

# MONITORAMENTO DE BIOAEROSSÓIS EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Luiz Vitor da Silva  
André Luis Fachini de Souza  
Jéssica Caroline dos Santos Silva  
Sandro Augusto Rhoden

# **MONITORAMENTO DE BIOAEROSSÓIS EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO**

**Luiz Vitor da Silva  
André Luis Fachini de Souza  
Jéssica Caroline dos Santos Silva  
Sandro Augusto Rhoden**

Blumenau  
2023

# **INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA CATARINENSE**

## **REITORA**

Sônia Regina de Souza Fernandes

## **PRÓ-REITORA DE ENSINO**

Josefa Surek de Souza

## **PRÓ-REITORA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO**

Fátima Peres Zago de Oliveira

## **PRÓ-REITOR DE EXTENSÃO**

Fernando José Taques

## **PRÓ-REITORA DE DESENVOLVIMENTO INSTITUCIONAL**

Jamile Delagnelo Fagundes da Silva

## **PRÓ-REITOR DE ADMINISTRAÇÃO**

Stefano Moraes Demarco

## **EDITORA IFC**

### **Coordenadora**

Leila de Sena Cavalcante

### **Conselho Editorial**

Fátima Peres Zago de Oliveira

Leila de Sena Cavalcante

Gicele Vergine Vieira

Reginaldo Leandro Plácido

Suely Aparecida de Jesus Montibeller

Natacha Nancy Martellet Coura Fernandes

Hylson Vescovi Netto

Hélio Maciel Gomes

Sandro Augusto Rhoden

Izaclaudia Santana das Neves

Mario Wolfart Júnior

Bruno Pansera Espindola

Jonathan Ache Dias

Eliana Teresinha Quartiero

Liliane Cerdótes

Ilyushin Zaak Saraiva

Alcione Talaska

Débora de Lima Velho Junges

Emanuele Cristina Siebert

Ana Nelcinda Garcia Vieira

Anderson Sartori

### **Capa e Projeto Gráfico**

Paolo Malorgio Studio Ltda

### **Imagem da Capa**

Luiz Vitor da Silva

### **Diagramação**

Paolo Malorgio Studio Ltda

### **Revisão textual**

Paula Batista

Todos os direitos de publicação reservados. Proibida a venda.

Os textos assinados, tanto no que diz respeito à linguagem como ao conteúdo, são de inteira responsabilidade dos autores e não expressam, necessariamente, a opinião do Instituto Federal Catarinense. É permitido citar parte dos textos sem autorização prévia, desde que seja identificada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/1998) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)**

Monitoramento de bioaerossóis em estação de  
tratamento de esgoto [livro eletrônico] / Luiz  
Vitor da Silva...[et al.]. -- Blumenau, SC :  
Editora do Instituto Federal Catarinense, 2023.  
PDF

Outros autores: André Luis Fachini de Souza,  
Jéssica Caroline dos Santos Silva, Sandro Augusto  
Rhoden.

Bibliografia.  
ISBN 978-65-88089-28-6

1. Engenharia sanitária 2. Esgoto - Tratamento  
3. Estações de tratamento de esgotos 4. Pesquisa  
5. Proteção ambiental 6. Saneamento básico I. Silva,  
Luiz Vitor da. II. Souza, André Luis Fachini de.  
III. Silva, Jéssica Caroline dos Santos. IV. Rhoden,  
Sandro Augusto.

23-169085

CDD-628.3

**Índices para catálogo sistemático:**

1. Esgotos sanitários : Engenharia sanitária 628.3

Eliane de Freitas Leite - Bibliotecária - CRB 8/8415



**CONTATO**

Rua das Missões, nº 100 -  
Ponta Aguda - Blumenau/SC - CEP: 89.051-000

Fone: (47) 3331-7850  
E-mail: editora@ifc.edu.br

# NOTA AO LEITOR

Este e-book é um material complementar ao curso de Monitoramento de Bioaerossóis em Estação de Tratamento de Esgoto – MBioETE, que aborda tópicos específicos, conceitos e temáticas relacionadas à poluição atmosférica relativa aos bioaerossóis emitidos durante as etapas de tratamento de esgotos em Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs).

O conteúdo abordado neste e-book representa um material de referência para pesquisadores, estudantes de cursos de graduação e pós-graduação, bem como para os profissionais das áreas de saúde e de segurança do trabalho que desejam contribuir de forma significativa no que tange a saúde pública e dos trabalhadores de ETEs em relação à exposição a bioaerossóis provenientes de estações de tratamento de esgoto.

# PREFÁCIO

É com grande satisfação que apresento este livro sobre monitoramento de bioaerossóis em estações de tratamento de esgoto, resultado de um trabalho árduo e dedicado de seus autores.

O livro é fruto da experiência e conhecimento acumulados pelos autores em suas trajetórias acadêmicas e profissionais, aliados ao compromisso com a produção de conhecimento científico de qualidade e aplicável.

O monitoramento de bioaerossóis em estações de tratamento de esgoto é uma temática relevante e de grande importância para a saúde pública e ambiental. A presença desses micro-organismos pode gerar riscos à saúde dos trabalhadores das estações de tratamento de esgoto e das comunidades circunvizinhas, bem como impactar o meio ambiente, especialmente o ar. Portanto, a identificação e o controle desses agentes microbiológicos são fundamentais para o bom funcionamento das estações e tratamento de esgoto e para a proteção da saúde pública e ambiental.

O livro apresenta uma abordagem completa e atualizada sobre o tema, contemplando desde os fundamentos teóricos até a aplicação prática do monitoramento de bioaerossóis em estações de tratamento de esgoto. Dessa forma, torna-se uma importante referência para profissionais e estudantes das áreas de Engenharia de Segurança do Trabalho, Ambiental, Sanitária, Química, Biologia e áreas afins.

Parabenizo os autores pela iniciativa de produzir este livro e por compartilhar seu conhecimento e experiência com a comunidade acadêmica e profissional. Espero que esta obra contribua significativamente para o avanço do conhecimento e das práticas relacionadas ao monitoramento de bioaerossóis em estações de tratamento de esgoto.

**Luiz Vitor da Silva**

# APRESENTAÇÃO

Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), no ano de 2020, foram coletados cerca de 6 bilhões de metros cúbicos de esgoto doméstico no Brasil, dos quais 4,8 bilhões de litros foram tratados. Atualmente, o sistema de coleta e tratamento de esgoto atende aproximadamente 43% da população urbana brasileira, o que equivale a um contingente de 80 milhões de pessoas (SNIS, 2020).

Algumas estimativas indicam que haja redução do déficit de atendimento dos serviços de esgotamento sanitário no Brasil com a aprovação da Lei nº 14.026/2020, que regulariza o Marco Legal do Saneamento Básico. A meta é de que 90% da população brasileira seja atendida com coleta e tratamento de esgoto doméstico até o ano de 2033 (BRASIL, 2020).

Com isso, é esperado um amplo crescimento no setor, associado aos desafios na gestão da coleta e tratamento de esgotos, com destaque para a geração e destinação de lodo e emissão de odores e materiais particulados para atmosfera. Neste contexto, destaca-se a importância do controle e monitoramento de emissões de bioaerossóis em ETEs, pois existe um conjunto de normas e resoluções que conferem amparo legal para o monitoramento de bioaerossóis em ambientes de trabalho, incluindo as emissões de ETEs.

Bioaerossóis gerados por uma ETE representam um fator importante a ser monitorado, uma vez que pode estar associado a uma elevada concentração de microrganismos patogênicos. Diante das emissões de bioaerossóis, o especialista responsável ou quem se interessa pela área de estudo, precisa estar constantemente atualizado e entender a ciência e tecnologia envolvida com a exposição humana e ambiental, relacionada aos microrganismos emitidos para o ar em estações de tratamento de esgoto, seja no controle e/ou monitoramento dessas emissões (SILVA *et al*, 2022).

O curso intitulado **Monitoramento de Bioaerossóis em Estação de Tratamento de Esgoto – MBioETE**, tem a finalidade de divulgar técnicas clássicas de amostragens de bioaerossóis, incluindo avanços e perspectivas, buscando favorecer e incentivar o crescimento e desenvolvimento deste campo científico. Desta forma, o curso de MBioETE discute/apresenta informações sobre os mecanismos de emissão e riscos associados à exposição e/ou inalação de bioaerossóis em ETEs, com vistas à capacitação de profissionais interessados em mensurar o impacto deste tipo de empreendimento na qualidade do ar na região de entorno e na saúde ocupacional de seus trabalhadores. Adicionalmente, o curso tem como público-alvo profissionais interessados em conduzir pesquisas e desenvolver técnicas para redução de emissões de bioaerossóis em ETEs.

Assim, com o intuito de se demonstrar a importância de se salvaguardar a qualidade do ar que respiramos, deixamos a seguinte reflexão: De modo geral, um ser humano pode viver algumas semanas sem alimentos sólidos e alguns dias sem beber água, porém quanto tempo é possível sobreviver sem respirar?

# SUMÁRIO

<b>A POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA</b>	12
<b>BIOAEROSSÓIS</b>	19
IMPACTO DOS FATORES METEOROLÓGICOS NA CONTRIBUIÇÃO DA FONTE	21
BIOAEROSSÓIS, O QUE DIZ A LEGISLAÇÃO?	22
BIOAEROSSÓIS E SAÚDE OCUPACIONAL	23
RISCOS ASSOCIADOS A EXPOSIÇÃO AO BIOAEROSSÓIS	26
BIOAEROSSÓIS EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO	28
<b>MONITORAMENTO DE BIOAEROSSÓIS EM ETE</b>	33
<b>TÉCNICAS DE AMOSTRAGEM DE BIOAEROSSÓIS</b>	36
BOAS PRÁTICAS PARA AMOSTRAGENS DE BIOAEROSSÓIS	38
AMOSTRAGEM POR SEDIMENTAÇÃO EM PLACAS PETRI	39
FILTRAÇÃO	42
AMOSTRADORES BASEADOS EM IMPACTAÇÃO INERCIAL	45
IMPACTADORES EM BASE SÓLIDA	45
IMPACTADOR EM BASE LÍQUIDA	49
TÉCNICAS ONLINE DE CARACTERIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE BIOAEROSSÓIS	52
<b>QUANTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE BIOAEROSSÓIS EM ETEs</b>	53
<b>RELATÓRIOS DE AMOSTRAGEM</b>	55
<b>CONCLUSÃO</b>	58
<b>REFERÊNCIAS CONSULTADAS</b>	61
<b>OS AUTORES</b>	68

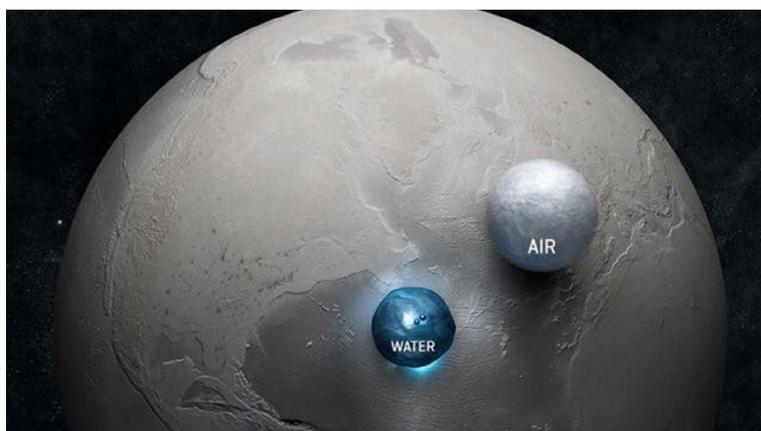
# A POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

A poluição ambiental é definida como a degradação do ambiente resultante de atividades que, direta ou indiretamente, prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar das populações, criando condições adversas às atividades sociais e econômicas, que impactam negativamente a biota, afetando as condições sanitárias do meio ambiente e que lancem matéria ou energia no ar, água ou solo em desacordo com os padrões de qualidade ambiental estabelecidos (DAVIS e MASTEN, 2016).

Sendo assim, para compreender os efeitos da poluição atmosférica associada aos bioaerossóis emitidos em ETEs, bem como compreender a importância do controle e monitoramento desse tipo de poluição, é necessário analisar brevemente o conceito de atmosfera e seus constituintes.

A atmosfera terrestre é uma camada com altura de aproximadamente 12 km sobre a crosta terrestre, espaço que habitamos, e que quanto mais longe da superfície terrestre, mais rarefeita se torna. Sua massa, que é de aproximadamente 5 trilhões de toneladas, está concentrada principalmente próxima à superfície do planeta, ocupando  $\frac{1}{10}$  dessa massa total. A ilustração da Figura 1 representa a proporção entre os volumes de água e ar em relação ao tamanho do planeta (BARRY e CHORLEY, 2013).

FIGURA 1 – TERRA, AR E ÁGUA.



Fonte: reproduzido de Nevres (2018).

A atmosfera é composta principalmente de nitrogênio (cerca de 78% em volume), seguida de oxigênio (21%), argônio (0,93%), gás carbônico (0,039%) e uma pequena mistura de outros gases e partículas. Há também uma quantidade variável de vapor d'água. Além destes componentes, existem outros, cuja concentração pode apresentar grandes variações, podendo ser sólidos, líquidos ou gasosos (BARRY e CHORLEY, 2013).

As partículas que poluem o ar são denominadas de Material Particulado (MP), classificadas pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) em duas principais categorias, que utilizam como base a capacidade de penetração prevista no pulmão, sendo classificada como Material Particulado grosso (MP<sub>10</sub>), com um diâmetro aerodinâmico de 10 µm e como Material Particulado fino (MP<sub>2,5</sub>), com um diâmetro aerodinâmico de 2,5 µm. Existe ainda, as partículas classificadas de ultrafinas (MP<sub>0,1</sub>), as quais são alvos de pesquisas científicas ainda em fases iniciais (EPA, 2022).

Estudos recentes mostram que essas partículas, além de estarem associadas a problemas cardíacos e respiratórios, podem afetar o desempenho cognitivo e representar um fator de risco para o desenvolvimento de demências (KI-HYUN, EHSANUL e SHAMIN, 2015; SILVA *et al*, 2019; UNDERWOOD, 2017).

A Figura 2 ilustra, em uma escala comparativa, diferentes tamanhos de partículas, de origem orgânica e inorgânica, que podem estar presentes na atmosfera, como grão de sal e de areia que medem em torno de 90 µm e raramente permanecem por muito tempo na atmosfera, bem como partículas invisíveis a olho nu, como as bactérias.

FIGURA 2 – TAMANHO RELATIVO ENTRE PARTÍCULAS.



Fonte: reproduzido de Anq [2020].

Neste sentido, entre os potenciais “poluentes atmosféricos” estão partículas originadas tanto por fontes de emissão natural quanto antropogênica. O solo, os vulcões, a decomposição de matéria orgânica e as atividades biogênicas são exemplos de fontes naturais. Assim, as fontes naturais são processos geradores de poluição atmosférica e

podem emitir CO, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, NO, N<sub>2</sub>O, compostos orgânicos voláteis (COV), mercaptanas, acetonas, entre outras substâncias (BARRY e CHORLEY, 2013).

Partículas biológicas, como fragmentos de animais, plantas, pólen, esporos de fungos, bactérias, vírus, e proteínas, podem ser encontradas em altas concentrações na atmosfera. Essas partículas são chamadas de bioaerossóis e podem ser de origem natural ou antropogênica (MICHAŁKIEWICZ, 2018).

Segundo Derisio (2012), existem duas classificações para as fontes de poluição: pontuais e difusas, onde se diferem de acordo com a origem dos poluentes. As fontes pontuais são aquelas que são identificadas com facilidade e que também são individuais. Como exemplo, a fumaça em uma chaminé ou mesmo o despejo de esgoto sem tratamento em local inadequado. Já as fontes difusas não são pontuais, são geradas em áreas e associadas à deposição de chuva e ao escoamento superficial do solo, logo, são mais difíceis de serem controladas e de terem sua origem identificada (Figura 3) (VIEIRA 2009). No entanto, em ambos os casos, são geradas pela atividade humana, isto é, poluição antropogênica.

FIGURA 3 – FONTES DE POLUIÇÃO.



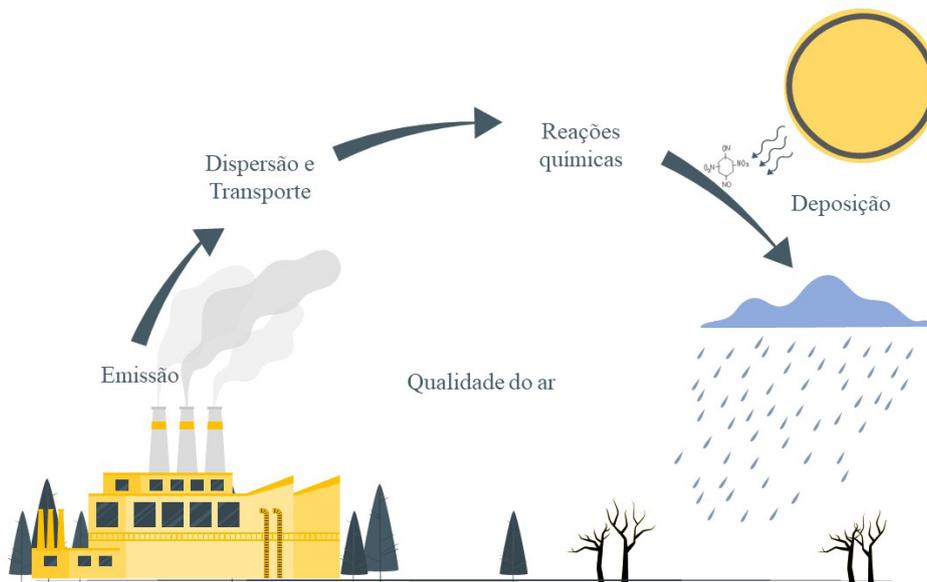
Fonte: STORYSET, adaptada pelo autor (2022).

As fontes antropogênicas, originadas em processos de transformação, como indústrias, transportes, produção de energia, entre outras, são fontes de poluição atmosférica

com uma diversidade de tipos de poluentes muito mais complexa, que pode envolver uma série de compostos tóxicos e outras substâncias, tais como metais pesados, gases ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{COV}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ ), hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA), poeiras de carvão, cinzas e fumos (DAVIS e MASTEN, 2016; GUIMARÃES, 2016).

Segundo Barry e Chorley (2013), quando na atmosfera, essas substâncias estão sujeitas a diversos mecanismos de dispersão e transporte, reações químicas, e deposição (Figura 4). Portanto, estudos sobre a qualidade do ar devem incluir não apenas inventários de emissão, mas também toda a dinâmica ambiental que regula a geração e a presença desses compostos na atmosfera.

FIGURA 4 - POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA.



Fonte: STOR4SET, adaptada pelo autor (2022).

Outro exemplo de componente presente no ar, mas que são geralmente negligenciados, são os microrganismos. Apesar de sua proximidade, o ar que respiramos é um ambiente onde a sua biodiversidade e variabilidade espacial e temporal são pouco conhecidas e compreendidas.

Do ponto de vista de fontes antropogênicas, processos de transformação de matéria prima são apontados como os maiores responsáveis pela emissão de poluentes na atmosfera (Figura 5), seja na forma de resíduos e rejeitos sólidos, líquidos e/ou gasosos (DERISIO, 2012; SANCHEZ, 2008).

FIGURA 5 – ESQUEMA DE PROCESSOS DE TRANSFORMAÇÃO INDUSTRIAL.



Fonte: STOR4SET, adaptada pelo autor (2022).

A emissão de efluentes líquidos, popularmente chamados de esgoto, é dividida em dois tipos, esgoto industrial e esgoto doméstico, que são, respectivamente, os rejeitos resultantes de processos produtivos e do consumo de água em residências (DAVIS e MASTEN, 2016; MACKENZIE e SUSAN, 2016).

Segundo Cavalcanti (2016), o esgoto industrial é proveniente dos resíduos gerados a partir dos processos industriais e que não são mais aproveitados pela empresa, ao modo que as categorias de indústrias são muitas, a composição dos esgotos industriais também varia bastante.

O esgoto doméstico, por sua vez, também pode causar sérios danos ao meio ambiente. Com alto nível de material orgânico e de eventuais produtos químicos de uso domiciliar, o esgoto doméstico tem por característica uma alta concentração de microrganismos com potencial patogenicidade (METCALF e EDDY, 2016).

Por esse motivo, ao chegar nas ETEs, o esgoto doméstico passa por um processo de tratamento para redução da carga orgânica e potenciais patógenos antes de ser enviado aos rios (DAVIS e MASTEN, 2016). Sendo assim, da mesma forma que outros processos industriais, o tratamento de esgoto é um processo de transformação, com entrada da matéria prima (esgoto) e insumos para tratamento, finalizando com a água tratada como produto de saída. No entanto, como discutido, os processos de transformação geram resíduos. No caso de ETEs, o resíduo gerado é o lodo (resíduo sólido), porém

emissões fugitivas de gases e partículas são lançadas na atmosfera. Essas emissões são geralmente ignoradas ou assumidas apenas como desprendimento de odor (METCALF e EDDY, 2016).

Historicamente, as técnicas biológicas de tratamento de esgoto doméstico têm sido muito empregadas, uma vez que geralmente são economicamente mais viáveis (quanto à construção e operação) do que as técnicas físico-químicas (ANA, 2017; VON SPERLING, 2016; METCALF e EDDY, 2016). Alguns processos operacionais em ETEs, como bombeamento, sistemas de aeração, desague de lodo, entre outros, resultam na emissão de bioaerossóis que contêm uma grande variedade de microrganismos, dentre os quais alguns de alto potencial patogênico. O contato e/ou a inalação constante desses bioaerossóis representam fatores de risco importantes para os trabalhadores das ETEs e para a população circundante (GOTKOWSKA-PŁACHTA *et al.*, 2013).

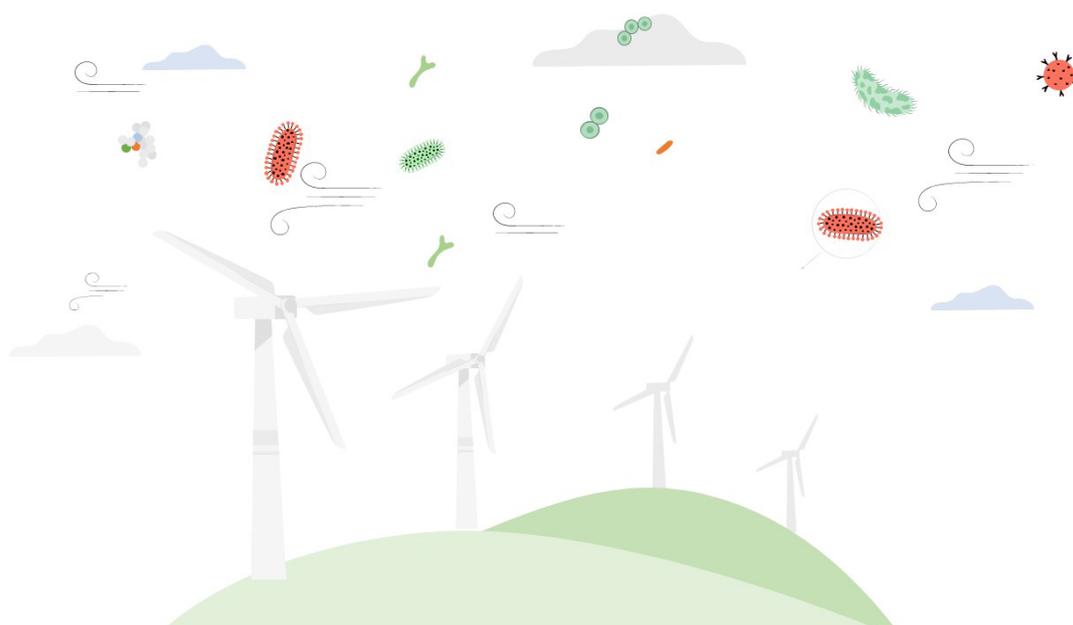
Com o aprimoramento de legislações preventivas e o aumento da demanda por produtos e processos de produção “verde”, bem como, os esforços industriais para uma “produção mais limpa”, diversas pesquisas têm focado no desenvolvimento de novas tecnologias que tornem os processos menos poluidores, a fim de reduzir os impactos ambientais de seus produtos (ALVES, 2017; OLIVEIRA NETO *et al.*, 2022). Neste contexto, o monitoramento e controle das emissões representam um instrumento chave para o alcance desses objetivos.

**BIOAEROSSÓIS**

Segundo Barry e Chorley (2013), por definição, o termo “aerossol” refere-se a partículas líquidas ou sólidas (ou ambas) suspensas passivamente em um meio gasoso. Aerossóis primários biogenicamente emitidos, ou bioaerossóis, estão onipresentes na atmosfera da Terra e frequentemente são definidos de forma ampla como materiais que podem conter componentes vegetais (ceras cuticulares, fragmentos foliares), matéria húmica e/ou partículas microbianas (bactérias, fungos, vírus, algas e esporos). Os bioaerossóis são constituídos de material orgânico, geralmente como uma mistura de proteínas, lipídios e açúcares (Figura 6) (ALVES, 2005; MAINELIS, 2020).

Os bioaerossóis podem ser transportados pelo vento, ao modo que, outros fatores meteorológicos como temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar, direção e velocidade do vento podem afetar diretamente sua composição e concentração, resultando em variações sazonais (DING *et al.*, 2015).

FIGURA 6 – PARTÍCULAS BIOLÓGICAS SUSPENSAS NO AR.



Fonte: STORYSET, adaptada pelo autor (2022).

Deste modo, os bioaerossóis incluem uma grande variedade de partículas com diferentes origens, formas e tamanhos, desde alguns nanômetros a centenas de micrômetros, como por exemplo, traços de plantas e animais, grãos de pólen, fragmentos de biofilme, esporos, células de bactérias e fungos, e vírus, bem como seus fragmentos e excreções (DAVIS e MASTEN, 2016).

Os fungos são organismos ubíquos no ambiente, presentes em plantas, solo, animais e água. Alguns fungos são importantes patógenos ou parasitas que obtêm nutrientes de seu hospedeiro vivo, incluindo os seres humanos. Assim, a presença de fungos no ar tem muitas consequências epidemiológicas, agrícolas e ecológicas. As bactérias também estão intimamente ligadas à vida no planeta, sendo algumas com grande potencial patogênico. O diâmetro médio da célula bacteriana é de aproximadamente 1  $\mu\text{m}$  e esses microrganismos podem permanecer viáveis e suspensos na atmosfera, principalmente próximo às fontes de emissão, representando um importante fator de risco à saúde (LI, HAN e LIU, 2012; MICHAŁKIEWICZ, 2018).

As emissões antropogênicas de bioaerossóis podem estar relacionadas a diferentes processos de transformação, contudo, este *e-book* tem como temática central a emissão de partículas provenientes especificamente das etapas de tratamento de esgoto doméstico, isto é, emissões antropogênicas de bioaerossóis em ETEs.

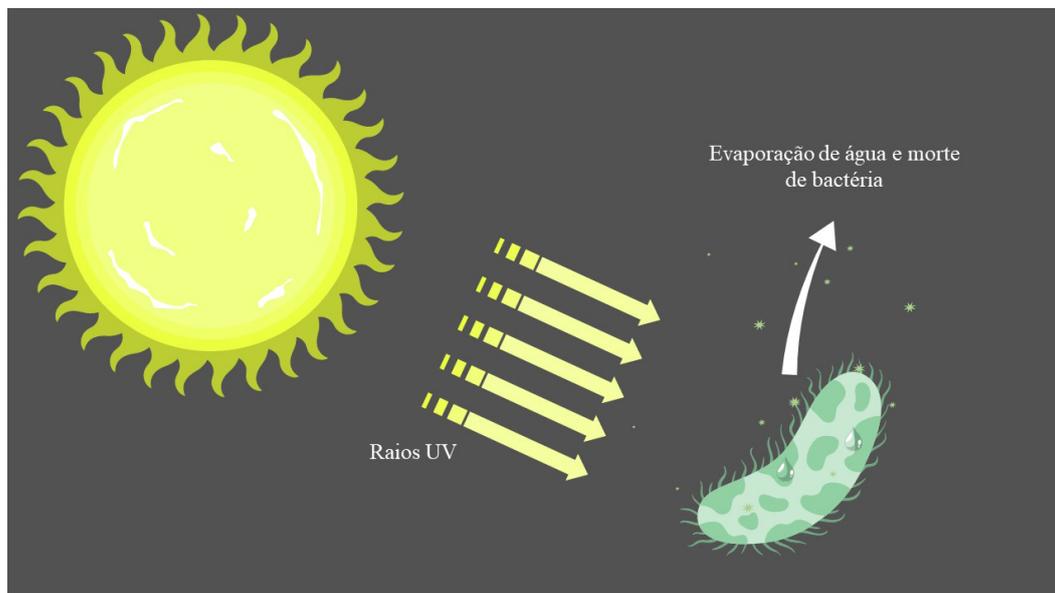
Estações de tratamento de esgoto são importantes fontes de poluição por bioaerossóis, onde a partir do processo de tratamento partículas biológicas podem dispersar na atmosfera e permanecerem viáveis no ar. Estudos epidemiológicos mostraram que a exposição prolongada aos bioaerossóis em ETEs pode levar a uma série de efeitos à saúde (DING, 2015).

## IMPACTO DOS FATORES METEOROLÓGICOS NA CONTRIBUIÇÃO DA FONTE

Segundo Aborawash e colaboradores (2020), os fatores meteorológicos, como temperatura e radiação solar, moldam fortemente a concentração e composição da microflora transportada pelo ar, assim como eventos específicos como as chuvas. Temperaturas mais elevadas aumentam a evaporação de gotículas de líquidos suspensas na atmosfera e com a incidência de altos índices de radiação solar acarreta uma esterilização natural do ar durante determinados períodos do dia (Figura 7). Por outro lado, em dias mais frios e úmidos outras espécies de microrganismos são privilegiadas, permanecendo mais tempo viáveis no ar (MICHAŁKIEWICZ, KRUSZELNICKA e WIDOMSKA, 2018).

Assim, existe uma variabilidade bastante previsível na composição microbiana em função da sazonalidade, que pode resultar em mudanças graduais na abundância relativa de microrganismos ao longo do tempo (MICHAŁKIEWICZ, 2019; RODRIGUES-SILVA *et al.*, 2017).

FIGURA 7 – RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA.



Fonte: STORYSET, adaptada pelo autor (2022).

## BIOAEROSSÓIS, O QUE DIZ A LEGISLAÇÃO?

Dentre a grande variedade de bioaerossóis, alguns estão despertando o interesse da comunidade científica devido aos seus potenciais riscos emergentes à saúde humana e ecossistemas. Em ambientes fechados e em escala espacial curta, estes são considerados como potenciais alérgenos e patógenos para os seres humanos, com destaque para a “Síndrome do Edifício Doente”, onde foram identificadas associações entre conforto ambiental e sinais/sintomas entre trabalhadores expostos a fungos e bactérias em ambientes fechados. No Brasil, a Resolução Normativa nº 09/2003 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2003) define padrões referenciais de qualidade do ar interior em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo. Nesta resolução, define-se que o Valor Máximo Recomendável (VMR) para contaminação microbiológica deve ser igual  $750 \text{ UFC/m}^3$  de fungos (valor que não deve ser excedido), e que a relação  $I/E = 1,5$ , onde “I” é a quantidade de fungos no ambiente interior e “E” é a quantidade de fungos no ambiente exterior. Na Resolução Normativa nº 09/2003 é utilizado o termo aerodispersóides, que é um sinônimo para bioaerossóis, onde ficou estabelecido que os níveis de aerodispersóides não devem exceder  $80 \mu\text{gm}^{-3}$ , pois eles são responsáveis por agravar doenças como bronquite, sinusite, asma entre outras (Figura 8) (ANVISA, 2003).

FIGURA 8 – DIREITOS E DEVERES NO TRABALHO.



Fonte: STOR4SET, adaptada pelo autor (2022).

Já ao ar livre, em ambientes externos, os bioaerossóis podem ser transportados por longas distâncias e grandes altitudes, e sua presença também está relacionada à epidemiologia e biogeografia. Além disso, partículas biológicas e microrganismos transportados pelo ar provavelmente contribuem para processos físicos e químicos atmosféricos, como formação de nuvens, precipitação e processamento de compostos químicos. As células microbianas que sobrevivem ao transporte pela atmosfera podem se depositar em plantas ou solo, eventualmente colonizando-os e, conseqüentemente, competindo com comunidades microbianas endêmicas. Desta forma, estudos envolvendo o monitoramento e o controle da emissão de bioaerossóis em ambientes externos se mostram relevantes, frente aos problemas potenciais associados (VAN LEUKEN *et al.*, 2016).

## BIOAEROSSÓIS E SAÚDE OCUPACIONAL

A definição de **doença ocupacional** é estabelecida no § I do artigo 20 da Lei nº 8.213 de 24 de julho de 1991 como a enfermidade “produzida ou desencadeada pelo exercício do trabalho peculiar a determinada atividade e constante da relação elaborada pelo Ministério do Trabalho e Emprego e o da Previdência Social” (BRASIL, 1991).

A **concausa** é considerada acidente de trabalho, conforme estabelecido no § I do artigo 21 da Lei nº 8.213/1991:

*Art. 21 – Equiparam-se também ao acidente de trabalho, para efeitos desta Lei: I – o acidente ligado ao trabalho que, embora não tenha sido a causa única, haja contribuído diretamente para a morte do segurado, para redução ou perda da sua capacidade para o trabalho, ou produzindo lesão que exija atenção médica para a sua recuperação [...].*

Assim, a concausa é definida como outra causa que se junta à principal, concorrendo com o resultado, ou seja, ela não dá origem à enfermidade, mas acaba fazendo com que a enfermidade se agrave e podendo fazer com que uma doença ocupacional passe a ser um acidente de trabalho e ainda podendo gerar ações judiciais de caráter indenizatório.

As Normas Regulamentadoras (NRs) do Ministério do Trabalho e Emprego consistem em obrigações, direitos e deveres a serem cumpridos por empregadores e trabalhadores com o objetivo de garantir trabalho seguro e sadio, prevenindo a ocorrência de doenças e acidentes de trabalho (ENIT, 2020).

A NR-1 Disposições Gerais (atualizada em 2020), estabelece as disposições gerais, o campo de aplicação, os termos e as definições comuns às NR relativas à segurança e saúde no trabalho e as diretrizes e os requisitos para o gerenciamento de riscos ocupacionais e as medidas de prevenção em Segurança e Saúde no Trabalho (SST). Nesta Norma, fica claro que o gerenciamento dos riscos ocupacionais é **dever do empregador** e que os trabalhadores devem ser informados quanto aos riscos ocupacionais existentes no ambiente de trabalho, bem como o empregador deve implementar **medidas de prevenção**, buscando a eliminação dos fatores de risco, a minimização e controle dos fatores de risco. Para isso, são importantes a adoção de medidas de proteção coletiva e a minimização e controle dos fatores de risco, com a adoção de medidas administrativas ou de organização do trabalho.

A NR 9 Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (atualizada em 2020), estabelece os requisitos para a avaliação das exposições ocupacionais a agentes físicos, químicos e biológicos quando identificados no Programa de Gerenciamento de Riscos (PGR), previsto na NR-1, e subsidiar o programa quanto às medidas de prevenção para os riscos ocupacionais. Assim, ficou definido que é necessária a avaliação quantitativa da exposição a agentes biológicos conforme o item:

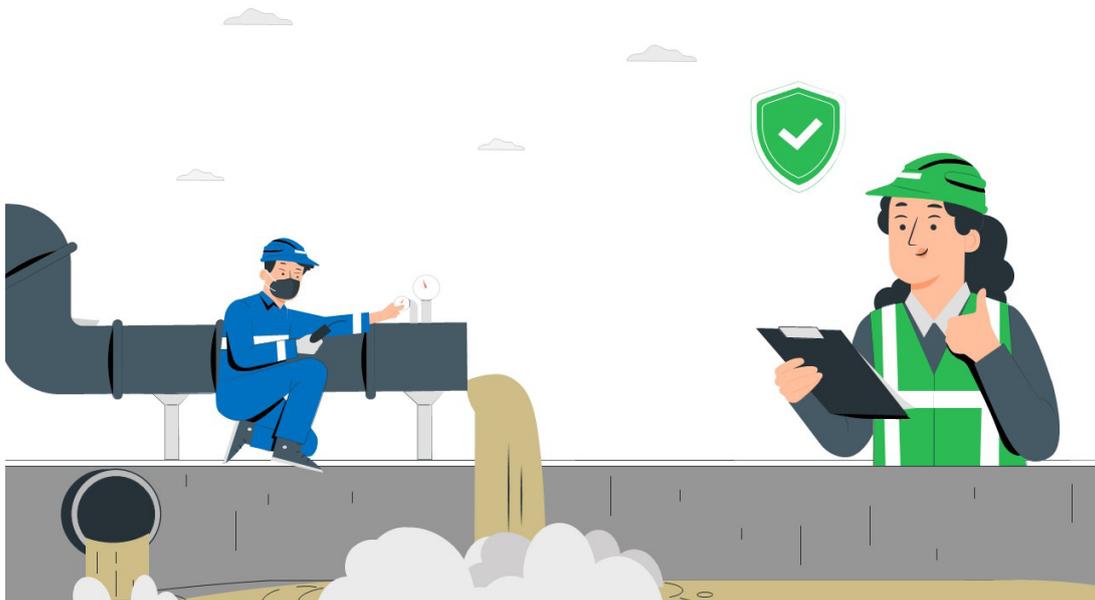
9.4.2 “A avaliação quantitativa das exposições ocupacionais aos agentes físicos, químicos e **biológicos**, quando necessária, deverá ser realizada para:

- a) comprovar o **controle** da exposição ocupacional aos agentes identificados;
- b) **dimensionar** a exposição ocupacional dos grupos de trabalhadores;
- c) subsidiar o equacionamento das medidas de prevenção”.

Neste sentido, os Programas de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA), estabelecido na NR-09, e o de Controle Médico e Saúde Ocupacional (PCMSO), caracterizado na NR 07 (atualizada em 2020), deverão ser estabelecidos pelo empregador e conter informações adequadas de acordo com os riscos existentes e os exames médicos necessários.

Além do PPRA possuir uma **obrigatoriedade legal** e, como o PCMSO, tem como objetivo buscar melhorar a produtividade e as **condições de trabalho** do colaborador, a implantação do PPRA também **previne futuros ações judiciais cíveis**, trabalhistas e previdenciários, assim como evita o surgimento de **doenças ocupacionais** e acidentes de trabalho (Figura 9).

FIGURA 9 – CONDIÇÕES SEGURAS DE TRABALHO.



Fonte: STOR4SET, adaptada pelo autor (2022).

Para fins de caracterização de atividades ou operações insalubres ou perigosas, devem ser aplicadas as disposições previstas na NR 15 - Atividades e Operações Insalubres (atualizada em 2020), que prevêem o Adicional de Insalubridade por Agentes Biológicos (Anexo 14 - 1979) de **insalubridade de grau máximo** para trabalho ou operações em contato permanente com:

- *Pacientes em isolamento por doenças infectocontagiosas, bem como objetos de seu uso, não previamente esterilizados;*
- *Carnes, glândulas, vísceras, sangue, ossos, couros, pelos e dejeções de animais portadores de doenças infectocontagiosas (carbunculose, brucelose, tuberculose);*
- **Esgotos (galerias e tanques);** e
- *Lixo urbano (coleta e industrialização).*

Ainda sobre o Anexo 14 da NR 15, fica definido **agentes biológicos** como: “*Relação das **atividades que envolvem agentes biológicos**, cuja insalubridade é caracterizada pela **avaliação qualitativa**”.*

## RISCOS ASSOCIADOS A EXPOSIÇÃO AO BIOAEROSSÓIS

A exposição/inalação contínua de bioaerossóis em ETEs podem provocar diversos problemas de saúde. Abordagens quantitativas de avaliação de risco microbiano são utilizadas como base para mensurar o risco de infecção em humanos.

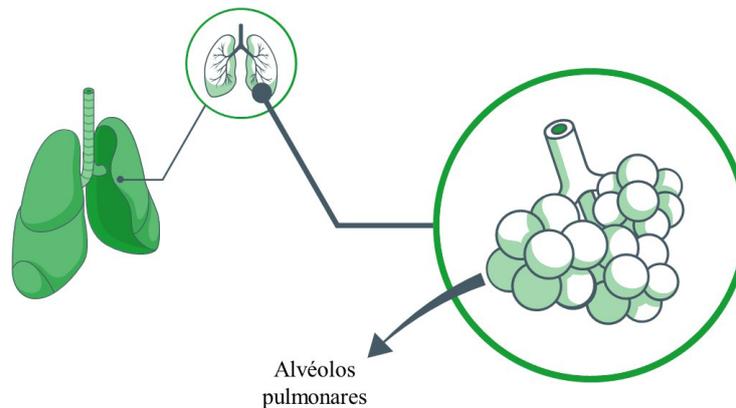
Bioaerossóis patogênicos possivelmente causam infecções respiratórias após penetração no sistema respiratório de humanos ou animais e a patogenicidade para causar doença depende da infecciosidade do patógeno e sua capacidade de ser transportado e sobreviver no ar.

Patógenos inalados do ar podem se depositar no trato respiratório superior e, em seguida, serem engolidos no estômago, o que pode levar a doenças gastrointestinais, como vômitos, cólicas estomacais e diarreia (GARCIA 2018; KORZENIEWSKA 2011)

Os efeitos adversos à saúde mais comuns associados a bioaerossóis estão relacionados a sintomas respiratórios e comprometimento pulmonar de curto a longo prazo, sendo assim, a inalação é a principal via de infecção (JAHANGIRI *et al.*, 2015).

Bioaerossóis com diâmetros aerodinâmicos de 5 a 10  $\mu\text{m}$  são depositados no sistema respiratório superior, já partículas menores podem atingir os alvéolos pulmonares (Figura 10) e podem causar alveolites alérgicas e diversas outras doenças infecciosas. A associação íntima dos alvéolos com uma extensa rede de capilares demonstra a estreita ligação entre os sistemas circulatório e respiratório, podendo trazer graves infecções e até mesmo o óbito (SOBOTTA, 2017).

FIGURA 10 – DETALHE ALVÉOLOS PULMONARES.



Fonte: STOR4SET, adaptada pelo autor (2022).

Vários estudos já apontaram *Staphylococcus aureus* e bioaerossóis de bactérias Gram-negativas como potenciais patógenos humanos oportunistas e indicador de risco para bioaerossóis em ETEs, sendo uma bactéria de grande relevância clínica em infecções em humanos. Bactérias Gram-negativas presentes em bioaerossóis em ETEs são frequentemente relatadas como importantes causadoras de problemas respiratórios em humanos (ZIELIŃSKI *et al.*, 2021).

Outros problemas de saúde, comumente relatados, envolvem dor de cabeça, cansaço incomum e dificuldades de concentração, em indivíduos expostos a microrganismos patogênicos inaláveis (FRÖHLICH-NOWOISKY, 2016) (Figura 11).

FIGURA 11 – RISCOS DE EXPOSIÇÃO AOS BIOAEROSSÓIS.



Fonte: STOR4SET, adaptada pelo autor (2022).

## BIOAEROSSÓIS EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO

O estouro de bolhas de ar em meios líquidos é o que constitui um dos processos mais importantes para a geração de bioaerossóis a partir de superfícies líquidas, onde gotículas de aerossol são produzidas a partir do colapso do filme fino de água, que separa a bolha de ar da atmosfera, pouco antes de estourar, fazendo com que essas gotículas sejam lançadas na atmosfera. Logo, devido à natureza dos efluentes líquidos (esgoto) em uma ETE, essas gotículas liberadas na atmosfera possuem um grande potencial patogênico (GUO *et al.*, 2014; MICHAŁKIEWICZ, 2018).

A quantidade de material biológico presente nas gotículas pode variar de acordo com as fases ou unidades de tratamento. O início do processo de tratamento do esgoto é o local de maior carga orgânica e de patógenos, onde a distribuição de tamanho das gotículas pode variar de 0,1 a 10  $\mu\text{m}$  de diâmetro, dependendo do tipo de processo. Em processos biológicos com aeração mecânica (Figura 12), há uma maior liberação de gotículas devido a uma maior turbulência no líquido em relação a processos com aeração por difusão de ar (Figura 13), pois caracterizam-se pela produção de bolhas mais finas e menor turbulência na superfície do líquido (SÁNCHEZ-MONEDERO *et al.*, 2008).

FIGURA 12 – AERAÇÃO MECÂNICA EM VALO DE OXIDAÇÃO.



Foto: elaborado pelo autor.

FIGURA 13 – AERAÇÃO POR DIFUSÃO DE AR EM BIORREATOR DE LODOS ATIVADOS.



Foto: elaborado pelo autor.

As fases de pré-tratamento, biorreatores e locais de desagua de lodo são associadas a uma maior emissão quando comparadas a outras fases do tratamento. Assim, estes locais devem ser considerados como ambientes de potencial exposição a bioaerossóis de significativo risco biológico, tanto aos trabalhadores da estação de tratamento de esgoto quanto aos moradores da região de entorno.

Embora a transmissão de patógenos humanos entre indivíduos por meio da respiração, tosse e espirros seja conhecida há muito tempo, seres humanos também liberam um elevado número de microrganismos de seus corpos por meio da excreção. Descobertas recentes mostraram que existem riscos elevados à saúde humana e animal associados à exposição a estes microrganismos emitidos sob forma de bioaerossóis em ETEs, sendo muito comum a presença de bactérias, vírus e fungos microscópicos e seus metabólitos, muitos desses com altos fatores de virulência. Dessa forma, são evidentes os riscos de contaminação biológica enfrentados por trabalhadores em ETEs (Figura 14) e pela população exposta, visto a diversidade de bioaerossóis emitidos em determinados processos do tratamento de esgoto doméstico.

FIGURA 14 – TRABALHADOR EXPOSTO AOS BIOAEROSSÓIS EM UMA ETE.



Fonte: STOR4SET, adaptada pelo autor (2022).

Sendo assim, a contaminação por meio de patógenos em uma ETE pode ocorrer por contato direto com o material contaminado ou mesmo pela exposição a bioaerossóis gerados durante as etapas do tratamento de esgoto. Estudos apontam para a existência de uma ampla variedade de microrganismos detectados em elevadas concentrações no ar próximo a ETEs. Amostras analisadas em diferentes estações climáticas e próximas às unidades operacionais, tiveram em média suas maiores concentrações de aerossóis bacterianos e fúngicos cultiváveis obtidas próximo aos pontos de bombeamento de esgoto, desague de lodo e tanques com aeração (reatores), principalmente com sistemas de aeração mecânica.

As condições operacionais de uma ETE variam de acordo com as especificidades dos projetos. Sistemas que operam com reatores biológicos aerados com lodos ativados são considerados como as maiores fontes de emissões de bioaerossóis em uma ETE, sendo que, os níveis de emissão e a distribuição granulométrica dos bioaerossóis variam de acordo com o sistema de aeração. Esta emissão ocorre no rompimento de bolhas de ar que são injetadas nos reatores biológicos (Figura 15), logo, quanto menor a bolha estourando, menor será a granulometria da gotícula aerolizada, tornando ainda maior o risco de inalação.

FIGURA 15 – MECANISMO DE FORMAÇÃO DE BIOAEROSSÓIS EM ESGOTO.



Fonte: STOR4SET, adaptada pelo autor (2022).

Cabe lembrar que o caráter e o alcance dos efeitos ambientais causados pela emissão de bioaerossóis em uma ETE dependem da concentração inicial de microrganismos no esgoto, bem como sua fase de crescimento, nível de emissão, tecnologia de tratamento de esgoto, técnicas de aeração e condições meteorológicas e ambientais.

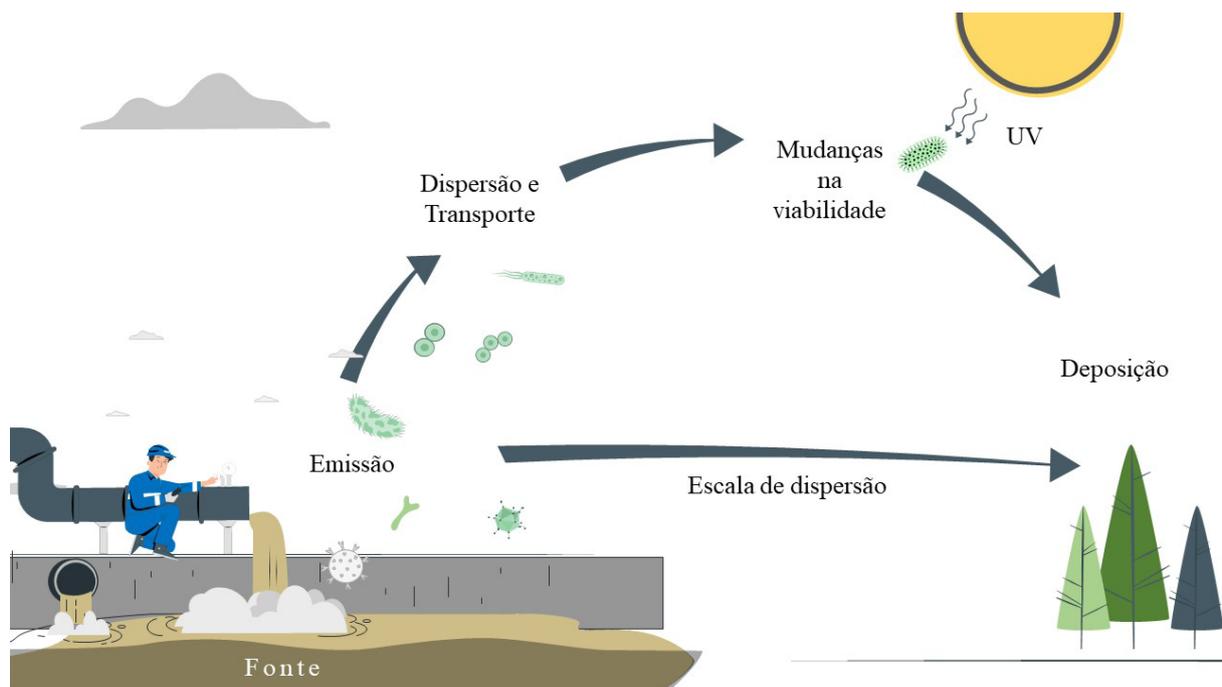
Na Figura 16, é possível observar a ilustração do processo gerador de bioaerossóis em uma ETE e, conforme apresentado anteriormente na Figura 4, a dispersão atmosférica segue a mesma dinâmica, iniciando na fonte de emissão, suspensão das partículas na atmosfera, dispersão e transporte horizontal por meio do vento, mudança na viabilidade conforme as condições atmosféricas e deposição úmida ou seca sob as superfícies (GRIFFIN, 2015). Embora os microrganismos tendam a perder viabilidade sob o efeito da radiação ultravioleta (UV) ou dessecação, da mesma forma, em climas úmidos e temperaturas apropriadas, possuem seu crescimento facilitado devido a um ambiente favorável.

A influência das condições atmosféricas sobre a dinâmica dos bioaerossóis na atmosfera varia em função do diâmetro aerodinâmico da partícula (equivalente ao diâmetro de uma partícula esférica), que pode variar de partículas grandes com aproximadamente 100  $\mu\text{m}$  (tais como pólen e esporos), a partículas submicrométricas com o diâmetro aerodinâmico tipicamente próximo a 1  $\mu\text{m}$ , como é o caso de bactérias e vírus. Quanto

maior o tamanho da partícula, mais propensa ela estará à sedimentação gravitacional, da mesma forma que, quanto menor, mais propensa estará ao processo de difusão na atmosfera. Desta forma, reiteramos a importância do monitoramento dos bioaerossóis emitidos em ETE, pois, estudos têm demonstrado que as bactérias podem permanecer viáveis no ar por um período de 5 a 10 dias, em condições sem nuvens (FRONDIZI, 2008; RODRIGUES-SILVA *et al.*, 2017).

Um outro fator importante, apesar de não ser abordado neste material, é que a presença de bactérias na atmosfera pode afetar o desenvolvimento de nuvens, a química atmosférica e a biogeografia microbiana.

FIGURA 16 – MECANISMO DE FORMAÇÃO, TRANSPORTE, DISPERSÃO E DEPOSIÇÃO DE BIOAEROSSÓIS.



Fonte: STORYSET, adaptada pelo autor (2022).

**MONITORAMENTO  
DE BIOAEROSSÓIS  
EM ETE**

Por que monitorar bioaerossóis em uma ETE?

Diante do exposto, além de ser um monitoramento para mensurar os impactos de produtos e processos, ficou evidente que o conjunto de normas e resoluções amparam legalmente as relações laborais individuais e coletivas para o monitoramento de bioaerossóis em ambientes de trabalho.

O monitoramento de bioaerossóis em ETEs em consonância com a Resolução nº 491/2018 (CONAMA, 2018) que dispõe sobre padrões de qualidade do ar, estabelece no § I do artigo 2 que:

*I - Poluente atmosférico: **qualquer** forma de matéria em quantidade, concentração, tempo ou outras características, que **tornem ou possam tornar o ar impróprio ou nocivo à saúde**, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade ou às atividades normais da comunidade;*

Entretanto, mesmo que **bioaerossóis** não sejam citados na legislação específica para poluição do ar, profissionais do Serviços Especializados em Segurança e Medicina do Trabalho (SESMT), devem **considerar bioaerossóis como fontes de poluição atmosférica**, conforme previsto na NR 4 - Serviços especializados em engenharia de segurança e em medicina do trabalho (Atualizada em 2022), no § I do Art. 2º e **assumir suas responsabilidades sociais e ambientais** diante de tal fato.

Desta forma, o monitoramento de bioaerossóis em ETEs pode ser direcionado tanto para medir o próprio impacto do empreendimento na qualidade do ar na região, como pode estar suprindo uma carência de dados no PPRA e PCMSO da empresa para comprovar fins jurídicos. O monitoramento de bioaerossóis em uma ETE pode ser encarado como meio de prevenção de possível adoecimento de trabalhadores e população ao entorno de ETEs.

Assim, pode-se apontar como objetivos gerais do monitoramento:

- Identificar os principais pontos de emissão em ETEs;
- Determinar o impacto de uma fonte emissora para controle das emissões;
- Quantificar e qualificar as emissões de bioaerossóis;
- Servir como instrumento para se obter informações que subsidiem o processo de tomada de decisão.

Sendo assim, conclui-se que o monitoramento de bioaerossóis em uma ETE consiste no conjunto de medições e/ou observações da emissão de partículas biológicas de potencial patogênico, cujos resultados podem ser utilizados no controle de impactos negativos sobre a qualidade ambiental, de saúde pública e ocupacional.

No entanto, para detectar, quantificar e caracterizar bioaerossóis em meio à diversidade das partículas transportadas pelo ar, é importante conhecer algumas de suas propriedades. Os bioaerossóis compartilham certas características que permitem que sejam detectados e categorizados como partículas biológicas, e possuem especificidades que permitem a diferenciação. Por razões epidemiológicas e ecológicas, as principais categorias de bioaerossóis em ETEs são fungos microscópicos e bactérias.

Juntamente com o cumprimento de **requisitos legais**, os estudos a partir das medições de bioaerossóis emitidos em uma ETE tem o objetivo de qualificar, ou quantificar a sua concentração no ar, definindo, por exemplo, a identificação das espécies e o número de bactérias presentes em cada metro cúbico de ar. Além disso, considerando toda a dinâmica ambiental a que os bioaerossóis estão sujeitos, melhores resultados de monitoramento incluem amostragens em dias e horários sob diferentes condições meteorológicas, a fim de avaliar a influência desses fatores sobre a concentração e o transporte a partir da sua emissão em ETEs. Desta forma, os relatórios produzidos sob um olhar e uma análise crítica, tendem a assegurar que os dados obtidos representem mais fidedignamente a realidade da formação e dispersão desses bioaerossóis para a estimativa dos possíveis riscos de exposição.

# TÉCNICAS DE AMOSTRAGEM DE BIOAEROSSÓIS

Cada técnica de amostragem de bioaerossóis tem suas vantagens, bem como, requisitos e restrições associados. Desta forma, para se definir novos protocolos de amostragem é importante considerar a duração da amostragem, os tipos de partículas e tamanho(s) visados, as restrições ambientais, entre outros fatores. Existem distintos métodos possíveis para amostragem de bioaerossóis, dependendo do tamanho da fonte sob investigação e os objetivos da medição. Uma das principais razões para esta falta de resultados confiáveis está na dificuldade de realizar medições de fluxo adequadas, assim, neste capítulo, apresentamos algumas das principais técnicas de amostragem e medição de bioaerossóis emitidos durante o processo de tratamento de esgoto em ETE.

Após definidos os objetivos do monitoramento, além de identificar possíveis fontes de emissões, quantificação ou ainda caracterização destes bioaerossóis, a amostragem inicia com a escolha do método de amostragem. No entanto, algumas definições devem ser levantadas, como: materiais a serem utilizados e possíveis erros relacionados a esses materiais, locais de coleta, pontos de energia elétrica para o caso de uso de bombas, métodos estatísticos para a caracterização e representação dos dados, obtenção dos dados meteorológicos, entre outros. O método empregado deve, obviamente, ser guiado pela(s) questão(ões) científica(s) e precisa ser compatível com os procedimentos analíticos a jusante escolhida, que podem ter requisitos específicos.

A amostragem de populações biológicas mistas de partículas suspensas no ar é um desafio devido a variedade da composição, onde, diferentes metodologias de amostragem de ar, cada qual com benefícios, requisitos e restrições associadas devem ser consideradas para o fim que se destina o monitoramento. As amostragens podem ser praticadas **passivamente** (sem necessidade de bombas), deixando as partículas asentarem em uma placa de Petri, sendo este um método economicamente viável, ou **ativamente**, puxando a corrente de ar usando motores de ar (bombas) e recuperando as partículas depositadas ou incorporado em ou em um meio de amostragem: filtro, superfícies ou líquidos de impacto.

Cada método de amostragem deve seguir protocolos específicos, como tempo da amostragem, restrições ambientais, entre outras, cada qual, podendo influenciar diretamente na quantidade, viabilidade, tipo e tamanho de partículas dos bioaerossóis coletados onde, geralmente as coletas de ar são realizadas a uma altura ideal de amostragem, isso é, a de 1,5 m do piso de referência que é considerada como zona respiratória de uma pessoa (NIOSH, 2020).

Além disso, com o objetivo de representar o manuseio, a reprodução e a precisão dos resultados, as amostragens e ensaios laboratoriais podem ser realizados em réplica

ou ainda em tréplica, assim, por meio de testes estatísticos os resultados podem ser apresentados como representativos da população amostrada e possibilita a estimativa da amplitude do erro experimental.

## BOAS PRÁTICAS PARA AMOSTRAGENS DE BIOAEROSSÓIS

O uso de equipamentos de proteção individual é indispensável para qualquer procedimento que envolva a manipulação de material biológico ou qualquer outro risco que envolva a equipe de coleta (Figura 17).

A metodologia de coleta de amostras de bioaerossóis é de grande importância e quando realizada de forma inadequada pode comprometer os resultados. É importante a identificação adequada de amostras para garantir a rastreabilidade.

Algumas práticas de segurança devem ser realizadas para evitar a possível contaminação com material coletado, como:

- O uso das luvas não substitui o ato de lavar as mãos que devem ser feitos após a manipulação de cada amostra;
- Toda amostra deve ser tratada como potencialmente patogênica;
- É proibido comer, beber, fumar e aplicar cosméticos nas áreas de trabalho;
- Uso de roupas de proteção no campo e no interior do laboratório, não sendo permitida a circulação com esses trajes em áreas externas;
- A limpeza da bancada de trabalho deve ser feita com álcool a 70% no início e no término das atividades ou sempre que houver necessidade;
- Quando houver derramamento de material biológico, limpar imediatamente e realizar a limpeza com álcool a 70%.

As amostras de bioaerossóis coletadas devem ser transportadas de forma segura, para evitar contaminação e manter a viabilidade dos microrganismos coletados. As amostras devem ser acondicionadas em embalagens apropriadas para a coleta e transportadas em caixas térmicas com temperatura de 2 °C a 8 °C e posteriormente armazenadas na geladeira a 4°C.

FIGURA 17 – BOAS PRÁTICAS DURANTE A COLETA E ANÁLISE DE AMOSTRAS DE BIOAEROSSÓIS.



Fonte: STORYSET, adaptada pelo autor (2022).

## AMOSTRAGEM POR SEDIMENTAÇÃO EM PLACAS PETRI

Esse é um método de amostragem passiva e é baseada na sedimentação gravitacional das partículas para quantificação de microrganismos emitidos por uma determinada área de superfície durante um determinado período. É um método de amostragem passiva, e, portanto, de menor custo por não necessitar do uso de bombas e/ou equipamentos similares, e por isso tem uma longa história na microbiologia ambiental. Sendo um método de amostragem passiva, sua eficiência é afetada diretamente pelo tamanho da partícula coletada. Visto que partículas maiores tendem a sedimentar mais rápido e próximo às fontes de emissão, mostra-se como uma boa escolha para a identificação de possíveis fontes de emissão de bioaerossóis em uma ETE e pode ser empregado simultaneamente em diferentes locais ou ainda, em diferentes etapas do tratamento, buscando compreender a dinâmica das possíveis fontes de emissões de bioaerossóis.

Este método consiste em expor placas Petri ao ar ambiente (Figura 18 e 19), com meios específicos de crescimento, por um tempo que pode variar de 15 a 60 minutos. Em ambientes com grande emissão de bioaerossóis, uma exposição mais curta é capaz de obter bons resultados, enquanto um tempo de exposição maior é necessário em ambientes onde espera-se pouca emissão de bioaerossóis. No entanto, vale ressaltar

que, um tempo de exposição muito longo (acima de 60 minutos) pode acarretar erros nos resultados devido a desidratação dos meios de cultivo. A fim de se estimar a fração de bioaerossóis que chega na zona média de respiração de uma pessoa, a altura recomendada da amostragem é de 1,5 m acima do piso de referência, mantendo-se uma distância mínima de um metro de paredes ou obstáculos.

FIGURA 18 - PLACAS COM MEIO DE CULTIVO EXPOSTAS EM UMA ETE.



Foto: elaborada pelo autor.

FIGURA 19 - PLACAS COM MEIO DE CULTIVO EXPOSTAS EM UMA ETE.



Foto: elaborada pelo autor.

Após a exposição, as placas devem ser encaminhadas o mais breve possível ao laboratório para serem incubadas em estufa microbiológica sob temperatura recomendada

para cada meio de cultivo. Decorrido o tempo de incubação, as colônias serão contadas para posterior quantificação usando a Equação de Omeliansky (Equação 1). Esta equação se baseia na hipótese de que, durante determinado tempo de amostragem, os bioaerossóis presentes no ar são depositados na superfície (cm<sup>2</sup>) da placa de Petri (AWAD e MAWLA, 2012).

$$N = 5.a.10^4 (b.t)^{-1}$$

Equação (1)

N = unidades formadoras de colônias (UFC) por unidade de ar (m<sup>3</sup>)

a = número de colônias desenvolvidas na superfície do meio de cultura

b = área da superfície da placa de Petri cm<sup>2</sup>

t = tempo de exposição da placa Petri em minutos.

Um exemplo prático desta quantificação pode ser observado abaixo. Na Figura 20, foi possível contar o crescimento de 8 colônias de bactérias em uma placa Petri em meio Ágar MacConkey. A área da placa calculada foi de 63,62 cm<sup>2</sup> e a placa ficou exposta por 30 minutos próximas ao bioreator de uma ETE. Com isso, por meio da Equação 1, é possível estimar que a concentração de colônias de bactérias presente sob forma de bioaerossol durante esse tempo de amostragem foi de 210 Unidades Formadoras de Colônia por metro cúbico de ar:

$$N = 5.a.10^4 (b.t)^{-1}$$

$$N = 5.8.10^4 (63,62.30)^{-1}$$

$$\mathbf{N = 210 UFC.m^{-3}}$$

FIGURA 20 – COLÔNIAS DE BACTÉRIAS EM ÁGAR MACCONKEY.



Foto: elaborado pelo autor.

Uma outra observação importante a respeito do tempo de exposição das placas Petri é de que os resultados obtidos pelo método de sedimentação passiva estão relacionados ao tempo de exposição destas placas em pontos de alta taxa de emissão de bioaerossóis e possivelmente, poderá haver um crescimento excessivo de colônias, podendo acarretar uma maior dificuldade na contagem das colônias.

Devido à variação de diferentes espécies de microrganismos, algumas cepas podem apresentar um crescimento mais lento do que outras. Certas espécies de fungos crescem e se espalham mais facilmente e acabam por sobressair-se sobre outras na mesma placa (Figura 21 direita), dificultando assim a leitura dos resultados. Outro cuidado a ser observado está relacionado ao tempo excessivo de incubação, que pode fornecer resultados duvidosos para algumas cepas, com isso, recomenda-se verificar o crescimento de placas para quantificação de fungos com mais frequência.

FIGURA 21 – COLÔNIAS DE BACTÉRIAS EM PCA (A). COLÔNIAS DE FUNGOS EM MEA (B).



Foto: elaborada pelo autor.

## FILTRAÇÃO

A filtração é um dos métodos mais comumente usados para capturar partículas transportadas pelo ar, incluindo bioaerossóis, porque é conveniente e fácil de usar. Além

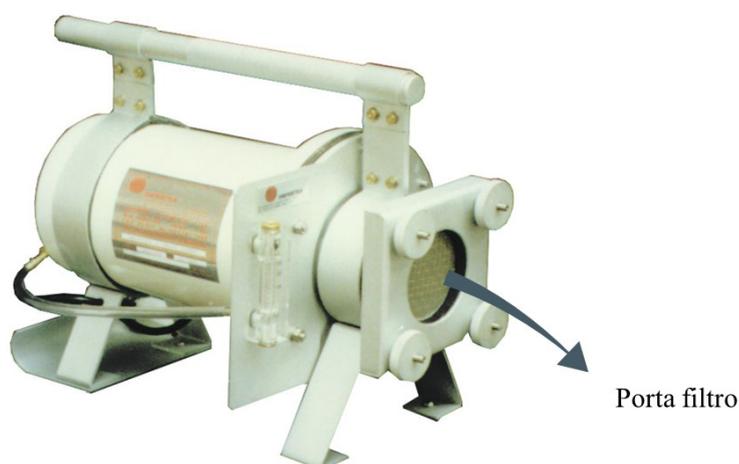
disso, é um método de amostragem relativamente de baixo custo, que requer apenas um suporte para o filtro, uma bomba para sugar o ar atmosférico e filtros capazes de reter partículas de bioaerossóis, que são então recuperadas para a quantificação e caracterização.

Os filtros utilizados em coletas de bioaerossóis podem ser de diferentes materiais, como; filtros de Teflon, polycarbonato ou fibra de vidro. Para reduzir problemas de contaminação cruzada, os filtros devem ser esterilizados anteriormente ao uso.

Uma vez que as partículas de bioaerossóis são coletadas em um filtro, elas podem ser eluídas em líquido para análise subsequente por meio de várias técnicas. As partículas depositadas em um filtro também podem ser examinadas diretamente por meio de microscopia, incluindo microscopia eletrônica ou serem colocadas diretamente em ágar ou caldos para cultivo.

Na Figura 22 observa-se um amostrador portátil de partículas totais que devidamente instalado no local de medição, succiona uma certa quantidade de ar ambiente através de um filtro, instalado no porta-filtro, durante um certo período de amostragem.

FIGURA 22 - AMOSTRADOR PORTÁTIL DE PARTÍCULAS.



Fonte: Energética®, 2022.

Já na Figura 23, é possível observar dois filtros de polycarbonato, à esquerda encontra-se o filtro ainda não usado para amostragem (limpo) e à direita o filtro utilizado para amostragem de material particulado de diâmetro aerodinâmico igual ou menor do que  $2,5 \mu\text{m}$  ( $\text{MP}_{2,5}$ ) suspenso no ar durante um determinado período a uma vazão de ar de sucção controlada.

FIGURA 23 – FILTRO DE TEFLON NOVO E UTILIZADO EM AMOSTRAGEM.



Foto: elaborado pelo autor.

Outro modelo de equipamento para coleta de bioaerossóis que utiliza meios filtrantes para a retenção de partículas é o SKC IMPACT Sampler (Figura 24), trata-se de um amostrador patenteado de estágio único, projetado para a coleta eficiente de material particulado de 10  $\mu\text{m}$  ( $\text{MP}_{10}$ ) e material particulado de 2,5  $\mu\text{m}$  ( $\text{MP}_{2,5}$ ). Esse equipamento opera com baixa vazão de amostragem (10  $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ ) e as partículas são coletadas em um filtro de 47 mm que geralmente são acondicionadas, já esterilizadas, em um cassete (estojo) e o equipamento permite trocas rápidas dos filtros. Mesmo que o amostrador seja comumente indicado para amostragem de material particulado ambiental e estudos de ar interno, o mesmo conta com uma capa de chuva para proteger o amostrador quando usado ao ar livre.

FIGURA 24 – AMOSTRADOR IMPACT SAMPLER SKC®.



Fonte: SKC Ltd, 2022.

## AMOSTRADORES BASEADOS EM IMPACTAÇÃO INERCIAL

Diferentemente de amostragem por sedimentação, onde as partículas são separadas por gravidade com base em seu diâmetro aerodinâmico e sedimentam em placas de Petri, e de amostradores por filtração que retêm partículas de acordo com a especificidade de cada filtro, nos **amostradores baseados no impacto**, as partículas são separadas do ar com base em seu tamanho, ou mais precisamente em seu momento. A corrente de ar é forçada a girar repentinamente, e as partículas que não podem seguir o fluxo devido ao seu tamanho e/ou massa e velocidade impactam uma superfície, da qual podem ser coletadas e, conseqüentemente, a eficiência de coleta aumenta com o diâmetro da partícula. Para grande parte dos impactadores, o diâmetro de corte,  $d_{50}$ , é definido como o diâmetro para o qual se atinge uma eficiência de coleta de 50%, ou seja, 50% das partículas com diâmetro igual ao diâmetro de corte são impactadas enquanto os outros 50% continuam sendo carregados pelo fluxo de ar. O diâmetro de corte está diretamente relacionado à distância entre a entrada e a placa de impacto e depende da taxa de fluxo, que precisa ser controlada com precisão para o funcionamento ideal destes impactadores.

Alguns destes impactadores são amplamente utilizados em coletas de bioaerossóis diretamente sobre uma superfície de impactação que consiste em um meio nutriente, a ser escolhido do usuário. Esses impactadores são então semeados e/ou incubados para o crescimento microbiano.

Para uma abordagem prática, serão apresentados na seqüência três modelos diferentes e os mais comumente utilizados.

## IMPACTADORES EM BASE SÓLIDA

O impactador mais utilizado para amostragem de bioaerossóis é o amostrador de Andersen, que utiliza meio nutriente como placa de impactação, podendo ser de um ou mais estágios.

Na Figura 25, é possível observar o impactador de Andersen de apenas um estágio para coleta de bioaerossóis, que opera com base no princípio de impactação inercial e atende aos requisitos da legislação norte americana do *National Institute for Occupational Safety & Health* (NIOSH) e da *American Conference of Governmental Industrial Hygienists*

(ACGIH) para amostragem de ar interno e externo em busca de microrganismos viáveis, incluindo bactérias e fungos. Do mesmo modo, este amostrador atende as normas nacionais da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), no que tange a qualidade do ar referente aos bioaerossóis, e permite a determinação da concentração de organismos viáveis em suspensão no ar.

FIGURA 25 – AMOSTRADOR DE UM ESTÁGIO BIOSTAGE®.

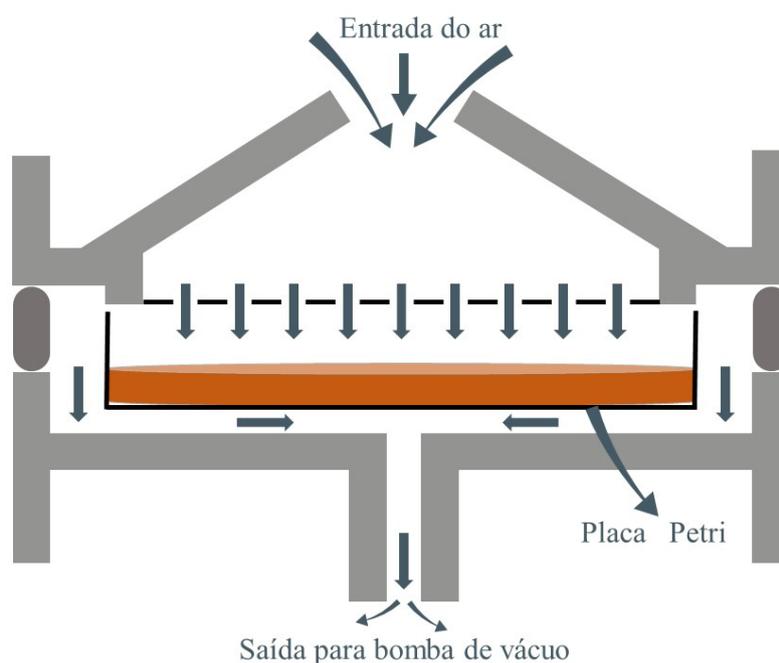


Fonte: SKC Ltd, 2022.

De forma resumida, o método de impactação com amostrador de Andersen se dá por meio de uma placa de Petri, que contendo um ágar apropriado ao microrganismo de interesse, é inserido no amostrador. A aspiração é feita com uma bomba de vácuo operando em regime estável em torno de  $28,3 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ , de modo que o ar com as partículas viáveis entra no impactador e acelera através dos orifícios de jateamento. As partículas maiores são inercialmente impactadas e retidas na placa com ágar, enquanto as menores escapam através da saída na base do impactador e da mangueira da bomba (Figura 26). Após o término da amostragem, que dura cerca de 30 minutos, coloca-se a tampa de volta sobre a placa identificando-a. Na sequência, a placa Petri é incubada sob temperatura adequada para crescimento do tipo de microrganismo objeto de estudo, por exemplo, placas contendo Ágar MacConkey geralmente são incubadas em estufa com temperatura controlada a  $35^\circ\text{C}$  por 48 horas para as o crescimento de enterobactérias.

Para a determinação de fungos, placas contendo Ágar Extrato Malte são incubadas a uma temperatura de 28°C de 5 a 7 dias. Em seguida, é realizada a contagem das partículas viáveis (bactérias e/ou fungos), normalmente apresentada na forma de UFC. Como a vazão da bomba a vácuo e o tempo de amostragem são conhecidos, com o fluxo de ar e o número de colônias (UFC), tem-se então a concentração de bioaerossóis no ar, em termos de UFC.m<sup>-3</sup>.

FIGURA 26 - ESQUEMA ILUSTRATIVO DO IMPACTADOR DE ANDERSEN.



Fonte: elaborada pelo autor.

O trato respiratório humano funciona como um sistema de classificação aerodinâmica para partículas em suspensão no ar.

O ar entra no trato respiratório superior por meio da boca e do nariz e passa pela faringe, uma passagem comum para os alimentos, para os líquidos e para o ar. Da faringe, o ar flui através da laringe para a traqueia. Nos pulmões, os brônquios ramificam-se repetidamente em brônquios progressivamente menores. Nos pulmões, os menores brônquios formam os bronquíolos, pequenas passagens flexíveis com uma parede formada por músculo liso. Os bronquíolos continuam ramificando-se até que os bronquíolos respiratórios formem uma transição entre as vias aéreas e o epitélio de troca do pulmão.

O diâmetro da via aérea torna-se progressivamente menor da traqueia até os bronquíolos, porém, como as vias aéreas individuais ficam mais estreitas, o seu número aumenta geometricamente. Assim, a área de secção transversal total aumenta a cada divisão das vias aéreas. A área de secção transversal total é menor no trato respiratório superior e maior nos bronquíolos, semelhante ao aumento da área de secção transversal que ocorre da aorta para os capilares no sistema circulatório. A velocidade do fluxo de ar é inversamente proporcional à área de secção transversal da via aérea.

Partículas que atingem os pulmões podem desencadear uma resposta inflamatória, causando problemas pulmonares. Ademais, estudos de inalação de partículas menores que 200 nm sugerem que sejam capazes de atravessar os tecidos que revestem a cavidade nasal viajando através dos neurônios até atingir a região posterior do cérebro.

Neste contexto, a coleta de bioaerossóis em uma ETE pode ser realizada utilizando impactadores em cascata com seis estágios (Figura 27) para simular o impacto de diferentes tamanhos de partículas no trato respiratório de um humano, coletando partículas viáveis em suspensão no ar em diferentes faixas de diâmetro, de maneira a reproduzir a penetração dessas partículas nos pulmões.

FIGURA 27 – AMOSTRADOR DE 6 ESTÁGIOS.

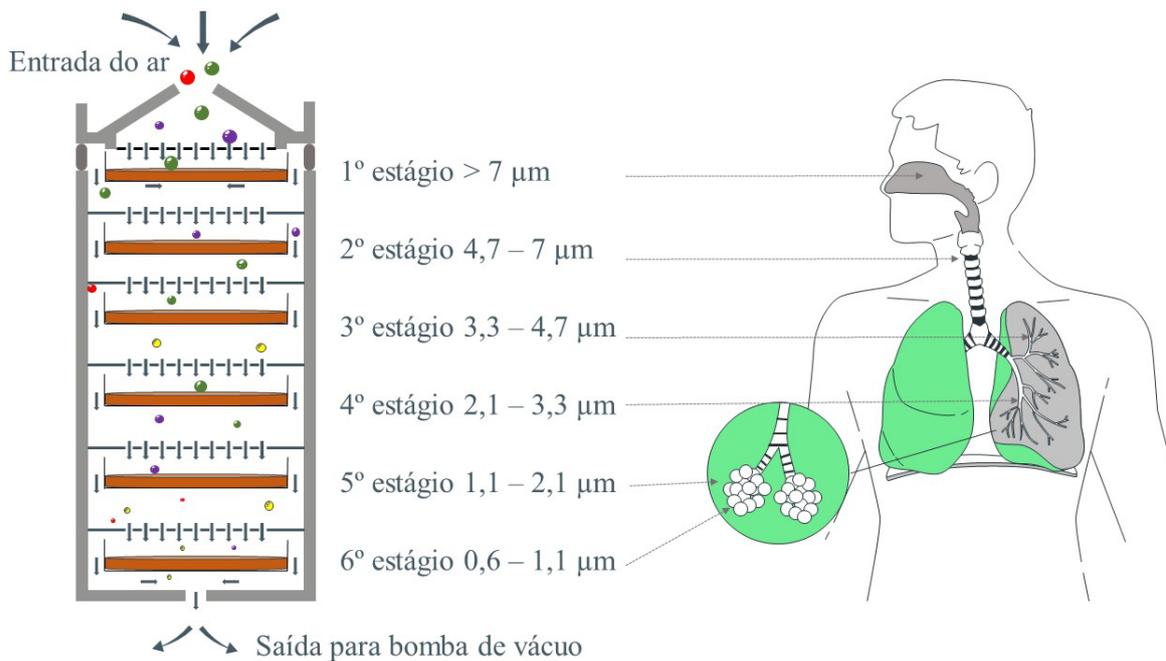


Fonte: Energética®, 2022.

O esquema de um impactador em cascata Andersen de 6 estágios é apresentado na Figura 28, incluindo uma representação da penetração de diferentes tamanhos dessas partículas nos pulmões (SOBOTTA, 2017). Cada um dos estágios contém uma placa Petri

preenchida com ágar nutriente (vermelho). A cada estágio, com o aumento do número de estágios, o tamanho dos orifícios diminui e, portanto, a velocidade de impactação aumenta, permitindo a coleta de bioaerossóis fracionados por tamanho sobre as diferentes placas. As partículas de bioaerossóis fluem do topo para o primeiro estágio, onde as partículas com diâmetros aerodinâmicos maiores que  $7 \mu\text{m}$  impactam o ágar. As partículas restantes fluem para a segunda etapa, onde partículas com diâmetros aerodinâmicos entre  $4,7 \mu\text{m}$  e  $7 \mu\text{m}$  são coletados, e assim sucessivamente até o último estágio. A fração de partículas inaladas retidas no sistema respiratório e o local de deposição variam com as propriedades físicas (tamanho, forma e densidade) das partículas caracterizadas por dimensões aerodinâmicas.

FIGURA 28 – ESQUEMA ILUSTRATIVO IMPACTADOR 6 ESTÁGIOS E TRATO RESPIRATÓRIO.



Fonte: elaborado pelo autor.

## IMPACTADOR EM BASE LÍQUIDA

Grande parte dos mecanismos de coleta de bioaerossóis, seja por filtração ou impactação, podem danificar ou matar microrganismos vivos e, portanto, métodos analíticos que exigem viabilidade celular geralmente requerem um método diferente de coleta.

No geral, amostradores em base líquida usam um método que submete os microrganismos presentes no bioaerossol a um menor estresse quando comparados com impactadores em superfícies sólidas ou semissólidas, tornando-se referência em estudos de bioaerossóis.

Os impactadores em base líquida, também chamados de “*impingers*” operam canalizando o fluxo de ar carregado de partículas (bioaerossóis) por meio de um tubo imerso na câmara de contato contendo um líquido. Um impinger é todo em vidro (Figura 29) e durante a amostragem os bioaerossóis são aspirados horizontalmente em sua entrada e, em seguida, direcionados para baixo através do bocal do impinger. O bico é direcionado perpendicularmente ao fundo onde os bioaerossóis são impingidos no meio líquido, geralmente 20 ml de solução salina ou tampão de fosfato, enquanto o ar restante sai do amostrador pela saída de ar.

FIGURA 29 – IMPINGER EM AMOSTRAGEM (A) E ESQUEMA ILUSTRADO DE IMPINGER (B).

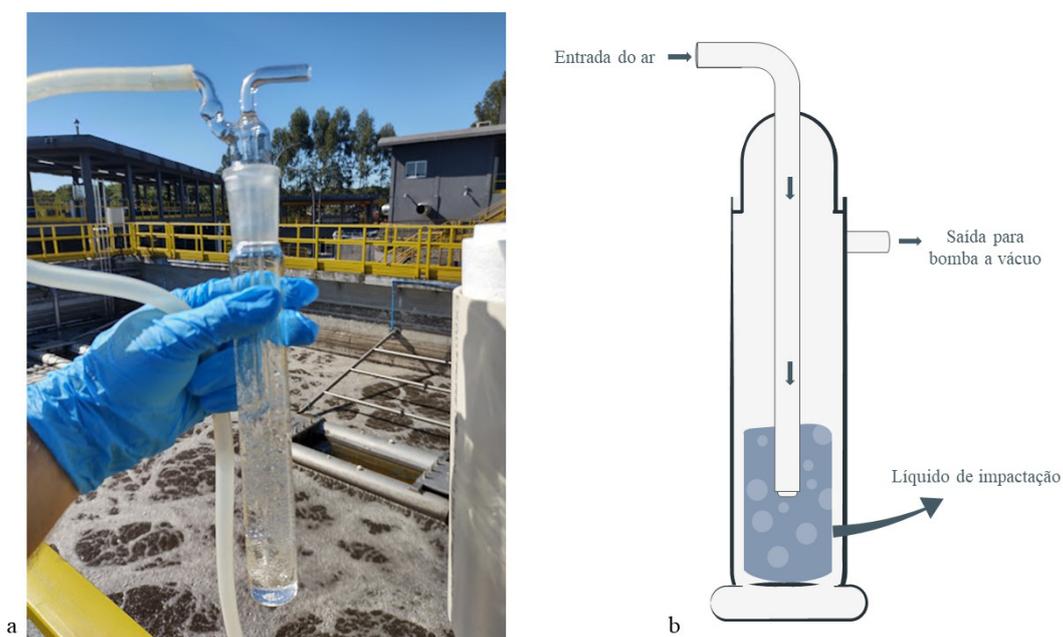


Foto: elaborado pelo autor.

Como o volume de líquido utilizado como base impactadora e a vazão de ar aspirado são conhecidas, é possível determinar a concentração de microrganismos viáveis no ar. Usualmente o ar é aspirado a uma vazão de  $12,5 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ , criando assim um movimento de turbilhão no meio líquido de coleta. Quanto menor a vazão de ar, menor é a chance de re-aerolização das partículas coletadas e menor a produção de espuma no líquido. No

entanto, uma menor vazão demanda um tempo maior de amostragem, que pode vir a ocasionar a evaporação do líquido, que deverá ser reabastecido periodicamente para estender o tempo de amostragem, aumentando assim possíveis contaminações. O uso de um líquido viscoso, por exemplo, óleo mineral, também pode ser usado para minimizar a evaporação, no entanto, isso torna a extração do microrganismo um tanto desafiadora. É importante observar que as partículas de bioaerossóis coletadas em meio líquido em períodos grandes de amostragem, e quando não tomadas medidas para inibir o crescimento, podem aumentar expressivamente sua concentração e gerar resultados duvidosos.

Estudos mostram que a radiação ultravioleta (UV) reduziram o número de coliformes fecais viáveis, depositadas pelo vento, em 99,9%, quando comparado com período de baixa incidência de radiação UV.

Algumas bactérias que podem estar presentes em bioaerossóis e de grande relevância quanto a infecções e contaminação ambiental são os bacilos Gram-negativos não fermentadores de glicose, pois podem ficar viáveis por um grande período no ar sem a necessidade de colonizar um indivíduo. Muitos possuem pigmentos que fazem com que a bactéria resista mais a radiação ultravioleta. Assim, um outro modo de conduzir as amostragens utiliza amostragens em sequência ao longo do dia, durante o dia e a noite (Figura 30), essa abordagem permite avaliar a possibilidade da variação de microrganismos viáveis no ar com e sem a presença da radiação solar.

FIGURA 30 – COLETA NOTURNA E DIURNA COM IMPINGER.



Foto: elaborado pelo autor.

## TÉCNICAS ONLINE DE CARACTERIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE BIOAEROSSÓIS

Como foi discutido anteriormente, existe uma série de técnicas disponíveis para amostragem e análise de partículas de bioaerossóis na atmosfera, todas elas offline, geralmente baseada em cultura, a ser realizada após a amostragem. Isso limita o imediatismo do impacto que uma análise pode ter na compreensão de um ambiente específico e normalmente limitada no tempo da análise. Para superar esse desafio, várias classes de técnicas de caracterização de bioaerossóis em tempo real foram desenvolvidas e aplicadas recentemente, com crescente atenção na última década. Essas técnicas normalmente utilizam propriedades físicas e químicas (por exemplo, informações espectroscópicas) para diferenciar e analisar partículas amostradas e estão se mostrando ferramentas cada vez mais poderosas, especialmente quando usadas em conjunto com análises offline.

A espectroscopia de fluorescência é provavelmente a técnica mais utilizada atualmente para detecção e caracterização em tempo real de bioaerossóis. A técnica de detecção e caracterização de bioaerossóis baseia-se na ideia de que a maioria dos materiais biológicos contém um conjunto razoavelmente pequeno de classes de fluoróforos característicos que podem ser usados para diferenciá-los de materiais não biológicos. No entanto, considerações do instrumento e as mudanças que as partículas biológicas podem sofrer à medida que são expostas a processos químicos atmosféricos demonstraram afetar suas propriedades de fluorescência. Com isso, a maior parte do uso dessa tecnologia é aplicada em ambientes internos que requerem grande controle de qualidade do ar, como laboratórios farmacêuticos.

**QUANTIFICAÇÃO E  
CARACTERIZAÇÃO  
DE BIOAEROSSÓIS  
EM ETEs**

A quantificação e/ou caracterização das amostras de bioaerossóis são comumente realizadas por técnicas off-line, ou seja, são encaminhadas para laboratório para posterior estudo. Por muito tempo, o uso de meios de cultura foi o método mais comum usado para investigar as comunidades microbianas de bioaerossóis.

Como apresentado nos capítulos anteriores, a amostragem de bioaerossóis em culturas primárias é obtida a partir do semeio em meio líquido ou caldos, assim como via incubação direta em placas Petri com ágar sólido, assim, a concentração de microrganismos cultiváveis pode ser estimada.

Os métodos de identificação de microrganismos podem ser realizados por meio de técnicas de identificação bioquímica, por meio de métodos artesanais ou automatizados.

O desenvolvimento de métodos baseados em ácidos nucleicos pode ser empregado visando uma caracterização mais abrangente dos bioaerossóis. Esses métodos, baseados em estudos de DNA, permitem a detecção, identificação e quantificação de microrganismos vivos e mortos, cultiváveis e não cultiváveis, e material vegetal ou animal fragmentado e vírus. Ainda, a quantificação do número de cópias de um gene alvo em uma amostra pode ser determinada por PCR quantitativo (qPCR), que também permite estudar a diversidade de genes que codificam subunidades ribossômicas (RNA 16s para procariontes, RNA 18s para eucariotos). Atualmente, a análise de bioaerossóis baseada em sequenciamento de nova geração (SGN) é uma realidade que aumenta a velocidade de diagnóstico e diminui os custos do sequenciamento. Com isso, espera-se um grande avanço na identificação de microrganismos presentes em bioaerossóis emitidos em processos biológicos em geral, incluindo em processos de tratamento de esgoto em ETEs, contribuindo, assim, com pesquisas visando a melhora de processos e a minimização da emissão destas partículas de potencial patogênico.

# RELATÓRIOS DE AMOSTRAGEM

É por meio dos relatórios de amostragem que se pode demonstrar e divulgar os resultados de um estudo ou pesquisa acadêmica, ou, até mesmo, registrar laudos técnicos para avaliação dos riscos à saúde e segurança no trabalho.

Para reportar os resultados obtidos a partir do monitoramento de bioaerossóis, o relatório é o meio pelo qual o técnico responsável poderá apresentar todos os procedimentos utilizados e o conjunto de resultados delas obtidos. No relatório, recomenda-se contemplar alguns itens como:

- Dados da empresa: Nome e dados cadastrais da empresa;
- Locais de monitoramento: Mapa de localização com coordenadas, nome e descrições dos pontos amostrais;
- Dados da coleta: Data, horário e dados da coleta;
- Metodologia: Metodologia utilizada no monitoramento;
- Parâmetros de comparação: Valores de parâmetros de normas e legislações;
- Resultados e conclusões: Apresentar os resultados e as conclusões diante dos resultados obtidos;
- Referências: Apresentar o conjunto padronizado de elementos essenciais que permite a identificação, padrões e documentos utilizados na metodologia;
- Anexos: Certificados de calibração de equipamento, manuais e bulas de produtos utilizados nas análises.

Para monitoramento de microrganismos viáveis presentes em bioaerossóis, é de grande importância compreender que estes microrganismos podem ser inibidos em certas condições, pois, alguns morrem rapidamente, principalmente por dessecação, exposição a temperaturas mais altas ou baixas ou ainda, são mortos pela radiação solar.

Diante disso, a análise das condições meteorológicas é de grande importância pois impacta diretamente os resultados obtidos no monitoramento de bioaerossóis. Sendo assim, anotações dos parâmetros meteorológicos devem ser realizadas paralelamente à amostragem. Se possível, tomar nota com equipamentos no local da amostragem, ou ainda, utilizando dados oficiais de estações meteorológicas mais próximas do local.

Na Tabela 1, observa-se um modelo de ficha de amostragem.

TABELA 1 - FICHA DE AMOSTRAGEM

**FICHA DE AMOSTRAGEM DE BIOAEROSSÓIS**

Data:

Nome da empresa:

Tipo de amostragem:

Amostrador:

Ponto amostral:

Sigla:

Coordenadas:

Hora inicial:

Hora final:

Temperatura ambiente:

Umidade Relativa do ar:

Direção do vento:

Velocidade do vento:

Índice radiação solar:

Fonte: elaborado pelo autor.

**CONCLUSÃO**

Os bioaerossóis desempenham um papel fundamental na dispersão de unidades reprodutivas de plantas e micróbios (pólen, esporos, etc.), para os quais a atmosfera permite o transporte através de barreiras geográficas e longas distâncias. A dispersão de patógenos e alérgenos vegetais, animais e humanos tem grandes implicações para a agricultura e a saúde pública.

Para avaliar o risco de bioaerossóis de ETEs, diferentes métodos de amostragem e análise têm sido aplicados para os estudos qualitativos e quantitativos de bioaerossóis. Os principais métodos de amostragem envolvem a coleta de bioaerossóis por sedimentação passiva de partículas e impactação ou filtração, seguidos por uma variedade de métodos de análise pós-coleta.

O material apresentado neste *e-book* ilustra claramente que existe uma ampla gama de microrganismos com significativo potencial patogênico que podem ser emitidos em processos de tratamento de esgoto em ETEs – por meio dos bioaerossóis. Esses microrganismos podem permanecer viáveis e percorrer grandes distâncias a partir da fonte de emissão. Sua deposição com as chuvas ou o espalhamento no ar seco servem como forma de se tornarem vetores de patologias para humanos em diferentes habitats.

Diante do cenário legal, indicando a necessidade de se conduzir um monitoramento da emissão de bioaerossóis em ETEs a fim de se avaliar os riscos associados à sua exposição para a saúde humana e do meio ambiente, cabe aos profissionais e pesquisadores das áreas de saúde pública e ambiental, bem como, saúde ocupacional e segurança do trabalho, conduzirem estudos para avaliar e controlar tais riscos considerando os melhores critérios para definir e aplicar as técnicas disponíveis.

De modo geral, trouxemos aqui, um primeiro passo diante do tema proposto e apontamos os requisitos mínimos desejados para detectar patógenos transferidos do esgoto para atmosfera a fim de avaliar com precisão o nível de exposição pessoal a bioaerossóis quando um indivíduo fica exposto durante um período significativo em áreas de (ou próximas à) ETEs.

Dessa maneira, é importante salientar que uma melhor compreensão de fontes de emissões é essencial para orientar a escolha e gestão de equipamentos de proteção individual (EPI) a fim de proteger a saúde do trabalhador.

Além disso, os resultados do monitoramento auxiliam na identificação de potenciais fontes de emissão de bioaerossóis e sua dinâmica atmosférica, fornecendo informações importantes para melhor gestão desse tipo de atividade, de maneira a salvaguardar a comunidade de entorno à essas áreas. Neste sentido, ações diretas que visam à adequa-

ção das emissões atmosféricas mediante a implantação de mecanismos que atuam diretamente nos pontos de saída das fontes geradoras, podem ser melhores aplicadas, tais como: aplicação de cortina verde (plantio de árvores) ao entorno de uma ETE, cobertura de processos, exaustão e tratamento de gases e materiais particulados, e adequação dos processos de aeração de reatores biológicos.

Asma, bronquite crônica, alveolite alérgica, síndrome da poeira orgânica e alergias cutâneas estão entre as principais doenças ocupacionais que os trabalhadores podem desenvolver em decorrência dessa exposição.

No processo de tratamento de esgotos em ETEs, para garantir o objetivo do tratamento do esgoto, o monitoramento de bioaerossóis é uma tarefa inevitável e indiscutivelmente importante à saúde humana e do meio ambiente.

# REFERÊNCIAS CONSULTADAS

ABORAWASH, S., MUHARRAM, A. A. EL D., KAMAL, R. HUDA, EL-G. Plants, Shade and Solar Radiation Effect on Bio-Aerosol Pollution in Wastewater Treatment Plants. **Mansoura Engineering Journal**, v. 43 (4), p. 1-5. 2020.

ALVES, R. R. **Marketing ambiental: Sustentabilidade empresarial e mercado verde**. Barueri, SP: Editora Manole, 2017.

ALVES, C. Aerossóis atmosféricos: perspectiva histórica, fontes, processos químicos de formação e composição orgânica. **Química Nova**, v. 28 (5), p. 859-870, 2005.

ANA - **AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS**. Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas. Brasília, 2017. Disponível em: <http://atlassesgotos.ana.gov.br/> . Acessado em: 09 mar. 2022.

ANG, CARMEN. **Zooming In: Visualizing the Relative Size of Particles**. Em: Visual Capitalist. 10 out. 2020. Disponível em: <https://www.visualcapitalist.com/visualizing-relative-size-of-particles/> 17 abr. 2022.

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução Normativa nº 09, de 16 de janeiro de 2003. Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior em Ambientes Climatizados Artificialmente de Uso Público. Brasília. Disponível em: [http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/RE\\_09\\_2003\\_.pdf/8cca9c91-1437-4695-8e3a-2a97deca4e10](http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/RE_09_2003_.pdf/8cca9c91-1437-4695-8e3a-2a97deca4e10) Acessado em: 05 mai. 2022.

AWAD, A. H., MAWLA, H. A. Sedimentation with the Omeliansky Formula as an Accepted Technique for Quantifying Airborne Fungi. **Pol. J. Environ. Stud.** v. 21(6), p. 1539-1541, 2012.

BARRY, ROGER G., CHORLEY, RICHARD J. **Atmosfera, Tempo e Clima**. 9. ed. Porto Alegre: **Bookman**, 2013.

BRASIL. **Lei Federal Nº 8.213, de 24 de julho de 1991**. Dispõe sobre os Planos de Benefícios da Previdência Social e dá outras providências. Brasília: **Senado Federal**, Brasil. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l8213cons.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8213cons.htm) Acessado em: 05 mai. 2022.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Estabelece o novo marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, e a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 jul. 2020. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm) Acesso em: d: 12 jun. 2022.

BRASIL. **Ministério do Trabalho e Emprego**. NR 1 - DISPOSIÇÕES GERAIS E GERENCIAMENTO DE RISCOS OCUPACIONAIS SERVIÇOS ESPECIALIZADOS EM SEGURANÇA E EM MEDICINA DO TRABALHO. Brasília, 2020. Disponível em: Normas Regulamentadoras - NR – Português (Brasil) ([www.gov.br](http://www.gov.br)) Acessado em: 19 abr. 2022.

BRASIL. **Ministério do Trabalho e Emprego**. NR 4 - SERVIÇOS ESPECIALIZADOS EM SEGURANÇA E EM MEDICINA DO TRABALHO. Brasília, 2020. Disponível em: Normas Regulamentadoras - NR – Português (Brasil) ([www.gov.br](http://www.gov.br)) Acessado em: 19 abr. 2022.

BRASIL. **Ministério do Trabalho e Emprego**. NR 7 - PROGRAMA DE CONTROLE MÉDICO DE SAÚDE OCUPACIONAL. Brasília, 2020. Disponível em: Normas Regulamentadoras - NR – Português (Brasil) ([www.gov.br](http://www.gov.br)) Acessado em: 19 abr. 2022.

BRASIL. **Ministério do Trabalho e Emprego**. NR 9 - AVALIAÇÃO E CONTROLE DAS EXPOSIÇÕES OCUPACIONAIS A AGENTES FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS. Brasília, 1978. Disponível em: Normas Regulamentadoras - NR – Português (Brasil) ([www.gov.br](http://www.gov.br)) Acessado em: 19 abr. 2022.

BRASIL. **Ministério do Trabalho e Emprego**. NR 15 - ATIVIDADES E OPERAÇÕES INSALUBRES. Brasília, 1978. Disponível em: Normas Regulamentadoras - NR – Português (Brasil) ([www.gov.br](http://www.gov.br)) Acessado em: 19 abr. 2022.

CAVALCANTI, J. E. W.A. **Manual de Tratamento de Efluentes Industriais**. 3 ed. São Paulo Engenharia Editora Técnica, 2016.

CONAMA - **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. RESOLUÇÃO CONAMA nº 491, de 19 de novembro de 2018. Disponível em: [https://www.in.gov.br/materia/-/asset\\_publisher/KujrwOTZ-C2Mb/content/id/51058895](https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/KujrwOTZ-C2Mb/content/id/51058895) Acessado em: 06 mai. 2022.

DAVIS, M.L.; MASTEN, S.J. **Princípios de engenharia ambiental**. Porto Alegre: AMGH Editora, 2016.

DEHGHANI, Mansooreh *et al.* Seasonal Variation in Culturable Bioaerosols in a Wastewater Treatment Plant. **Aerosol Air Qual.** v. 18 (11), p. 2826-2839, 2018.

DERISIO, J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 4. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

DING, W., LI, L., HAN, Y., LIU, J., LIU, J. Site-related and seasonal variation of bioaerosol emission in an indoor wastewater treatment station: level, characteristics of particle size, and microbial structure. **Aerobiologia**, v. 32 (2), p. 211–224, 2015.

ENERGÉTICA®. **Energética® Qualidade do Ar**. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://energetica.ind.br/> Acesso 21 nov. 2022.

ENIT. Escola Nacional da Inspeção do Trabalho. Live CANPAT 09/06/2020 - 9h - especial PGR. **Youtube**, 09 jun 2020. Disponível em: <https://youtu.be/wrpdwR8aP5Q> Acessado em 05 mai. 2022.

EPA. United States Environmental Protection Agency. **Particulate Matter (PM) Basics**. Disponível em: <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#PM> Acesso em: 21 abr. 2022.

FRONDIZI, C. A. Monitoramento da Qualidade do Ar Teoria e Prática. **E-papers**. 1ª ed, Rio de Janeiro, 2008.

FRÖHLICH-NOWOISKY, J., KAMPF, C. J., WEBER, J. B., HUFFMAN, A., PÖHLKER, C., ANDREAE M. O., LANG-YONA, N., BURROWS, S.M., GUNTHER, S. S., ELBERT, W., SU, H., HOOR, P., THINES, E., HO-

FFMANN, T., DESPRÉS, V. R., PÖSCHL, U. Bioaerosols in the Earth system: Climate, health, and ecosystem interactions. **Atmospheric Research**, v. 182, p. 346–376, 2016.

GARCIA, N., L., S. Análise dos riscos biológicos em estações de tratamento de esgoto sanitário. Artigo apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho. **Universidade do Vale do Rio dos Sinos** – UNISINOS. 2018.

GOTKOWSKA-PŁACHTA, A., FILIPKOWSKA, Z., KORZENIEWSKA, E., JANCZUKOWICZ, W., DIXON, B., GOŁAŚ, I. AND SZWALGIN, D. Airborne Microorganisms Emitted from Wastewater Treatment Plant Treating Domestic Wastewater and Meat Processing Industry Wastes. **Clean - Soil, Air, Water**, v. 41 (5), p. 429-436, 2013.

GRIFFIN, R. D. Principles of air quality management. **CRC Press**; 2nd Edition, 2006.

GUIMARÃES, C.S. Controle e monitoramento de poluentes atmosféricos -1 ed. Rio de Janeiro: **Elsevier**, 2016.

GUO, X., WU, P., DING, W., ZHANG, W., LI, L. Reduction and characterization of bioaerosols in a wastewater treatment station via ventilation. **Journal of Environmental Sciences**, v. 26 (8), p. 1575-1583, 2014.

JAHANGIRI, M., NEGHAB, M., NASIRI, G., AGHABEIGI, M., KHADEMIAN, V., ROSTAMI, R., KARGAR, V., RASOOLI, J. Respiratory disorders associated with occupational inhalational exposure to bio-aerosols among wastewater treatment workers of petrochemical complexes. **Int J Occup Environ Med**. v. 6, p. 41-49, 2015.

KI-HYUN, K., EHSANUL, K., SHAMIN, K. A review on the human health impact of airborne particulate matter, **Environment International**, v 74, p 136-143, 2015.

KORZENIEWSKA, EWA. Emission of bacteria and fungi in the air from wastewater treatment plants - a review. **Frontiers in Bioscience**. v. 3 (2), p. 393–407, 2011.

KONEMAN E.W., *et al.* Color Atlas and Textbook of Diagnostic Microbiology. 7th. ed. Philadelphia: **Lippincott**, New York. 2016.

LI, L., HAN, Y., LIU, J. Assessing genetic structure, diversity of bacterial aerosol from aeration system in an oxidation ditch wastewater treatment plant by culture methods and bio-molecular tools. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 185 (1), p. 603-613, 2012.

MACKENZIE L. D., SUSAN J. M. Princípios de engenharia ambiental. **AMGH**, 3ª ed, Porto Alegre, 2016.

MAINELIS, G. Bioaerosol sampling: Classical approaches, advances, and perspectives, **Aerosol Science and Technology**, v.54 (5), p. 496-519, 2020.

METCALF e EDDY. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. 5 ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

MICHAŁKIEWICZ, M. Powstawanie, przenoszenie i szkodliwość bioaerozo emitowanych do powietrza atmosferycznego. **Ochrona Środowiska**, v. 40 (4), p. 2 1-30, 2018.

MICHAŁKIEWICZ, M., KRUSZELNICKA, I., WIDOMSKA, M. The Variability of the Concentration of Bioaerosols Above the Chambers of Biological Wastewater Treatment, **Ecological Chemistry and Engineering**, v. 25 (2), p. 267-278, 2018.

MICHAŁKIEWICZ, M. Wastewater treatment plants as a source of bioaerosols. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 28 (04), p. 2261-2271, 2019.

NIOSH - National Institute for Occupational Safety and Health. **NIOSH Manual of Analytical Methods**, 5th edition. U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, 2020.

NEVRES, M. ÖZGÜR. All the Earth's water and air. In: Our Planet. 2 de dez. 2018. Disponível em: [https://ourplanet.com/water-air-earth/?utm\\_content=bd-true](https://ourplanet.com/water-air-earth/?utm_content=bd-true) 23 abr. 2022.

OLIVEIRA NETO, G. C., CORREIA, J. M. C., TUCCI, H. N. P., LIBRANTZ, A. A. H., GIANNETTI, B. F., ALMEIDA, C. M. V. B. Sustainable Resilience Degree assessment of the textile industrial by size: Incremental change in cleaner production practices considering circular economy, **Journal of Cleaner Production**, v. 380, part 1, 2022.

RODRIGUES-SILVA, C., MIRANDA, S.M., LOPES, F.V.S., SILVA, M., DEZOTTI, M., SILVA, A.M.T., FARIA, J.L., BOAVENTURA, R.A.R., VILAR, V.J.P., PINTO, E. Bacteria and fungi inactivation by photocatalysis under UVA irradiation: liquid and gas phase. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24 (7), p. 6372–6381, 2016.

SANCHEZ, L. E. Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos. 2. ed, São Paulo: **Oficina de Textos**, 2008.

SÁNCHEZ-MONEDERO, M.A., AGUILAR, M.I., FENOLL, R., ROIG, A. Effect of the aeration system on the levels of airborne microorganisms generated at wastewater treatment plants, **Water Research**, v. 42, p. 3739-3744, 2008.

SKC Ltd. Amostrador Impact Sampler SKC®, 2022. Disponível em: <https://www.skcltd.com/products2/sampling-heads/impact-sampler.html#accessories> Acesso 21 nov. 2022.

SKC Ltd. Amostrador de um estágio BioStage®, 2022. Disponível em: <https://www.skcinc.com/products/biostage-standard-impactor> Acesso 21 nov. 2022.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico Anual de Água e Esgoto 2021 (Ano de referência 2020)**. Disponível em: <http://antigo.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos> Acesso em: 8 mai, 2022.

SILVA, D. R. R., SUEMOTO, C. K., GOUVEIA, N. Poluentes do ar como fator de risco para o desempenho cognitivo e memória. **Cadernos De Saúde Pública**, v. 35(8), 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-311X00085919> Acesso: 13 mai. 2022.

SILVA, L. V., SANTOS-SILVA, J. C., RHODEN, S. A., SOUZA, A. L. F. Mapeamento de produções científicas (1997-2021) sobre bioaerossóis associados a estações de tratamento de esgoto. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v 27 (5) p 909-917, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220210276> Acesso 04 nov. 2022.

SOBOTTA, J. Atlas de Anatomia Humana, volume: Órgãos Internos, edição 24. Rio de Janeiro: **Guanabara Koogan**, v. 2, p. 60-73, 2017.

STORYSET. Boas práticas durante a coleta e análise de amostras de bioaerossóis. Arquivo de imagem. Disponível em: <https://storyset.com> Acesso em: 10 abr. 2022.

STORYSET. Condições seguras de trabalho. Arquivo de imagem. Disponível em: <https://storyset.com> Acesso em: 10 abr. 2022.

STORYSET. Direitos deveres no trabalho. Arquivo de imagem. Disponível em: <https://storyset.com> Acesso em: 10 abr. 2022.

STORYSET. Detalhe alvéolos pulmonares. Arquivo de imagem. Disponível em: <https://storyset.com> Acesso em: 10 abr. 2022.

STORYSET. Esquema de processos de transformação industrial. Arquivo de imagem. Disponível em: <https://storyset.com> Acesso em: 10 abr. 2022.

STORYSET. Fontes de poluição. Arquivo de imagem. Disponível em: <https://storyset.com> Acesso em: 10 abr. 2022.

STORYSET. Mecanismo de formação de bioaerossóis em esgoto. Arquivo de imagem. Disponível em: <https://storyset.com> Acesso em: 10 abr. 2022.

STORYSET. Mecanismo de formação, transporte, dispersão e deposição de bioaerossóis. Arquivo de imagem. Disponível em: <https://storyset.com> Acesso em: 10 abr. 2022.

STORYSET. Partículas biológicas suspensas no ar. Arquivo de imagem. Disponível em: <https://storyset.com> Acesso em: 10 abr. 2022.

STORYSET. Poluição atmosférica. Arquivo de imagem. Disponível em: <https://storyset.com> Acesso em: 10 abr. 2022.

STORYSET. Radiação ultravioleta. Arquivo de imagem. Disponível em: <https://storyset.com> Acesso em: 10 abr. 2022.

STORYSET. Riscos de exposição aos bioaerossóis. Arquivo de imagem. Disponível em: <https://storyset.com> Acesso em: 10 abr. 2022.

STORYSET. Trabalhador exposto aos bioaerossóis em uma ETE. Arquivo de imagem. Disponível em: <https://storyset.com> Acesso em: 10 abr. 2022.

STORYSET. Boas práticas durante a coleta e análise de amostras de bioaerossóis. Arquivo de imagem. Disponível em: <https://storyset.com> Acesso em: 10 abr. 2022.

UNDERWOOD, E. The polluted brain. **Science**, v 355 (6323), p 342-345, 2017.

VAN LEUKEN, J. P. G., SWART, A. N., HAVELAAR, A. H., VAN PUL, A., VAN DER HOEK, W., HEEDERIK, D. Atmospheric dispersion modelling of bioaerosols that are pathogenic to humans and livestock – A review to inform risk assessment studies. **Microbial Risk Analysis**, v. 1, p. 19-39, 2016.

VON SPERLING, M. V. **Lodos ativados - Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte, UFMG, 2016.

VIEIRA, N. R. A. Poluição do ar Indicadores ambientais. **E-papers**. 1ª ed, Rio de Janeiro, 2009.

ZIELIŃSKI, W., KORZENIEWSKA, E., HARNISZ, M., DRZYMAŁA, J., EWA, E., BAJKACZ, S. Wastewater treatment plants as a reservoir of integrase and antibiotic resistance genes – An epidemiological threat to workers and environment, **Environment International**, v. 156, 2021.

**OS AUTORES**

**Luiz Vitor da Silva** é mestre em Ciências Ambientais pelo Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Ambiente (PPGTA) no Instituto Federal Catarinense (IFC 2023). Ele possui formação técnica em Química Industrial e é Engenheiro Ambiental e Sanitarista pela Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE 2020). Suas pesquisas se concentram em Engenharia Sanitária e Ambiental, com ênfase em coleta, transporte e tratamento de efluentes, bem como em aerobiologia, bactérias e genes de resistência a antibióticos e poluição atmosférica.

**André Luis Fachini de Souza** é professor no Instituto Federal Catarinense. Ele possui graduação em Química Industrial, licenciatura em Educação profissional e Tecnológica e Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia. Ele também possui mestrado e doutorado em Ciências (Bioquímica) pela Universidade Federal do Paraná e Pós-Doutorado (2010) no Departamento de Química e Ciências Biológicas da Universidade de Nova York (NYU). Suas pesquisas se concentram em Biotecnologia, com ênfase em biologia molecular e química de macromoléculas.

**Jéssica Caroline dos Santos Silva** é uma pesquisadora em Engenharia Ambiental, atualmente em estágio Pós-Doutoral no Programa de Engenharia Ambiental (PPGEA) da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Ela possui doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela UFPR, mestrado em Ciências (Energia Nuclear na Agricultura) na Área de Química na Agricultura e Ambiente no CENA/USP e graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE). Suas pesquisas incluem Poluição Atmosférica, Qualidade Ambiental e Tratamento Biológico de Efluentes.

**Sandro Augusto Rhoden** é professor no Instituto Federal Catarinense, biólogo formado pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Ele possui mestrado e doutorado em Biologia Comparada pela Universidade Estadual de Maringá, com ênfase em Genética Molecular e de micro-organismos. Possui também, Pós-doutorado em Ciências e Tecnologia Ambiental – Univali e Pós-doutorado em Saúde e Meio Ambiente – Univille. Atualmente professor do Mestrado em Tecnologia e Ambiente (PPGTA). Suas pesquisas se concentram em Bioprospecção de Fungos e Bactérias Endofíticas, além de projetos de ensino, pesquisa e extensão voltados a preservação e conservação ambiental.

O livro “Monitoramento de Bioaerossóis em Estações de Tratamento de Esgoto” é um guia prático para profissionais que trabalham em estações de tratamento de esgoto e que desejam entender e controlar a presença de bioaerossóis no ambiente de trabalho. Os bioaerossóis são partículas biológicas presentes no ar, como bactérias, fungos e vírus, que podem ter efeitos negativos na saúde dos trabalhadores da estação de tratamento de esgoto.

O livro aborda as principais fontes de bioaerossóis em estações de tratamento de esgoto, os métodos de amostragem e análise dessas partículas e os resultados de estudos científicos sobre a exposição dos trabalhadores a essas partículas. Também são apresentadas as principais medidas de controle que podem ser adotadas para reduzir a concentração de bioaerossóis no ambiente de trabalho.

Além disso, o livro inclui casos práticos de monitoramento de bioaerossóis em estações de tratamento de esgoto, com exemplos de coleta de amostras, análise dos resultados e recomendações para a melhoria da qualidade do ar na estação de tratamento.

Com uma abordagem clara e direta, o livro é uma leitura indispensável para profissionais que trabalham em estações de tratamento de esgoto e que desejam garantir um ambiente de trabalho seguro e saudável para os trabalhadores.



editora **IFC**



**Associação Brasileira  
das Editoras Universitárias**