (pontuais) ou não-localizada (difusa) e atingir águas superficiais ou subterrâneas através do lançamento direto, precipitação, escoamento pela superfície do solo ou infiltração. Como consequência, pode haver aumento da temperatura das águas devido ao uso de água pelas indústrias para resfriamento de máquinas e instrumentos que causam a diminuição do oxigênio dissolvido e da viscosidade. Outra consequência importante da poluição é a presença de micro-organismos patogênicos pela liberação de esgotos domésticos e fertilizantes na água. Esses elementos podem transmitir doenças aos indivíduos que tenham contato com essa água. A contaminação por corantes provenientes de esgotos industriais leva à diminuição da transparência da água, da atividade fotossintética e do oxigênio dissolvido; já a contaminação por substâncias tensoativas, como sabões e detergentes provenientes de esgotos industriais, diminui a viscosidade da água, gera espumas, altera o sabor, causa a toxidez da água, comprometendo a fauna aquática.

Para avaliar a qualidade da água são indicadores de qualidade **fatores físicos** como cor, turbidez, temperatura, sabor e odor; **fatores químicos** como pH, alcalinidade, dureza, presença de cloretos, ferro, nitrogênio, nitrato, O.D., compostos inorgânicos (metais pesados) e compostos orgânicos (pesticidas, detergentes e produtos químicos) e **fatores biológicos** fornecidos pelo nº máximo de coliformes e nº máximo de algas presentes na água.

Os padrões de qualidade da água são acompanhados mediante legislação específica. Assim os **padrões de potabilidade** (consumo humano) são regidos pela Portaria nº 36 de 01/jan/1990, do Ministério da Saúde, e determina qual a água é considerada potável quando há ausência de coliformes fecais em 100ml e cloro residual livre de no mínimo 0,2 mg/L. Já os **padrões de balneabilidade** (recreação de contato primário) são regidos pela Resolução nº 357/05, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que classifica a água em **PRÓPRIAS**, que podem ser subdivididas em três categorias segundo a quantidade de micro-organismos encontrados:

- **Excelentes:** contendo no máximo 250 coliformes fecais em 100 mL ou 1.250 coliformes totais em 100 mL;
- **Muito boas:** contendo no máximo 500 coliformes fecais em 100ml ou 5.000 coliformes totais em 100ml;
- **Satisfatórias:** contendo no máximo 1.000 coliformes fecais em 100ml ou 5.000 coliformes totais em 100ml.

As águas chamadas de **IMPRÓPRIAS** estão classificadas de acordo com as considerações a seguir: não enquadramento nas categorias acima; número aumentado de enfermidades transmissíveis por via hídrica; sinais de poluição por esgotos, perceptíveis pelo olfato ou visão; recebimento irregular intermitente ou esporádico de esgotos; presença de resíduos ou despejos sólidos ou líquidos (óleos); pH menor que 5 ou maior que 8,5; presença de parasitos; presença de moluscos transmissores de parasitos.

Os padrões para águas de irrigação são regidos pela Resolução nº 357/05 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e Organização Mundial da Saúde (OMS), e levam em consideração a salinidade e aspectos sanitários como no máximo 1.000 coliformes fecais em 100ml e no máximo 1 ovo de parasito por litro.

No Brasil, o Índice de Qualidade da Água (IQA) é medido por nove parâmetros indicadores: O.D., D.B.O., coliformes fecais, temperatura, pH, nitrogênio total, fósforo total, sólidos totais e turbidez. Os padrões para lançamento direto ou indireto de efluentes nos corpos d'água são regidos pela Resolução 20/86 – CONAMA, que descreve valores de pH entre 5 e 9, temperatura menor que 40°C e matérias sedimentáveis.



Como medida de controle de poluição podemos citar a implantação de sistemas de coleta e tratamento de esgotos; coleta e destino adequados do lixo; controle da utilização de fertilizantes e pesticidas; disciplina para uso e ocupação do solo; controle da erosão do solo; reuso da água; afastamento das fontes poluidoras e modificações dos processos industriais.

Microbiologia do ar

A população microbiana do ar é transitória e variável, pois os micro-organismos podem ser carregados através de partículas de poeira e gotículas de água e transportados de poucos centímetros a muitos quilômetros. O destino final desses micro-organismos é governado por um conjunto complexo de circunstâncias que inclui a umidade, a temperatura, a quantidade de luz solar e o tamanho das partículas portadoras de micro-organismos. Os que formam esporos ou cistos sobrevivem no ar por um longo período de tempo.

Origem dos micro-organismos do ar

São originários da superfície da terra, do solo e da água. Ventos levantam a poeira do solo e as partículas de pó carregam os micro-organismos para o ar, assim como gotas de água com micro-organismos originadas da superfície do oceano, baías e outras coleções naturais de água. Muita dessas gotículas provém da ruptura de bolhas de ar na superfície aquática.

A camada mais superficial da água (0,1 mm de profundidade) é denominada micro-camada e contém muito mais micro-organismos que as camadas mais profundas. Assim, as gotículas que daí emergem contribuem para a formação da população microbiana na atmosfera acima da água.

Processos industriais, agrícolas e municipais que podem produzir aerossóis carregados de micro-organismos como no caso de irrigação de lavouras e florestas com efluentes de esgoto e com uso de borrifadores, filtros gotejadores em instalações de despejo de esgotos e abatedouro de animais, são processos que contribuem para a formação da população.

Nas proximidades da superfície da terra podem ser isolados algas, protozoários, leveduras, bolores e bactérias. Esporos de bolores constituem a maior parte, particularmente esporos de *Cladosporium*. Entre as bactérias estão as esporuladas, não-esporuladas, bacilos gram-positivos, cocos gram-positivos e bacilos gram-negativos.

A turbulência do ar dissemina micro-organismos que são levados a grandes distâncias pelas correntes de ar. Poucas pesquisas têm sido realizadas com micro-organismos do ar: um estudo realizado em Montreal e em Londres mostrou que a concentração de micro-organismos na massa de ar em altitudes de 2.700 a 3.000 metros possui bactérias e fungos viáveis, presentes em altitudes acima de toda extensão ao Atlântico Norte. As bactérias isoladas eram cocos gram-positivos, bacilos gram-negativos, bacilos pleomórficos gram-positivos e aeróbios esporulados.

Os fungos identificados foram dos gêneros *Cladosporium*, *Alternaria*, *Pullularia*, *Penicillium*, *Bobtrytis* e *Stemphylium*, e as espécies do gênero *Cladosporium*, as mais abundantes tanto acima do solo como do mar. Desse estudo partiu a tabela abaixo, que indica os tipos de bactérias e bolores isolados do ar em altitudes elevadas.

Altitude	Gêneros de bactérias	Gênero de bolores
450 - 1350	<i>Alcaligenes e Bacillus</i>	<i>Aspergillus, Macrosporium, Penicillium</i>
1.350 - 2.250	<i>Bacillus</i>	<i>Aspergillus, Cladosporium</i>
2.250 - 3.150	<i>Sarcina e Bacillus</i>	<i>Aspergillus e Hormodendrum</i>
3.150 - 4.050	<i>Kurthia e Micrococcus</i>	<i>Aspergillus e Hormodendrum</i>
4.050 - 4.950	<i>Bacillus</i>	<i>Penicillium</i>



Saneamento: ontem e hoje

Profa. Dra. Rosana Cristina de Souza Giuliano

Objetivos:

Compreender as definições fundamentais relacionadas ao saneamento e apresentar um breve histórico da evolução histórica do saneamento.

Palavras-chave:

Saneamento; saúde pública; sustentabilidade.



Definições fundamentais

Para se compreender a esfera de abrangência do Saneamento Ambiental, torna-se necessário apresentar definições consideradas fundamentais e que contribuem para um melhor entendimento das ações por ele contempladas.

Algumas destas definições encontram-se consagradas não apenas no meio acadêmico e tecnológico, mas também entre as comunidades, são elas:

- **Sanear:** tornar são, habitável; sanar; remediar, reparar (Ferreira, 2004).
- **Saneamento:** é o modo de vida, é a qualidade de viver, expressa em condições de salubridade, com casa limpa, comércio e indústrias limpos, fazendas limpas. Sendo um modo de vida, deve vir do povo, ser alimentado pelo saber e crescer como um ideal e uma obrigação das relações humanas (Carvalho & Oliveira, 2007; FNS, 1999).
- **Saneamento do meio:** é a ciência e a arte de promover, proteger e recuperar a saúde por meio de medidas de alcance coletivo e de motivação da população. Representa o controle de todos os fatores do meio ambiente humano que exercem ou podem exercer efeito nocivo sobre o bem-estar físico, mental e social do homem, devendo constituir a primeira ação de Saúde Pública (Carvalho & Oliveira, 2007; FNS, 1999).
- **Saneamento básico:** é a parte do saneamento do meio voltada especificamente para os serviços de abastecimento de água; disposição de esgotos sanitários; acondicionamento, coleta, transporte e destinação do lixo (Carvalho & Oliveira, 2007; FNS, 1999).
- **Saúde pública:** pode ser definida como sendo a ciência e a arte de prevenir a doença, prolongar a vida e promover a saúde e a eficiência física e mental, através de esforços organizados da comunidade para o saneamento do meio e controle de doenças infectocontagiosas, promover a educação do indivíduo em princípios de higiene pessoal, a organização de serviços médicos e de enfermagem para o diagnóstico de doenças, assim como o desenvolvimento da maquinária social de modo a assegurar, a cada indivíduo da comunidade, um padrão de vida adequado à manutenção da saúde – definição da Organização Mundial de Saúde (OMS), também apresentada em FNS, 1999.

Evolução histórica - o saneamento no mundo

A seguir serão apresentados, em forma de tópicos, alguns eventos importantes que caracterizaram a evolução do saneamento ao longo da história da humanidade, relacionados por Rezende & Heller, 2002.

Antiguidade ou história antiga

Neste período podem ser destacados os seguintes acontecimentos:

- 4.000 A.C. - algumas cidades descritas pelos historiadores já possuíam infraestrutura sanitária.
- 3.500 A.C. - construção de galeria de esgotos na cidade de Nipur, na Índia.
- 3.200 A.C. - utilização de sistemas de água e drenagem no Vale do Hindus.
- Séculos VII A.C. ao IV D.C. (Império Romano) - Roma era abastecida por um sistema de 11 aquedutos, perfazendo um total de 422 km de extensão. Consumo de água: 1.000 L/hab.dia.
- Século VI A.C. – implantação, entre os Montes Palatino e Aventino, de drenos subterrâneos para a drenagem das águas de infiltração e para a coleta de esgotos. O coletor tronco deste canal é a Cloaca Máxima, que permanece ativa ainda na atualidade.
- Século V - fragmentação do Império Romano do Ocidente, desencadeando o processo de desorganização da saúde pública. As técnicas desenvolvidas pelos povos antigos foram mantidas apenas nos mosteiros e bases eclesiásticas.



Idade média (idade das trevas)

Correspondendo ao período do Século V ao XIII, podem ser destacados:

- consumo de apenas 1 L/hab.dia de água;
- preocupação com a pureza das águas, resultando no código sanitário oficial de vários municípios;
- implantação da "quarentena" e medidas de proteção dos recursos hídricos, atentando-se para o problema do lixo no meio urbano;
- o estado mantinha-se ausente das ações de saneamento, apenas exercendo fiscalização sobre as ações realizadas pela população.

Expansão marítima

Século XV ao XVIII:

- desenvolvimento científico da saúde pública;
- invenção do microscópio, levando à verdade acerca das doenças infecciosas;
- surge na Inglaterra um primeiro sistema de assistência para prover medidas de saúde pública e previdência aos necessitados (Lei dos Pobres);
- constituição da primeira companhia de abastecimento de água, a *New River*, em Londres;
- administração da saúde pública - os habitantes eram responsáveis pela limpeza das ruas e os causadores de poluição em cursos d'água ou nas ruas eram punidos.

Revolução industrial

Para a revolução datada do Século XVIII, podem ser destacados:

- o trabalho assalariado passou a ser o elemento essencial para a geração da riqueza nacional, e a procura por mecanismos que minimizassem os problemas de saúde dos trabalhadores foi estimulada pelo mercado;
- a evolução tecnológica e a industrialização possibilitaram a execução em larga escala de sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, favorecidos pela produção de tubos de ferro fundido e pelo aperfeiçoamento de técnicas construtivas.

Teoria dos miasmas x teoria do contágio

Século XIX, onde destacam-se:

- implantação de sistemas de esgotamento sanitário nas grandes cidades do mundo, após o aparecimento de epidemias de cólera: Paris (1833); Londres (1855); Memphis (1873); Buenos Aires (1874); Hamburgo (1892) e São Paulo (1893);
- 1851 - I Conferência Sanitária Internacional, realizada em Paris, constitui o primeiro passo para a criação da Organização Mundial de Saúde (OMS);

Última década do séc. XIX

- a identificação dos agentes etiológicos proporcionou a descoberta das vias de transmissão;
- as doenças de veiculação hídrica passaram a ser atacadas com a implantação de sistemas de tratamento de água, constituídos por etapa de filtração seguida de cloração.

Século XX

- 1902 - os países latino-americanos também se aliaram em busca do controle de doenças transmissíveis e criaram a Organização Panamericana de Saúde para debater uma ação conjunta e eficaz que acompanhasse a evolução mundial;
- Primeira década do século XX - decaimento nas taxas de mortalidade, possivelmente em função da evolução da saúde pública e dos êxitos alcançados com as sucessivas reformas sanitárias.

Saneamento na Atualidade

No tempo presente, as ações de saneamento persistem em sua preciosa contribuição para a melhoria dos índices de Saúde Pública, em especial àqueles relacionados à morbidade e mortalidade. Quanto maior o investimento em saneamento (que são revestidos do caráter preventivo), menores serão os gastos com medicamentos e internações hospitalares (de cunho apenas reativo às doenças e epidemias).

Hoje em dia, sanitaristas e profissionais de áreas afins não se limitam à prática de ações de saneamento básico e do meio, mas atuam numa área em crescente expansão, conhecida como Saneamento Ambiental.

Esta nova área do conhecimento alia as práticas já consagradas – tratamento e abastecimento de água; coleta e tratamento de esgotos; coleta e disposição de resíduos sólidos; drenagem rural e urbana; controle de pragas e vetores; saneamento dos alimentos; saneamento das residências e dos locais de trabalho; saneamento em situações de emergência como tsunamis, furacões, terremotos, etc. – às ações de sustentabilidade, que se tornam mais e mais indispensáveis às sociedades modernas.





Referências

- CARVALHO AR E OLIVERIA MVC. **Princípios básicos de saneamento do meio**. São Paulo: Editora SENAC. 136 p. 2007.
- FERREIRA ABH. **“Miniaurélio: o minidicionário da língua portuguesa”**. 6ª. Edição, revista e ampliada. Curitiba, 2004. 896 p.
- REZENDE SC E HELLER L. **O saneamento no Brasil: políticas e interfaces**. Belo Horizonte: UFMG. 310 p. 2002.
- FNS. **“Manual de Saneamento”**. 3a. Edição. Fundação Nacional de Saúde (FNS). Ministério da Saúde. Brasília, 1999. 374 p.



Sistemas urbanos de saneamento: água

Profa. Dra. Rosana Cristina de Souza Giuliano

Objetivos:

Conhecer os elementos que compõem um sistema público de abastecimento de água; destacar a importância do abastecimento das populações com água em quantidade e qualidade adequadas.

Palavras-chave:

Sistemas de saneamento; tratamento de água, abastecimento público.



Sistemas públicos de abastecimento de água

A água consumida nos centros urbanos percorre um longo caminho até chegar aos pontos finais de consumo, sejam eles em residências, instituições públicas, comerciais ou industriais.

Um sistema público de abastecimento de água consiste basicamente dos seguintes elementos:

- Captação;
- Adução;
- Tratamento;
- Reservação;
- Distribuição.

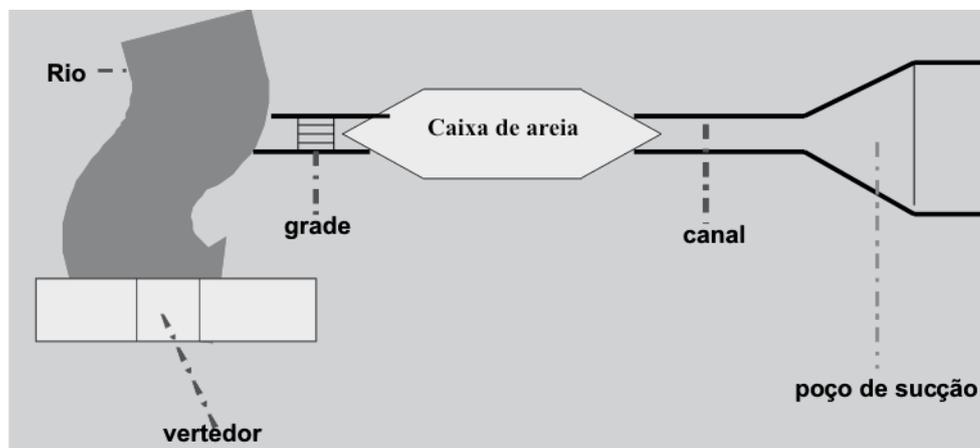
A escolha de um manancial para o abastecimento das populações é uma tarefa que demanda estudos e análise de viabilidade, baseada principalmente nos seguintes critérios:

- **Segurança** – associada à qualidade da água;
- **Eficiência** – manutenção da continuidade do fornecimento, onde torna-se necessário o estudo das vazões dos cursos d'água ou reservas subterrâneas, ao longo das estações do ano;
- **Economia** – relacionada aos custos de adução (transporte) da água até a estação de tratamento e posterior distribuição à rede pública. (Carvalho e Oliveira, 2007; FNS, 1999; Tsutiya, 2006).

Captação

Corresponde ao conjunto de dispositivos, construído junto ao manancial, para tomada de água para o abastecimento (Carvalho e Oliveira, 2007). A Figura 1 apresenta os elementos que constituem o sistema de captação de água bruta.

Figura 1 – Elementos da Captação



Fonte: Souza Giuliano, 2005.

Adutoras

São canalizações do sistema de abastecimento destinadas a conduzir água entre as unidades que precedem a rede de distribuição (Carvalho e Oliveira, 2007).

Tratamento de Água

Realizado nas "ETAs" – Estações de Tratamento de Água, onde a água bruta passa por processos físicos e químicos de purificação, além da desinfecção (eliminação dos organismos patogênicos) e fluoretação (visando a melhoria da saúde bucal da população atendida). Uma ETA completa ou



convencional apresenta os seguintes processos principais: coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção. Na *coagulação* tem-se a mistura da água bruta com uma substância coagulante (cloreto férrico, sulfato de alumínio, polímeros, entre outros), em alta velocidade. Na etapa seguinte, *floculação*, a velocidade é diminuída para que haja um tempo de contato maior entre a água e o coagulante, facilitando a formação dos flocos. Estes irão se depositar pela ação da gravidade, no fundo dos decantadores, na etapa seguinte que é a *decantação*. Após a decantação, a água segue para os *filtros*, passando por camadas de materiais com diferentes granulometrias (pedra, pedregulho, cascalho, carvão antracito, areia grossa e areia fina, por exemplo). Depois da filtração, realiza-se a *desinfecção* que consiste na eliminação dos organismos patogênicos presentes na água, pela aplicação de compostos de cloro, cloro gás, ozônio, radiação UV, entre outros. No caso do Brasil, o emprego do cloro é o mais indicado na maioria das cidades, por sua eficiência e por razões econômicas.

Reservatórios de Distribuição

O objetivo principal é armazenar água para atender as variações do consumo, demandas de emergências e manter a pressão na rede dentro dos limites estabelecidos pela norma (Carvalho e Oliveira, 2007; Tsutiya, M.T., 2006).

Rede de Distribuição

Conjunto de condutos assentados nas vias públicas, junto aos edifícios, cuja função é conduzir a água aos prédios e aos pontos de consumo público (Carvalho e Oliveira, 2007; Tsutiya, M.T., 2006).

Abastecendo as Populações

A demanda por água é crescente nos centros urbanos e não basta servir à população água em quantidade suficiente, deve-se ter sempre em mente que a qualidade da água de abastecimento é fundamental. As doenças de veiculação hídrica ainda são responsáveis por um número considerável de internações hospitalares no Brasil, refletindo-se nos índices de morbidade e mortalidade (saúde pública) e na economia do país, por comprometer a força produtiva (mão de obra trabalhadora).

A água para uso humano deve atender a critérios rigorosos de qualidade, e para isso, não deve conter elementos nocivos (substâncias tóxicas e organismos patogênicos) à saúde e nem possuir sabor, odor ou aparência desagradável (Tsutiya, M.T., 2006). Uma água própria para este fim é denominada água potável, e a característica que a mesma deve atender é chamada de padrões de potabilidade (Tsutiya, M.T., 2006).

Os padrões atuais de potabilidade de água são definidos pela Portaria no. 518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde.



Referências

CARVALHO AR E OLIVERIA MVC. **Princípios básicos de saneamento do meio**. São Paulo: Editora SENAC. 136 p. 2007.

FNS. **"Manual de Saneamento"**. 3a. Edição. Fundação Nacional de Saúde (FNS). Ministério da Saúde. Brasília, 1999. 374 p.

GIULIANO RC SOUZA. **"Notas de Aula da Disciplina Saneamento Ambiental"**. UMESP. São Bernardo do Campo, 2005.

TSUTIYA MT. **"Abastecimento de Água"**. 3ª edição. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. 643 p.



Sistemas urbanos de saneamento: esgoto

Profa. Dra. Rosana Cristina de Souza Giuliano

Objetivos:

Conhecer os elementos que compõem um sistema público de esgotamento sanitário; destacar a importância do tratamento dos esgotos sanitários.

Palavras-chave:

Sistemas de saneamento; esgotamento sanitário, tratamento de esgotos.



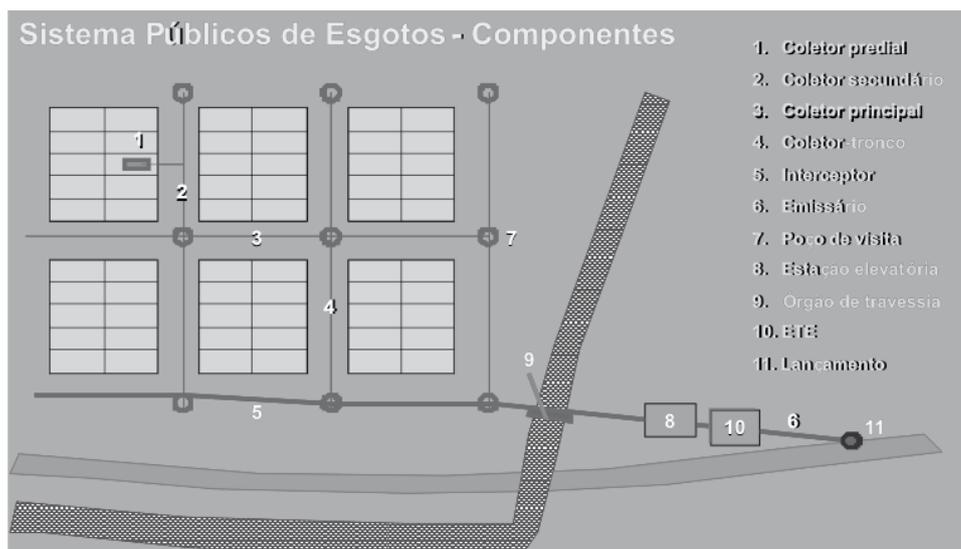
Sistemas públicos de esgotos sanitários

Os esgotos são constituídos por excretas humanas (fezes e urina), por águas servidas, procedentes do uso doméstico, comercial, industrial, e por águas pluviais (Carvalho e Oliveira, 2007).

A expressão "esgoto sanitário" está associada ao despejo líquido formado pelo esgoto doméstico, pelas águas servidas de instituições públicas, comerciais e pequenas indústrias, pela água de infiltração e pela parcela de contribuição pluvial parasitária (Pereira e Soares, 2006).

A disposição inadequada dos esgotos pode disseminar doenças que, associadas a fatores como má nutrição, resultam em altos índices de morbidade e mortalidade (Carvalho e Oliveira, 2007; Pereira e Soares, 2006). A Figura 1 apresenta os principais elementos de um sistema público de esgotamento sanitário.

Figura 1: Componentes dos Sistemas Públicos de Esgotos



Fonte: Souza Giuliano, 2005.

Componentes dos sistemas públicos de esgotos sanitários

Carvalho e Oliveira, 2007; Pereira e Soares, 2006; entre outros autores, nos apresentam as seguintes definições para os principais componentes de um sistema público de esgotos sanitários:

- **Coletores prediais:** conduzem as águas residuárias dos edifícios até a rede coletora pública.
- **Coletores secundários:** são os ramais da rede que servem a cada uma das ruas da malha urbana, recebendo os esgotos dos coletores prediais. Transportam as águas residuais de uma rua.
- **Coletores-tronco:** de maior diâmetro, recebem os efluentes de vários coletores secundários, conduzindo-os a um interceptor ou a um emissário.
- **Sifões invertidos:** canalizações rebaixadas que funcionam sob pressão, usadas nos trechos em que a rede precisa atravessar canais, obstáculos, etc.
- **Interceptor:** canalização de grande porte que intercepta o fluxo de coletores-tronco às margens de cursos d'água ou na beira de praias, protegendo-os de descargas diretas de esgoto.
- **Emissário:** conduto final do sistema; consiste em um tubo que conduz os efluentes da rede de uma ETE ou de uma ELE para o ponto de lançamento ou descarga de esgoto (curso d'água, lago ou mar), sem receber qualquer outro despejo no trajeto.
- **Estações Elevatórias de Esgotos:** são instalações eletromecânicas e obras civis destinadas a elevar as águas residuárias coletadas pela rede de esgotos, tanto para evitar o aprofundamento excessivo das canalizações como para possibilitar o acesso



Referências

ABES. **“Editorial - Uma Dívida Social”**. In: Jornal ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - Seção Minas Gerais, Ano V, no 13. Belo Horizonte, 1994. p. 2.

BATTALHA BL & PARLATORE AC. **“Controle da Qualidade da Água para Consumo Humano - Bases Conceituais e Operacionais”**. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). São Paulo, 1993. 198 p.

CARVALHO AR E OLIVEIRA MVC. **“Princípios básicos de saneamento do meio”**. São Paulo: Editora SENAC. 136 p. 2007.

PEREIRA JAR E SOARES JM. **“Rede Coletora de Esgoto Sanitário: Projeto, Construção e Operação”**. Universidade Federal do Pará. Belém, 2006. 296 p.

SOUZA GIULIANO RC. **“Notas de Aula da Disciplina Saneamento Ambiental”**. UMESP. São Bernardo do Campo, 2005.





Introdução e aspectos conceituais

Prof. Carlos Henrique A. de Oliveira

Objetivos:

Propiciar o conhecimento sobre os conceitos, objetivos e instrumentos do conjunto de leis e normas ambientais brasileiras;

Oferecer ao aluno a conceituação relativa aos elementos naturais e a bases para sua proteção e para a recuperação de seus atributos e características, quando alterados.

Palavras-chave:

Gestão ambiental; política nacional de meio ambiente; bens a proteger.



Introdução – Política Nacional de Meio Ambiente

Conceitos, diretrizes e instrumentos

Cada sociedade possui valores específicos, que refletem os seus valores sociais, culturais, religiosos e ideológicos, em diversas regiões do planeta. Exemplo disso é a pena de morte - há países onde ela é utilizada como punição máxima a determinados crimes, enquanto em outros não é aplicada.

As leis são conjuntos de regras que visam estabelecer linhas de conduta para os seres humanos, de forma a criar uma ordem para os comportamentos considerados aceitáveis ou não pela sociedade.

Na questão ambiental também existem regras, sendo considerado, como premissa básica, que o ambiente merece cuidado e tratamento diferenciado. Isto é reforçado pelo momento ao qual a sociedade humana está atravessando – de **crise ambiental**. Já enfrentamos diversas crises (sociais, econômicas, culturais, religiosas), de forma restrita ou global, como nos casos das Guerras Mundiais. Mas a crise ambiental é realmente global – afeta ou afetará a todos, sem exceção.

A alteração do ambiente gera impactos que podem desestabilizar o equilíbrio entre os elementos naturais, gerando, por sua vez, impactos na forma de outras vidas, ameaçando-as de extinção, nos casos mais extremos.¹

O equilíbrio ambiental ou ecológico foi construído e mantido por milhões de anos. Ar, água, solo, flora e fauna sempre conviveram de forma harmoniosa, com suas “regras” próprias – as cadeias alimentares, o ciclo das águas, a evolução das espécies, etc. Tudo isso formando o que costuma ser chamado de *ecossistema* – um sistema complexo, vivo, em funcionamento contínuo, onde cada um dos componentes está intimamente ligado ao outro, formando uma rede (ou uma teia) que sustenta a vida.

A alteração dos componentes desta rede é consequência do modelo de vida que adotamos, utilizando os recursos naturais limitados de maneira insustentável, para satisfação de nossas necessidades e ambições ilimitadas (Milaré, 2005).

ELEMENTOS NATURAIS FINITOS X NECESSIDADES HUMANAS INFINITAS

E como garantir a sustentabilidade das sociedades contemporâneas?

Uma das formas é estabelecer regras de conduta para as atividades humanas, de forma a garantir o respeito aos limites dos ecossistemas em se manter saudáveis e de se renovarem continuamente. E, para a solução de uma crise com as características da ambiental, estas regras devem ser claras e firmes – devem coibir e desestimular as práticas lesivas ao ambiente.

O conjunto de normas (regras) é fundamental para se estabelecer uma linha aceitável de conduta por todos – cidadãos, governos e setor econômico – não se permitindo desvios que possam comprometer a sustentação da sociedade, garantindo-se o interesse maior – o da coletividade. O equilíbrio entre as forças que compõem a sociedade é fundamental para que se mantenha, inclusive, o equilíbrio do ambiente. No caso brasileiro, este objetivo foi instituído pelo Artigo 225 da Constituição Federal, que diz:

“Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida, cabendo ao Poder Público e à coletividade, o dever de protegê-lo para a presente e as futuras gerações”.

¹ Segundo estimativas, entre 1500 e 1850, foi presumivelmente extinta uma espécie a cada 10 anos. Entre 1850 e 1950, uma espécie por ano. Na década de 1990, uma espécie por dia. Se continuarmos nesse ritmo, a partir do ano 2000 poderá desaparecer uma espécie por hora (BOFF LEONARDO. **Ecologia: Grito da Terra, grito dos pobres**. São Paulo. Ática. 1995).



Este artigo traz conceitos importantes, detalhados a seguir:

- **Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado:** esta parte inicial do texto ressalta que todos têm direito ao ambiente saudável e equilibrado. E não é qualquer equilíbrio – ele deve ser ecologicamente equilibrado, o que quer dizer que todos os elementos que compõem o ambiente devem estar em sua melhor qualidade, relacionando-se de forma harmoniosa com os demais.
- **Bens de uso comum do povo:** esta parte do texto destaca que o ambiente é um bem que pode ser desfrutado por toda e qualquer pessoa - desde que o proteja e defenda. Ou seja, não há titularidade sobre o bem, mas há responsabilidade sobre sua conservação.
- **Bens essenciais à sadia qualidade de vida:** são bens fundamentais à garantia da qualidade de vida das pessoas e dos seres vivos, o que pressupõe ser um ambiente saudável.

Já a **Lei Federal nº 6.938/81**, que instituiu a **Política Nacional de Meio Ambiente – PNMA**, não se restringiu apenas em dar sentido e organização a um conjunto de normas de caráter ambiental. Buscou, sim, propor a estruturação de uma política nacional para o tema, composta por objetivos, princípios e instrumentos - ferramentas que dão condições para atingir os objetivos.

O principal **objetivo** desta lei é a **proteção do ambiente**, resguardar as características naturais dos elementos que o compõem e garantir o equilíbrio entre o desenvolvimento humano e sua preservação. O artigo 2º da referida lei diz que o **objetivo** da PNMA é *"... a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no país, condições do desenvolvimento socioeconômico, aos interesses de segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana..."*.

Já os **objetivos específicos** complementam este objetivo principal, apontando os rumos e os resultados esperados pela implementação da política ambiental. Podemos destacar, dentre os objetivos específicos da Política Nacional de Meio Ambiente, a *"compatibilização do desenvolvimento econômico-social com a preservação da qualidade do meio ambiente e do equilíbrio ecológico"*. Este objetivo específico ressalta a necessidade de que o desenvolvimento social e econômico considere o equilíbrio ecológico como parte integrante de seu processo.

Assim, as regras estabelecidas pelas leis brasileiras de caráter ambiental orientam as atividades humanas – sua implantação e seu funcionamento – no sentido de garantir a manutenção do equilíbrio ecológico, evitando a degradação ambiental.

Isso está fundamentado no princípio da **conservação ecológica**, na **relação causa-efeito**, nas **leis físicas e dinâmicas**, onde qualquer alteração em determinado elemento gera reflexos em outro elemento. Um exemplo é nosso próprio organismo, composto por vários órgãos distintos, com funções específicas, formando um **sistema**. Caso algum órgão deixe de cumprir seu papel corretamente, poderá comprometer o funcionamento de todo o sistema.

Para evitar a situação de doença, é necessário manter o organismo em condições de equilíbrio, com o abastecimento de energia vital (alimentação), processando os rejeitos (suor, fezes, urina) e mantendo o vigor de cada um dos elementos que compõem o sistema. Isso também vale para o ambiente - o equilíbrio entre os componentes do ambiente deve ser mantido, evitando a degradação do mesmo.

E o que significa degradar o ambiente ? **Degradação** é a alteração negativa das características de um determinado elemento, de maneira parcial ou total – quando não há possibilidade de recuperação das características anteriores. A degradação ambiental ocorre quando as características dos elementos que compõem o ambiente – ar, água, solo, fauna, flora – são afetadas, alterando a dinâmica dos mesmos e, portanto, seu equilíbrio natural.

Veremos nos momentos seguintes deste curso, alguns dos principais tipos de degradação e a forma de combatê-los.



Degradação ambiental e solo - aspectos conceituais

Prof. Carlos Henrique A. de Oliveira

Objetivos:

Propiciar ao aluno o conhecimento sobre os conceitos relativos à degradação ambiental, suas formas e causas, favorecendo a análise e a busca por soluções;

Propiciar ao aluno o conhecimento das características do elemento natural *solo*, as bases para sua proteção e para a recuperação de seus atributos e características, quando alterados.

Palavras-chave:

Degradação ambiental; áreas degradadas; solo.



Aspectos conceituais – Degradação Ambiental e Solo

Conceitualmente, **terra** é uma área delimitada de superfície sólida da Terra, cujas características incluem todos os atributos da **biosfera**, verticalmente acima ou abaixo dessa superfície, incluindo a *atmosfera mais baixa* ("bacia aérea"), o *solo* e a *geologia*, a *hidrologia* (incluindo os lagos, rios, mangues e pântanos), a *flora*, a *fauna*, as *ocupações humanas* e o *resultado de suas atividades*.¹

Degradação ambiental é a **alteração negativa das características** de determinados **elementos naturais**, que afetem sua estruturação e sua qualidade e, portanto, seu equilíbrio. Envolve a **redução do potencial de renovação** e de **recuperação da qualidade** dos elementos naturais, podendo, até, atingir a fase de esgotamento desses elementos, comprometendo suas funções - incluindo a de dar suporte à vida humana. O solo, assim como a água, é um elemento fundamental para a sobrevivência da humanidade. Segundo a FAO, poucas áreas no planeta são plenamente utilizáveis, como demonstra o quadro abaixo, sendo que a degradação ambiental do solo poderá afetar a capacidade de utilização desta parcela pelas atividades humanas, comprometendo seu potencial produtivo.

Tipos e características das áreas na Terra	% do total
Apresentam limitações ao uso agrícola	89
Clima muito seco	28
Clima muito úmido	10
Solo com desequilíbrios críticos – aspectos químicos	23
Áreas permanentemente congeladas	6

Fonte: FAO - Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação

A **degradação pode ser originada por vários fatores**, sejam eles naturais ou não. No primeiro caso – **causas naturais** – a degradação pode ter como origem a densidade de espécies da fauna e da flora, aliada a fatores climáticos – como ocorre no Nordeste brasileiro em períodos de seca extrema. No entanto, estas alterações são reversíveis ao longo do tempo, por ação do próprio sistema ecológico, que busca seu equilíbrio.

Entretanto, a **maior responsabilidade** é das **atividades humanas**, que alteram significativamente as características do solo, através de **intervenções físicas, químicas e biológicas**. O fator mais preocupante é que estas alterações promovidas pelo homem não são facilmente reversíveis, como aponta Gustavo Araújo². Segundo o autor, "o processo de recuperação ambiental do solo é muito mais lento se comparado com outros elementos naturais, como a água e o ar", sendo que a velocidade de sua perda é cerca de dezesseis a trezentas vezes mais rápida que sua recuperação (Araújo, 2004).

O **solo** é considerado como **elemento natural** e também como **espaço social** - estruturador das atividades sociais humanas. As cidades são construídas e se estruturam sobre o solo, a partir de determinados fatos geradores – culturais, religiosos, naturais, etc. buscando-se a compatibilidade entre os fatores naturais (relevo, clima, existência de elementos naturais, como a água) e os valores sociais e culturais da sociedade, assim como a aptidão da área para as atividades produtivas – como a agrícola, por exemplo.

Embora necessária, a atividade agrícola é uma das que mais altera as características do solo, seja nos aspectos físicos (alteração do relevo, remoção da cobertura vegetal), seja nos aspectos químicos e biológicos – com a inserção de defensivos agrícolas, adubos e compostos – orgânicos ou não.

Segundo Oldeman³, em 1990, a agricultura realizada de maneira inadequada foi responsável pela degradação de cerca de 560 milhões de hectares – por volta de 38% da

¹ Definição utilizada pela FAO – Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação.

² ARAÚJO GHS, ALMEIDA J R, GUERRA AJT. **Gestão Ambiental de Áreas Degradadas**. Editora Bertrand Brasil. São Paulo. 2005.

³ OLDEMAN LR. **The Global Extent in Soil Degradation**. in Soil Resiliense and Sustainable Land Use. Oxon. UK. CAB International. 1994.

afetam diretamente o solo, podendo comprometer os locais para outros usos, como demonstram as imagens a seguir.⁶



Podemos resumir os fatores causadores da degradação ambiental do solo pela tabela a seguir:
Classificação dos fatores de degradação do solo:

	Ações antrópicas	Condições naturais
Fatores facilitadores	Desmatamento Pastagem excessiva Uso excessivo de vegetação Cortes e aterros – taludes Remoção da cobertura vegetal	Topografia Textura do solo Composição do solo Cobertura vegetal Regimes hidrológicos
Fatores diretos	Uso de maquinário Pisoteamento – gado Redução do rodízio das áreas produtivas Manejo inadequado de drenagem hídrica Excesso de fertilização – acidez Uso excessivo de defensivos agrícolas Disposição inadequada e irregular de resíduos	Chuvas fortes Alagamentos Ventos fortes

Fonte: FAO

Assim, pelo exposto, a caracterização dos locais e o planejamento das ocupações e das atividades humanas são ações fundamentais para evitar resultados negativos, seja para a degradação ambiental e o equilíbrio ecológico, seja para a manutenção da qualidade de vida da sociedade humana.



⁶ Fotos do professor.



Referências

ARAÚJO GHS, ALMEIDA JR, GUERRA AJT. **Gestão Ambiental de Áreas Degradadas**. Editora Bertrand Brasil. São Paulo. 2005.

ALMEIDA JR, MARQUES T, MORAES FER, SOUZA JBM. **Planejamento Ambiental**. Thex Editora. Rio de Janeiro. 1999.



Ocupação urbana

Prof. Carlos Henrique A. de Oliveira

Objetivos:

Propiciar o conhecimento do aluno sobre as formas de degradação ambiental causadas pela ocupação urbana, favorecendo a análise e a busca por soluções;

Propiciar ao aluno o conhecimento das características das ocupações urbanas e dos assentamentos humanos, seus efeitos sobre o solo, e as bases para sua proteção e para a recuperação de seus atributos e características, quando alterados.

Palavras-chave:

Ocupação urbana; cidades; áreas degradadas; uso e ocupação do solo.



Ocupação do solo

Segundo o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), cerca de **82% da população brasileira é urbana**, sendo que, até a metade do século XX, a proporção era maior para a população rural. Este processo de êxodo rural foi impulsionado por alguns fatores sociais e econômicos, como a intensa industrialização do país e, em especial, da cidade de São Paulo, potencializado pela situação econômica do Brasil (seguidas crises, com inflação alta, elevando o grau de pobreza), pela busca por trabalho e atendimento nas áreas de educação e saúde.

Este cenário se caracterizou como um fenômeno socioeconômico nacional. Várias cidades passaram a receber grandes contingentes de pessoas, principalmente da região nordeste do país, que foram em busca de trabalho e melhores condições de vida nas cidades.

O resultado deste processo foi o “inchaço” dos núcleos urbanos - principalmente as capitais, que tiveram suas áreas periféricas ocupadas de forma rápida, sem controle público, sem planejamento e de maneira irregular. A necessidade de ter a moradia mais próxima ao local de trabalho também impulsionou a camada mais pobre para áreas consideradas ambientalmente frágeis – margens de córrego, encostas, topos de morro, etc.

A ocupação dessas áreas gerou um cenário com o qual convivemos até hoje – catástrofes e tragédias de famílias atingidas por eventos críticos de inundação, deslizamento ou escorregamento de terras, como ilustram as imagens ao lado.¹

A ineficiência das ações do Poder Público gerou um quadro extenso com demandas e necessidades - unidades habitacionais, transporte, infraestrutura de saneamento (abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo de resíduos e drenagem de águas pluviais). Este resultado negativo foi sendo construído aos poucos, numa dinâmica constante, como veremos a seguir. As alterações no ambiente, causadas pela ocupação urbana são de três tipos, como demonstra a tabela abaixo:



Alterações no meio ambiente geradas pela ocupação urbana

	Tipo de Alteração
Meio Físico	aceleração do processo erosivo
	ocorrência de escorregamentos
	aumento de áreas inundáveis ou de alagamento
	diminuição da infiltração no solo
	contaminação do solo e das águas subterrâneas
Meio Biótico	supressão da vegetação
	degradação da vegetação pelo efeito de borda
Meio Antrópico	aumento da demanda por serviços públicos essenciais (água, energia, etc.)
	aumento da demanda por serviços públicos de infra-estrutura urbana (transporte, coleta de lixo, etc.)
	aumento do consumo de água e energia
	alteração na percepção ambiental
	modificação (perda ou alteração) de referências culturais



Este processo de ocupação num curto espaço de tempo – pouco mais de sessenta anos – gerou problemas complexos e de grandes proporções, já que a degradação do solo, sua dinâmica e estruturação requerem estudos aprofundados. Estes estudos visam subsidiar a adoção da melhor solução para cada caso, já que o solo possui características próprias, com composição variável.

O conhecimento amplo e aprofundado destas características determinará a **estratégia de solução** a ser adotada, sem o qual as medidas a serem adotadas poderão não surtir o efeito desejado – recuperar e proteger o ambiente, a saúde e a vida humanas. Neste sentido, a definição da melhor estratégia demanda um processo de planejamento, cujas etapas verificaremos a seguir.

Estratégias de Recuperação Ambiental de Áreas Degradadas

Os processos associados a impactos ambientais estão relacionados às **atividades humanas** – empreendimentos, obras, atividades econômicas – seja na implantação ou no funcionamento destas atividades, ressaltando que tais impactos podem causar danos à saúde humana e ao ambiente, afetando sua qualidade e o equilíbrio ecológico.

As situações de degradação ambiental são muitas e dependem do **tipo de atividade** humana causadora da degradação, sendo que fatores econômicos, políticos, sociais e culturais, também contribuem para o avanço da degradação no cenário urbano. Os riscos de degradação estão relacionados aos aspectos físicos e geológicos, e também às características dos empreendimentos ou obras - que apresentam riscos potenciais, como as indústrias químicas, o transporte de produtos perigosos, etc.

Aliado a esta questão, o aumento do número de pessoas vivendo em áreas urbanas tem sido uma das características negativas do processo de urbanização e crescimento das cidades brasileiras, verificado principalmente nas regiões metropolitanas. Com o quadro a seguir, podemos sintetizar os elementos geradores deste cenário:

Fatores geradores de degradação ambiental no ambiente urbano	Crise econômica e social com solução em longo prazo
	Política urbana historicamente ineficiente
	Ineficácia dos sistemas de controle do uso e ocupação do solo
	Inexistência de legislação adequada para as áreas suscetíveis
	Inexistência de apoio técnico para orientação e a adoção de práticas sustentáveis
	Ausência de um processo de planejamento que inclua os aspectos de prevenção e recuperação das condições ambientais

Para aprofundar o conhecimento dos fatos geradores de um cenário crítico, é necessário **identificar** e **conhecer** os elementos causadores do processo de degradação, bem como seus efeitos, para que seja possível a escolha da melhor solução. Portanto, qualquer proposta de **gerenciamento de impactos ambientais** que implique em processos de recuperação ambiental, reforça a necessidade de **conhecimento do problema – cenário-problema**.

Para esta finalidade, há um conjunto de ações que apoiam e subsidiam a construção do cenário-problema. Este conjunto de ações na área urbana é formado pelas seguintes etapas:

- identificação e diagnóstico;
- análise das informações coletadas;
- formulação de proposta de recuperação;
- uso futuro possível.



¹ Fotos do professor.

Na etapa inicial – **Diagnóstico**, a identificação dos aspectos principais é caracterizada pelas seguintes ações:

Tema (características)	Informações a serem levantadas
Solo	Natureza do solo
	Relevo/declividade
	Manejo e intervenções
Impacto causado	Tipo de uso/atividade
	Tipo de poluente/agente degradador
Análise e interpretação dos dados coletados	Avaliação de riscos (à saúde humana, ao ambiente, ao desenvolvimento socioeconômico, etc.)
	Proteção

Esta fase é fundamental para o resultado final, pois o **diagnóstico preciso permitirá a melhor solução**. Na situação inversa, o diagnóstico impreciso e carente de informações poderá levar ao insucesso, pois a solução estará baseada em dados e informações que não traduzem o problema real. É como um diagnóstico médico – a avaliação médica em conjunto com exames complementares permite, ao profissional de saúde, o melhor diagnóstico, a indicação de soluções de tratamento e o descarte de outras. Caso o diagnóstico seja impreciso, o tratamento indicado poderá não surtir o objetivo: a cura do paciente.

Na etapa seguinte, e após o diagnóstico (informações coletadas e analisadas de forma conclusiva), inicia-se a fase final – **Recuperação Ambiental** -, que consiste na **elaboração da proposta técnica** – utilização de técnicas, métodos e instrumentos disponíveis para o processo de recuperação ambiental, conforme o quadro a seguir:

	Informações a serem levantadas
Elaboração de Proposta de Recuperação	Eficácia da técnica (recuperação parcial ou total)
	Custo/benefício
	Priorização de técnicas

Nesta etapa final, a solução deverá prever o **uso futuro** da área recuperada – ou seja, qual sua destinação, inserindo-a na dinâmica urbana.



Referências

ARAÚJO GHS, ALMEIDA JR, GUERRA AJT. **Gestão Ambiental de Áreas Degradadas**. Editora Bertrand Brasil. São Paulo. 2005.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – **Manual de Ocupação de Encostas** – Coordenador: Márcio A. Cunha – Publicações IPT – São Paulo – 1991.

www.cidades.gov.br



Áreas contaminadas

Prof. Carlos Henrique A. de Oliveira

Objetivos:

Propiciar o conhecimento do aluno sobre as formas de degradação ambiental causadas pela contaminação de áreas por atividades humanas, favorecendo a análise e a busca por soluções;

Propiciar ao aluno o conhecimento das características da contaminação de áreas urbanas, seus efeitos sobre o solo, a saúde e o bem-estar humanos, e as bases para sua proteção e recuperação de seus atributos e características, quando alterados.

Palavras-chave:

Áreas contaminadas; ocupação urbana; cidades; gerenciamento de áreas contaminadas.



Contaminação de Áreas – impactos ambientais significativos

A diversidade de atividades econômicas (produtivas, comerciais, de serviços) e sua complexidade têm gerado uma situação ainda pouco conhecida: a existência de riscos urbanos e ambientais. Várias destas atividades podem ser consideradas comuns à maioria, mas carregam consigo um grau potencial de riscos à saúde humana e à qualidade do ambiente. Isto ocorre por suas características – atividades que tratam com produtos potencialmente poluidores (indústrias químicas, comércio de produtos perigosos) –, pelo funcionamento incorreto ou, ainda, por sua localização – próxima a outras atividades mais sensíveis (unidades de saúde e de educação, principalmente).

Mesmo atividades mais comuns, como uma oficina mecânica que possua serviços de funilaria e pintura, podem ser fontes de riscos à saúde humana e ao bem-estar das pessoas, assim como ao ambiente, caso não adotem medidas de controle ambiental. Atualmente, o conhecimento técnico e a tecnologia são considerados aliados fortes do controle ambiental e da minimização dos riscos associados a diversas atividades. No Estado de São Paulo, por exemplo, o órgão ambiental estadual (CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) desenvolveu estratégias para o gerenciamento de áreas impactadas, em especial as áreas contaminadas.

O **gerenciamento de áreas contaminadas (ACs)** visa **minimizar os riscos** a que estão sujeitos a população e o ambiente, através de um conjunto de medidas que assegurem o conhecimento das características dessas áreas e dos impactos por elas causados.

O **pleno conhecimento do problema** proporciona os instrumentos necessários à **tomada de decisões** quanto às formas de intervenção mais adequadas e permite a adoção de soluções mais adequadas, a partir da constatação da complexidade e da extensão da degradação ambiental.

Uma **área contaminada** pode ser definida como 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, 2010).

Nessa área, os poluentes (ou contaminantes) podem concentrar-se em diferentes locais – ou compartimentos - do ambiente, como por exemplo no solo, nos sedimentos, nas rochas, nos materiais utilizados para aterrar os terrenos, nas águas subterrâneas ou, de uma forma geral, nas zonas não-saturadas e saturadas, além de poder concentrar-se nas paredes, nos pisos e nas estruturas das construções (CETESB, 2010).

Os poluentes (ou contaminantes) podem ser transportados a partir desses meios, propagando-se por diferentes vias, como o ar, o próprio solo, as águas subterrâneas e superficiais, modificando suas características naturais (alteração da qualidade natural desses elementos) e determinando impactos negativos e/ou riscos sobre os elementos naturais, localizados na própria área ou em seus arredores (CETESB, 2010). A contaminação de uma área é, por si só, um problema de grau elevado, e deve considerar, nos seus estudos e levantamentos, o agente causador, o elemento poluidor, o(s) elemento(s) natural(is) atingido(s) e a extensão da contaminação.

Uma área degradada por contaminação requer uma investigação detalhada para se avaliar a necessidade e a urgência de intervenção, bem como a forma desta intervenção. Dentre os estudos necessários incluem-se a caracterização dos elementos naturais existentes e, principalmente, do solo e da hidrologia local - na área de estudo e no seu entorno. Também são de fundamental importância a **identificação e a caracterização dos poluentes presentes**, como:

- **origem:** a atividade causadora da contaminação (tipo de atividade, forma de produção, matérias-primas utilizadas, resíduos gerados);
- **propriedades físicas, químicas e biológicas** (como peso molecular, toxicidade, solubilidade em água, pressão de vapor, etc);
- **processos de transporte e imobilização dos agentes poluidores** (degradabilidade do agente, persistência, bioacumulação, mobilidade).



Essas informações, associadas à caracterização hidrogeológica, possibilitarão uma previsão inicial da pluma de contaminação dos solos e das águas subterrâneas, subsidiando uma caracterização mais detalhada do cenário.

Já a caracterização geoquímica deverá ser realizada através de um conjunto de amostras de solos, conjunto este que contemple todas as camadas do subsolo, na zona insaturada e toda a área afetada por poluentes, definidas com base na caracterização geológica e hidrogeológica, bem como nas propriedades dos poluentes e histórico da contaminação.

Como demonstrado nos módulos anteriores, esta etapa de caracterização – **Diagnóstico** –, é fundamental para o sucesso do processo de recuperação ambiental de uma área degradada, qualquer que seja o fator causador da degradação.

Esta etapa inicial já permite a identificação e caracterização preliminar da situação da área, e o posterior enquadramento na relação dos tipos de área contaminada, abaixo descrita.

Tipologia das Áreas Impactadas

Tipo de área	Características
Área com potencial de contaminação (AP)	Áreas potencialmente contaminadas (AP) são aquelas onde estão sendo ou foram desenvolvidas atividades potencialmente contaminadoras, isto é, onde ocorre ou ocorreu o manejo de substâncias cujas características físico-químicas, biológicas e toxicológicas podem causar danos e/ou riscos aos bens a proteger.
Área suspeita de contaminação (AS)	Área, terreno, local, instalação, edificação ou benfeitoria com indícios de ser uma área contaminada (AC).
Área contaminada sob investigação (AI)	Área onde há comprovadamente contaminação, constatada em investigação confirmatória, na qual estão sendo realizadas análises para determinar a extensão da contaminação e identificar a existência de bens a proteger, bem como para verificar se há risco à saúde humana. A área também poderá ser classificada como área contaminada sob investigação (AI), caso seja constatada a presença de produtos contaminantes ou quando houver constatação da presença de substâncias, condições ou situações que possam representar perigo.
Área contaminada (AC)	Área anteriormente classificada como área contaminada sob investigação (AI) na qual, após a realização de avaliação de risco, foram observadas quantidades ou concentrações de matéria em condições que causem ou possam causar danos à saúde humana. A critério do órgão ambiental, uma área poderá ser considerada contaminada (AC), sem a obrigatoriedade de realização de avaliação de risco à saúde humana, quando existir um bem a proteger de relevante interesse ambiental.
Área em processo de monitoramento para reabilitação (AMR)	Área anteriormente classificada como contaminada (AC) ou contaminada sob investigação (AI), na qual foram implantadas medidas de intervenção e atingidas as metas de remediação definidas para a área, ou na qual os resultados da avaliação de risco indicaram que não existe a necessidade da implantação de nenhum tipo de intervenção para que a área seja considerada apta para o uso declarado, estando em curso o monitoramento para encerramento.
Área reabilitada para uso declarado (AR)	Área anteriormente classificada como área em processo de monitoramento para reabilitação (AMR) que, após a realização do monitoramento para encerramento, for considerada apta para o uso declarado.

Fonte: CETESB



Áreas contaminadas – estratégias de recuperação

Prof. Carlos Henrique A. de Oliveira

Objetivos:

Propiciar o conhecimento do aluno sobre as formas de recuperação ambiental de áreas contaminadas por atividades humanas;

Propiciar ao aluno o conhecimento das estratégias para a recuperação ambiental das áreas contaminadas e resgate de seus atributos e características, quando alterados.

Palavras-chave:

Áreas contaminadas; gerenciamento de áreas contaminadas; recuperação ambiental de áreas contaminadas.

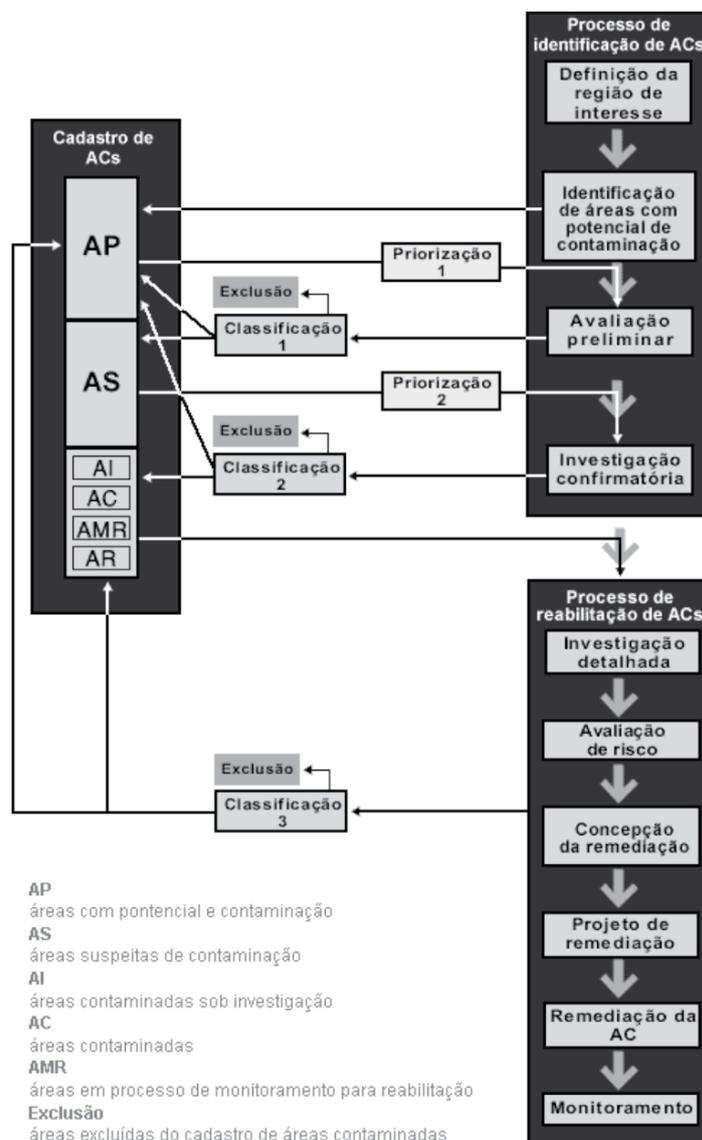


Estratégias de Recuperação Ambiental de Áreas Contaminadas

O gerenciamento de uma área contaminada é realizado em etapas, sendo que, de acordo com o Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB, adotado no Estado de São Paulo, as etapas de investigação e de recuperação ambiental possuem a seguinte estrutura:

- Definição da região de interesse
- Identificação de áreas potencialmente contaminadas
- Avaliação preliminar
- Investigação confirmatória (qualitativa)
- Investigação detalhada (quantitativa)
- Avaliação de risco
- Investigação para remediação
- Projeto de remediação
- Remediação da área contaminada
- Monitoramento

Ainda segundo o Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB –elaborado em conjunto com a Agência de Cooperação Técnica alemã – GTZ, a estratégia para o gerenciamento de uma área contaminada deve considerar o seguinte fluxograma:



Fonte: CETESB - Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas

Para cada etapa, uma série de ações deve ser empreendida, como detalhado no quadro a seguir:

Etapa	Detalhamento
Definição da região de interesse	Definição dos limites da região a ser abrangida pelo gerenciamento. Estabelecimento dos objetivos principais, considerando os principais bens a proteger (qualidade das águas subterrâneas, do solo, das águas superficiais, as áreas de preservação ambiental, a fauna, a flora, a saúde da população e as áreas agrícolas).
Identificação de áreas potencialmente contaminadas - AP	Identificação das áreas existentes na região de interesse onde são manipuladas ou foram manipuladas substâncias, cujas características físico-químicas, biológicas e toxicológicas possam causar danos aos bens a proteger.
Avaliação preliminar	Elaboração de diagnóstico inicial das áreas potencialmente contaminadas, identificadas na etapa anterior, a partir do levantamento de informações existentes e de informações coletadas em inspeções de reconhecimento em cada uma dessas áreas. Possibilitará verificar a necessidade da adoção de medidas emergenciais nas áreas. Como resultado dessa avaliação, as áreas poderão ser classificadas como ASs, ACs ou mesmo permanecerem como APs.
Investigação confirmatória	O objetivo principal é confirmar ou não a existência de contaminação nas áreas suspeitas, identificadas na etapa de avaliação preliminar. As áreas anteriormente classificadas como ASs serão avaliadas, utilizando-se métodos diretos e indiretos de investigação, visando comprovar a presença de contaminação, possibilitando a classificação das mesmas como ACs.
Investigação detalhada	O objetivo principal é quantificar a contaminação, isto é, avaliar detalhadamente as características da fonte de contaminação e dos meios afetados, determinando-se as dimensões das áreas ou volumes afetados, os tipos de contaminantes presentes e suas concentrações. Esta etapa é a primeira do processo de recuperação de áreas contaminadas e é fundamental para subsidiar a execução da etapa seguinte. A metodologia utilizada para execução da etapa de investigação detalhada é semelhante à utilizada para a execução da etapa de investigação confirmatória.
Avaliação de risco	<p>O objetivo principal é a quantificação dos riscos aos bens a proteger. Essa quantificação é baseada em princípios de toxicologia, química e no conhecimento sobre o comportamento e transporte dos contaminantes. As seguintes etapas devem ser consideradas na avaliação dos riscos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - identificação e quantificação dos principais contaminantes nos diversos meios; - identificação da população potencialmente atingida pela contaminação; - identificação das principais vias de exposição e determinação das concentrações de ingresso dos contaminantes; - avaliação do risco através da comparação das concentrações de ingresso com dados toxicológicos existentes. <p>Os resultados desta avaliação podem subsidiar a tomada de decisão quanto às ações a serem implementadas para a recuperação da área para um uso definido.</p>
Investigação para remediação	<p>O objetivo desta etapa é selecionar, dentre as várias opções de técnicas existentes, aquelas que são possíveis, apropriadas e legalmente permissíveis para o caso considerado. Para a realização dessa etapa, devem ser desenvolvidos os seguintes trabalhos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - levantamento das técnicas de remediação; - elaboração do plano de investigação; - execução de ensaios piloto em campo e em laboratório; - realização de monitoramento e modelagem matemática; - interpretação dos resultados; - definição das técnicas de remediação.





Projeto de remediação	<p>O projeto de remediação deve ser elaborado para ser avaliado pelo órgão de controle ambiental, que poderá autorizar ou não a implantação e operação dos sistemas de remediação propostos.</p> <p>O projeto deverá conter todas as informações levantadas sobre a área contaminada; planos detalhados de segurança dos trabalhadores e vizinhança; plano detalhado de implantação e operação do sistema de remediação, contendo procedimentos, cronogramas detalhados e o plano de monitoramento da eficiência do sistema, com os pontos de coleta de dados definidos, parâmetros a ser analisados, frequência de amostragem e os limites ou padrões definidos como objetivos a ser atingidos pela remediação para interpretação dos resultados.</p>
Remediação	<p>Implementação de medidas que resultem no saneamento da área ou do material contaminado e/ou na contenção e isolamento dos contaminantes, de modo a atingir os objetivos aprovados a partir do projeto de remediação, devendo ser continuamente avaliados de modo a verificar a real eficiência das medidas implementadas, assim como dos possíveis impactos causados aos bens a proteger pelas ações de remediação.</p>
Monitoramento	<p>Durante todas as etapas de remediação, a área deverá permanecer sob contínuo monitoramento, por período de tempo a ser definido pelo órgão de controle ambiental, sendo que os resultados do monitoramento serão utilizados para verificar a eficiência da remediação e se os objetivos desta estão sendo atingidos ou não.</p>

Fonte: CETESB - Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas



Referências

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas**. Acessível em www.cetesb.sp.gov.br

www.mma.gov.br

www.mma.gov.br/conama





Biorremediação

Profa. Dra Marta Cristina Souza

Objetivos:

Conhecer as principais formas de remediação biológica, ou seja, controlar ou recompor o solo e a água através de processos que utilizam micro-organismos (biorremediação) ou plantas (fitorremediação).

Palavras-chave:

Biorremediação; biodegradação; *landfarming*; compostagem ou biopilhas, fitorremediação e *wetlands*.



Biorremediação

O solo é formado a partir de rochas, que com ajuda do clima e de micro-organismos se transforma num material solto e macio. É composto de ar, água, matéria orgânica e mineral. Apresenta grande importância para o homem, pois dele retiramos parte de nossa alimentação. É um recurso finito e não renovável, assim sendo, novas tecnologias vem sendo desenvolvidas para minimizar os efeitos das ações antrópicas sobre esse elemento tão importante. Um dos mecanismos de correção é a remediação biológica, através do uso de plantas e micro-organismos, chamada de **biorremediação**. Em primeiro lugar vamos identificar os principais tipos de degradação frequentemente ocorridos no solo:

- **Erosão:** prejudica grandemente a fertilidade do solo pela retirada da camada de húmus, deixando o solo pobre e improdutivo. É causada pela ação das águas da chuva, rios, mares, geleiras, pelo vento e pela ação do homem.
- **Lixo:** pode ser classificado como *doméstico, comercial, público, hospitalar e industrial*. Setenta e cinco por cento do lixo coletado no Brasil são jogados em lixões a céu aberto, contaminando o solo e conseqüentemente poluindo lençóis subterrâneos de água.
- **Aterro Sanitário:** são construídos com procedimentos de segurança, diminuindo o contato das pessoas com o lixo. Possuem sistemas de drenagem e tratamento de resíduos. O lixo é lançado ao solo, coberto com terra e comprimido.
- **Metais Pesados:** *Merúrio:* é largamente utilizado em indústrias e garimpos, para separação de impurezas. *Chumbo:* utilizado na fabricação de pilhas e baterias.
- **Agrotóxicos:** produtos utilizados para combater os seres vivos que prejudicam plantações ou animais criados para o abate. Podem ser denominados como: inseticidas, fungicidas, herbicidas, acaricidas, etc.
- **Compostos Orgânicos:** são compostos formados basicamente por átomos de Carbono e Hidrogênio, dos quais os organoclorados são os mais significativos na saúde pública. São lipossolúveis, se acumulam na cadeia alimentar e no tecido adiposo. Noventa por cento dos retidos no organismo humano são provenientes da alimentação. Estão associados à *intoxicação* quando atuam sobre o sistema nervoso central resultando em distúrbios comportamentais, sensoriais, de equilíbrio na musculatura involuntária, e depressão dos sistemas vitais como respiração, e podem causar convulsões, paralisia e morte do indivíduo. A contaminação ocorre pela ingestão e contato com a pele.

Descontaminação do solo

Biodegradação: é definida como atividade microbiana utilizada na eliminação de produtos químicos do ambiente. É a utilização de organismos que transformam ou acumulam compostos químicos de alto risco, para eliminar os poluentes presentes em amostras ambientais.

Através desse processo natural, realizado por espécies microbianas envolvidas na decomposição da matéria orgânica, que os processos de remediação foram pensados, estudados e muitos estão hoje sendo aplicados.

A exploração da diversidade microbiana ou de plantas na transformação de contaminantes em produtos que podem ser integrados aos ciclos biogeoquímicos, constitui o principal alvo do estudo da biodegradação. Os micro-organismos em geral podem acumular ou transformar elementos contaminantes, como resultado de reações enzimáticas ou de contato com a superfície desses organismos. Esses processos ocorrem naturalmente, assim, esses micro-organismos podem ser utilizados imobilizados para tratamentos de efluentes industriais, de jazidas, resíduos municipais e em programas de biorremediação através de *land-farming* e compostagem.

O processo requer estudo das espécies e de processos que possam levar a um resultado mais positivo, assim é essencial que as espécies utilizadas sejam isoladas de áreas contaminadas; que



possuam a capacidade de formar biofilme para serem anexadas a materiais como redes de nylon ou lã de vidro, ou para espécies que não formam biofilme ser imobilizadas em resina de epóxi e polisulfone. Devem ainda possuir a capacidade de filtração para acumular, precipitar e transformar metais e, se possível ser capaz de formar biosurfactantes que são exopolímeros produzidos por micro-organismos com potencial para utilização *in situ*, na descontaminação do solo.

A **biodegradação** é realizada por dois processos diferenciados: a **estimulação**, que visa estimular os micro-organismos já existentes (autóctones) no ambiente e a **bioaumentação** ou **bioadição**, realizada a partir da introdução de micro-organismos no solo ou água antecipadamente aclimatados ou modificados.

No estudo para aplicação desses métodos, algumas barreiras ambientais podem interferir como: a maior parte dos micro-organismos tem ótimo de crescimento em pequena faixa de pH, temperatura e umidade; a umidade de solo gira em torno de 25 a 28%; o pH do solo está entre 5,5 e 8,8; as temperaturas variam de 15 a 45 °C; os contaminantes podem ser encontrados em concentrações não-tóxicas; e a presença de nutrientes, como N, P, K, além da quantidade de oxigênio. Todos esses elementos devem ser verificados e considerados.

Conceitos de biorremediação

A biorremediação consiste na utilização de seres vivos ou de seus componentes na recuperação de áreas contaminadas. São processos que utilizam micro-organismos ou seus produtos metabólicos ou plantas para degradar, transformar, adsorver ou absorver compostos poluentes. Processo de tratamento que utiliza ocorrência natural de micro-organismos para degradar substâncias tóxicamente perigosas em substâncias menos ou não-tóxicas. Processo ou estratégia que busca descontaminar o solo ou outros ambientes contaminados, fazendo uso de micro-organismos (fungos, bactérias etc.) ou plantas. Os objetivos e benefícios da biorremediação são inocular o solo com micro-organismos com capacidade de metabolizar resíduos tóxicos, proporcionando maior segurança e menos perturbações ao meio ambiente. Os tipos de estratégias para biorremediação do solo conhecidos são:

- **PASSIVA**: consiste na degradação natural pelos micro-organismos indígenas do solo;
- **BIOESTIMULADORA**: consiste na adição de nutrientes como N e P para estimular os micro-organismos indígenas, aumentando sua população, promovendo o aumento da atividade metabólica na degradação de contaminantes;
- **BIOVENTILAÇÃO**: é uma forma de bioestimulação por meio da adição de gases estimulantes, como O₂ e CH₄, para aumentar a atividade microbiana decompositora;
- **BIOAUMENTAÇÃO**: consiste na mistura específica de micro-organismos em ambientes contaminados, para iniciar o processo da biorremediação. É a inoculação do local contaminado com micro-organismos selecionados para degradação do contaminante.

Dois métodos hoje são amplamente utilizados na descontaminação do solo: o **LANDFARMING**, que é a aplicação e incorporação de contaminantes ou rejeitos contaminados na superfície do solo não contaminado para degradação, onde o solo é arado e gradeado para promover a mistura uniforme do contaminante e aeração, e a **COMPOSTAGEM**, que utiliza micro-organismos termofílicos aeróbios em pilhas construídas para degradar o contaminante.

A **BIORREMEDIAÇÃO IN SITU**: visa tratar o solo no local de contaminação, com introdução de oxigênio, nutrientes e micro-organismos em galerias e poços de infiltração. Já na **BIORREMEDIAÇÃO EX SITU** o resíduo a ser tratado é transportado a outro local, não oferecendo riscos de danos ao meio ambiente. O processo se inicia com a redistribuição do solo em camadas, irrigado com nutrientes e bactérias. Há controle rigoroso da lixiviação e escoamento superficial do material contaminado, o que não ocorre no *landfarming* sendo, portanto, mais seguro e próprio para tratamento de solos contaminados. Na tabela abaixo temos alguns exemplos de contaminantes e espécies microbianas utilizadas no processo de biorremediação:

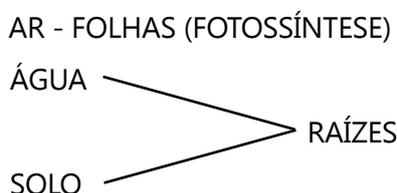


Contaminantes	Espécie Utilizada
Anéis Aromáticos	<i>Pseudomonas, Achromobact, Bacillus, Arthrobacter, Penicillum, Aspergillus, Fusarium, Phanerocheate</i>
Cádmio	<i>Staphilococcus, Bacillus, Pseudomonas, Citrobacter, Klebsiella, Rhodococcus</i>
Cobre	<i>Escherichia coli, Pseudomonas</i>
Cromo	<i>Alcaligenes, Pseudomonas</i>
Enxofre	<i>Thiobacillus</i>
Petróleo	<i>Pseudomonas, Proteus, Bacillus, Penicillum, Cunninghamella</i>

As vantagens apresentadas pela aplicação desse processo são: é um método mais barato que os tratamentos convencionais; aplicável a uma grande variedade de contaminantes; é de grande aceitação pública; não utiliza água natural tratada; não interfere nas operações que já estão sendo realizadas, podendo ser utilizado em locais de difícil acesso; pode ser usado *in situ*, reduzindo possibilidades de contaminação para os trabalhadores, permitindo que os micro-organismos ajam na redução dos contaminantes transformando-os em subprodutos menos nocivos ao meio ambiente. Já as desvantagens são: não é uma solução imediata; os locais a serem tratados devem estar preparados para suportar a ação dos micro-organismos.

Fitorremediação

Definimos a fitorremediação como os mecanismos que utilizam sistemas vegetais para recuperar águas e solos contaminados por poluentes. Compreende mecanismos nos quais se utiliza a planta *in situ* para o tratamento de solos ou água contaminados. Todas as partes da planta participarão do processo segundo o esquema abaixo:



Assim são consideradas características das plantas para uso nesses sistemas: sistema radicular profundo e denso; alta taxa de crescimento e produção de biomassa; fácil colheita; resistência a doenças e pragas; resistência ao contaminante; fácil controle e erradicação.

As plantas podem remediar os solos contaminados com metais pesados através de diversos mecanismos denominados fitoextração, fitoabsorção, fitotransformação ou fitodegradação, fitoestabilização ou fitovolatilização e rizorremediação.

- **Fitoextração:** é a absorção e acumulação dos metais nos tecidos das plantas. No caso de solos contaminados com metais pesados, a fitoextração é a mais estudada. A acumulação de metais pelas plantas só será eficiente se o contaminante for depois removido do solo através da colheita da matéria vegetal. Em geral, é necessário que a colheita seja realizada antes da queda das folhas ou antes de sua morte e decomposição, de forma que os contaminantes não se dispersem ou retornem ao solo;
- **Fitoadsorção:** é a adsorção dos metais no sistema radicular, imobilizando os contaminantes;
- **Fitotransformação ou fitodegradação:** é a decomposição dos contaminantes absorvidos pela planta através dos processos metabólicos nos tecidos vegetais ou a decomposição dos contaminantes externamente, através de enzimas produzidas pela planta;



- **Fitovolatilização:** é utilizada normalmente com metais pesados, quando podem ser absorvidos pelas raízes, convertidos em formas não-tóxicas e depois liberados na atmosfera (exemplo: mercúrio, selênio e arsênio);
- **Rizorremediação:** é a estimulação da biorremediação por fungos ou outros micro-organismos localizados no sistema solo-raíz.

Esses mecanismos são aplicados aproveitando as características dos próprios vegetais e são divididos em:

- **Barreiras hidráulicas:** são formadas por algumas árvores de grande porte, particularmente aquelas com raízes profundas (Ex: *Populus* sp.), quando removem grandes quantidades de água do subsolo ou dos lençóis aquáticos subterrâneos que posteriormente será evaporada através das folhas;
- **Capas vegetativas:** são coberturas vegetais, constituídas de capins ou árvores, feitas principalmente sobre aterros sanitários. São usadas para minimizar a infiltração de água da chuva e conter a disseminação dos resíduos poluentes.

Os poluentes são distribuídos nos tecidos das plantas e acumulam-se principalmente na parede vegetal, por ser composta por celulose, e nos vacúolos, pois é o local de armazenamento de água e outras substâncias.

A capacidade dessas plantas em suportar a presença desses poluentes em seu tecido está ligada à produção de substâncias que conferem tolerância a determinados poluentes. Tais características podem ser citadas como: a produção de citrato e malato, importantes nos mecanismos de tolerância ao alumínio; a produção de fitoquelatinas e metalotioninas, que possuem a capacidade de se ligarem aos metais. Outros exemplos estão ligados ao próprio manejo no momento da aplicação da técnica, como a adição de NTA (ácido nitrilotriacético) e EDTA (ácido etilendiamonitetracético) ao solo, para aumentar a absorção de poluentes por essas plantas.

São normalmente utilizadas no tratamento de hidrocarbonetos de petróleo como benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno; metais pesados como chumbo, cádmio, zinco, arsênio, cromo, selênio; herbicidas como atrazina, cianazina e alaclor; compostos radioativos como Césio-137, Estrôncio-90 e Urânio; contaminação com derivados de compostos inorgânicos como amônio, nitratos e fosfatos.

Alguns exemplos da aplicação dessas metodologias são o uso de girassóis para remover Césio e Estrôncio de lagoas na planta nuclear de Chernobyl; uso de *Thlaspi caerulescens* que acumula Zinco (2000 a 4000 mg/kg); uso de feijão de corda para absorção de herbicidas; *Pteris vittata* – espécie de samambaia capaz de absorver arsênio; *Galianthe grandifolia* que absorve 420 miligramas de Cádmio por quilo de matéria seca e Chorão, que adsorve derivados de petróleo como o benzeno.

Descontaminação da água

São denominadas *wetlands* ou áreas alagáveis aquelas utilizadas para caracterizar vários ecossistemas naturais que ficam parcial ou totalmente inundados durante o ano. São divididos em naturais ou construídos. Neste último caso são utilizadas para tratamento de efluente líquido.

Os *wetlands* construídos podem ser de escoamento superficial ou sub-superficial. No primeiro, é utilizado para a absorção de partículas pelo sistema radicular das plantas; absorção de nutrientes e metais pelas plantas; ação de micro-organismos associados à rizosfera e transporte de oxigênio para a rizosfera. No escoamento sub-superficial, a redução da DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e de sólidos suspensos é o foco principal.

São vantagens desses sistemas: apresentam baixo custo; melhoram a paisagem; podem ser utilizados para tratar áreas extensas, na redução dos lixiviados e no transporte dos contaminantes no solo (retidos pela vegetação) e, por fim, possuem tecnologia capaz de fornecer sua própria energia (pela fotossíntese).



A large vertical rectangular area with a light gray background, containing 25 horizontal black lines for writing.

A large vertical rectangular area with a light gray background, containing 25 horizontal black lines for writing.

