

## IMPACTO AMBIENTAL POR BIOAEROSSOL EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS - ESTUDO DE CASO PRELIMINAR

### **Iara Regina Grilo Papais<sup>(1)</sup>**

Bacharela em Gestão Ambiental pela Universidade de São Paulo (USP). Mestranda em Sustentabilidade (USP). Técnica em gestão na Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

### **Regina Maura de Miranda<sup>(2)</sup>**

Bacharela em Física (UNICAMP), mestre em Geociências (UNICAMP) e doutora em Meteorologia (USP). Pós-doutora em poluição atmosférica (USP). Professora doutora da Universidade de São Paulo e na Faculdade de Saúde Pública da USP, linha de pesquisa Saúde Ambiental.

### **Fabio Luiz Teixeira Goncalves<sup>(3)</sup>**

Mestre em Ciências Biológicas (Botânica) (USP), doutor e Livre-docente em Meteorologia (USP). Professor MS\_5 nível 3 (USP).

### **Dulcilena de Matos Castro e Silva<sup>(4)</sup>**

Pesquisadora Científica do Instituto Adolfo Lutz de São Paulo. Mestre em Microbiologia. Doutora em Epidemiologia na Faculdade de Saúde Pública (USP) Mestrado em Ciências pelo Centro de Controle de Doenças de São Paulo.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Arlindo Bettio, 1000 - Ermelino Matarazzo - São Paulo - SP – 03828000 – Brasil - Tel: +55 (11) 972089818 – e-mail: [iarargp@usp.br](mailto:iarargp@usp.br)

## RESUMO

As Estações de Tratamento de Esgoto representam papel de suma importância na gestão de recursos hídricos e alguns inconvenientes são associados, como o odor e a emissão dos bioaerossóis. Tal emissão pode ser influenciada por fatores meteorológicos e, dependendo das concentrações encontradas, desempenham riscos à saúde dos trabalhadores e população do entorno. O presente trabalho recomenda a continuidade das coletas e análises, de forma a evidenciar o potencial risco à saúde.

**PALAVRAS-CHAVE:** Bioaerossol, tratamento de esgoto, contaminação do ar.

## INTRODUÇÃO

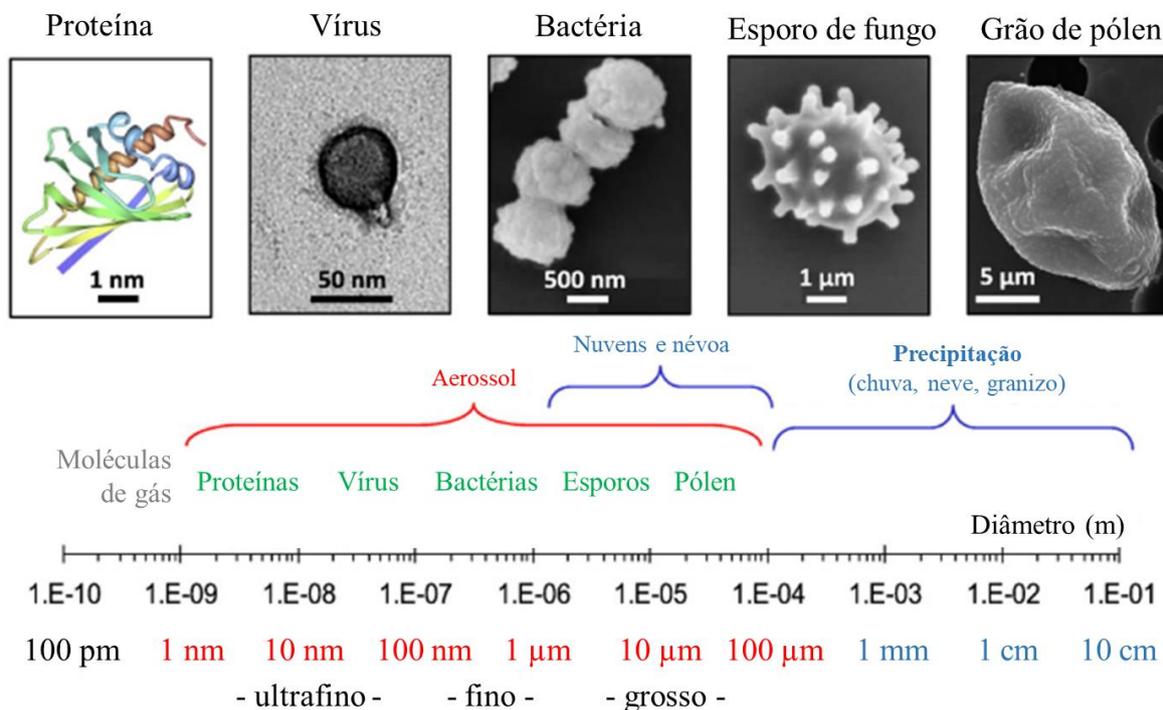
Bioaerossóis são suspensões gasosas de compostos de origem biológica com presença de fungos, bactérias, vírus, pólenes, detritos de plantas e seus subprodutos (endotoxinas, alérgenos e micotoxinas) (KOWALSKI et al., 2017; BRUNI et al., 2020).

As partículas têm mecanismos de transporte no ar, deposição em superfícies e dispersão de luz diferentes de acordo com seu tamanho. Estas propriedades são importantes tanto no seus efeitos quanto na detecção, movimento, densidade, forma, carga elétrica e quantidade de material transportado pela partícula. A forma do bioaerossol varia de estruturas esféricas a alongadas, a cadeias únicas ou agregados complexos. (FRÖHLICH-NOWOISKY et al., 2016)

Para entender o impacto dos microrganismos no ar, sua viabilidade, ou seja, sua capacidade de crescer e sobreviver, precisa ser avaliada. Podem desenvolver sistemas de proteção (estágios de repouso, pigmentação, biofilme e psicrotolerância) às condições adversas da atmosfera, como a exposição a radiação UV, temperatura, pressão de oxigênio, disponibilidade de água e nutrição líquida limitada (LÖNDAHL, 2014).

A produção dos bioaerossóis inclui uma variedade de processos, como explosão de bolhas, erosão, dispersão ativa e interação mecânica entre superfícies. Os bioaerossóis são mais abundantes na baixa atmosfera, na camada de limite planetária, afetando processos atmosféricos, como formação de gotículas de nuvens, cristais de gelo e precipitação, podendo afetar o ciclo hidrológico e propriedades físicas e químicas da atmosfera. A espessura da camada limite planetária varia dependendo da localização geográfica e estação do ano, medindo de algumas centenas de metros a 3 km. Os ciclos sazonais de radiação solar e temperatura estimulam a atividade biológica (LÖNDAHL, 2014).

Os diâmetros das partículas variam de nanômetros a cerca de décimo de milímetro, conforme explorado na figura 1, sendo que o limite superior da faixa de tamanho de partícula determina a sedimentação, ou seja, partículas maiores permanecem períodos menores no ar (FRÖHLICH-NOWOISKY et al., 2016)



**Figura 1: Características dos tamanhos das partículas atmosféricas e bioaerossóis. Adaptado de (FRÖHLICH-NOWOISKY et al., 2016)**

Os esporos têm um diâmetro aerodinâmico típico de 1,5 a 30 µm, e bactérias fúngicas, de 1 a 3 µm, tornando causa potencial de infecções devido seu pequeno tamanho (BRUNI et al., 2020).

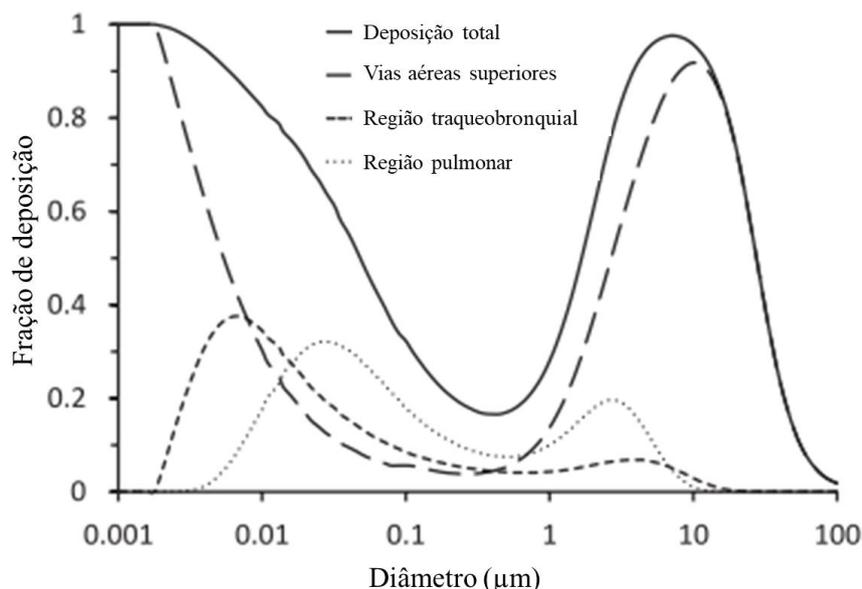
## EFEITOS DO BIOAEROSSOL NA SAÚDE

Os bioaerossóis têm papel fundamental na saúde e meio ambiente através de uma gama de processos, amplamente impactado pela atividade antropogênica (LÖNDAHL, 2014).

Por suas características, os bioaerossóis apresentam sério risco à saúde humana, principalmente às pessoas que ocupam locais de dispersão, como estações de tratamento de águas residuais, aterros, fazendas, criações e indústrias de alimentos, além da população vizinha a estas plantas. Estudos epidemiológicos mostram que a ocorrência de doenças de hipersensibilidade está associada à exposição a altas concentrações de microrganismos no ar (KOWALSKI et al., 2017).

Doenças infecciosas de humanos e animais, como antraz, febre aftosa, tuberculose, doença do legionário, influenza e sarampo podem se espalhar por vírus ou bactérias transportados pelo ar. A inalação de fungos patogênicos viáveis presentes no ar como *Aspergillus*, *Cryptococcus* e *Pneumocystis spp.* pode causar infecções invasivas (FRÖHLICH-NOWOISKY et al., 2016).

Partículas maiores que 0,5 µm são depositadas por sedimentação e impactação nas vias aéreas e as partículas menores atingem as vias aéreas inferiores por difusão (FRÖHLICH-NOWOISKY et al., 2016) conforme figura 2.



**Figura 2: Deposição das partículas inaladas no trato respiratório (LÖNDAHL, 2014)**

## BIOAEROSSOIS NAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS

As Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) têm um papel positivo em relação à proteção dos recursos naturais, como os hídricos (YANG et al., 2019), mas são fontes de diversos inconvenientes associados ao funcionamento, como ruído causado pela operação dos maquinários (sopradores, bombas, centrífugas, etc), odores desagradáveis, localização próxima a residências e os bioaerossóis (MICHALKIEWICZ, 2019).

A inalação, o contato dérmico e a ingestão dos bioaerossóis apresentam risco potencial à saúde das pessoas dentro e no entorno das ETEs, como infecções do trato respiratório, sintomas gastrointestinais, hipersensibilidade, micoses e alergias simples e infecções graves (YANG et al., 2019; HAN et al., 2020; PAŚMIONKA, 2020). Além do risco de exposição por inalação, há o risco por contato com a pele, sendo o primeiro 105 vezes maior (YANG et al., 2019).

Devido a presença de nutrientes e condições físico-químicas adequadas aos bioaerossóis, a sobrevivência no ar muda significativamente (PAŚMIONKA, 2020).

A mistura e aeração envolvidas no tratamento do esgoto formam e liberam o bioaerossol, com variação nas etapas, técnicas e processos envolvidos, variando as quantidades de bactérias e fungos emitidos (KOWALSKI et al., 2017), sendo observados em todas as etapas do tratamento (MICHALKIEWICZ, 2019). Os principais locais dispersores são a sala de desaguamento do lodo e as unidades de aeração (YANG et al., 2019). Michalkiewicz (2019) aponta que o gerenciamento do lodo e os biorreatores são as fontes mais notáveis de emissão, sendo os fungos microscópicos e bactérias psicrófilas e mesófilas os grupos mais abundantes. Dehghani et al. (2018) aponta níveis mais altos no tanque de aeração, na bomba de parafuso e no tanque seletor. Kowalski et al. (2017) apontam que a concentração e distribuição dependem do processo, parâmetros meteorológicos e tipo de esgoto tratado.

A concentração de bactérias nos bioaerossóis coletados varia de  $8 \times 10$  a  $6,9 \times 10^3$  unidades formadoras de colônia por metro cúbico (UFC/m<sup>3</sup>). Para os fungos, a concentração varia de  $5,1 \times 10^2$  a  $3,9 \times 10^3$  UFC/m<sup>3</sup> (Yang et al., 2019a).

## PARÂMETROS METEOROLÓGICOS

A composição química e fatores meteorológicos como umidade relativa (UR), radiação solar e temperatura estão correlacionados à sobrevivência dos microrganismos (CHAN; CHUNG; NG, 2019; HAN et al., 2020; TIAN et al., 2020) e à vulnerabilidade a secar (ABORAWASH; FOUAD; RADWAN, 2019). A dispersão do bioaerossol é

associada a temperatura, radiação solar, partículas suspensas totais (PST), direção, força e velocidade do vento e UR (ABORAWASH; FOUAD; RADWAN, 2019; HAN et al., 2020).

Muitos dos estafilococos são resistentes à secagem e morrem lentamente no ar, outros podem sobreviver nas roupas por até 130 dias, e por 7 dias no papel. *Salmonelas-typhi* sobrevivem 10 dias na poeira, 97 dias nas roupas e de 90 a 119 dias em uma árvore (ABORAWASH; FOUAD; RADWAN, 2019).

A UR aumenta a probabilidade de contaminação microbiológica, ventos mais fortes diluem as concentrações de partículas, e a poluição por PST é propícia para a persistência de certos patógenos no bioaerossol (HAN et al., 2020). Geralmente o aumento da intensidade da radiação solar reduz a concentração de bioaerossóis devido à sensibilidade biológica à esterilização pela radiação ultravioleta (UV) (TIAN et al., 2020).

Os produtos químicos também influenciam na composição dos bioaerossóis das ETes. Variações no carbono orgânico total (COT),  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{Cl}^-$  atuam como nutrientes para a existência, crescimento e sobrevivência de microrganismos (HAN et al., 2020).

Fatores meteorológicos tiveram impactos na população de bactérias e fungos no ar, sendo responsáveis por 25% da variabilidade de fungos, 27,8% da variabilidade de bactérias, e a composição química foi responsável por 15,9% de variabilidade de fungos e 19,3% da variabilidade de bactérias (HAN et al., 2020).

A diferença na concentração de bactérias e fungos entre as estações do ano indicam que a saúde dos trabalhadores que ficam dentro da planta por períodos prolongados pode estar em risco (DEHGHANI et al., 2018).

## EQUAÇÃO DE EXPOSIÇÃO

Uma ferramenta bem estabelecida no apoio à decisão nos campos de abastecimento de água, reutilização, recreação aquática e segurança alimentar é a avaliação quantitativa de risco microbiano, que pode ser aplicada à análise de riscos nos locais de trabalho com exposição a bioaerossóis (CARDUCCI et al., 2018). As taxas de exposição e avaliação de risco de bactérias transportadas pelo ar definem a dose diária (DD) tanto por inalação quanto por contato com a pele, conforme as equações 1 e 2 (YANG et al., 2019).

$$DD_{\text{inalada}} = \frac{C \times IR \times EF \times ED_{\text{inalada}}}{BW \times AT} \quad \text{Equação 1}$$

$$DD_{\text{contato}} = \frac{C \times SA \times ABS \times AF \times EF \times ED_{\text{contato}}}{BW \times AT} \quad \text{Equação 2}$$

onde  $DD_{\text{inalada}}$  e  $DD_{\text{contato}}$  representam as doses diárias médias de exposição e por contato com a pele [UFC/(kg.d)]. C é a concentração bacteriana no ar (UFC/m<sup>3</sup>); IR é a taxa de inalação (m<sup>3</sup>/d); EF é a frequência de exposição (d/ano);  $ED_{\text{inalada}}$  e  $ED_{\text{contato}}$  são a duração da exposição por inalação e contato com a pele (ano); SA é a área da superfície de contato com a pele (m<sup>2</sup>); ABS é o fator de absorção dérmica (m/h); AF é o fator de aderência da pele; BW é o peso corporal (kg); e AT é a vida útil média (d).

Os parâmetros utilizados na taxa de dose e avaliação de risco estão expressos na tabela 1.

**Tabela 1: Parâmetros da taxa de dose e avaliação de risco**

Parâmetro	Unidade	Valores		
		Homem	Mulher	Criança
Taxa de inalação	m <sup>3</sup> /dia	17,7	14,5	7,6
Frequência de exposição	dia/ano	250	250	250
Duração da exposição	ano	25	25	6
Área de superfície de contato com a pele	m <sup>2</sup>	0,2	0,2	0,115
Fator de absorção dérmica	m/h	0,001	0,001	0,001
Fator de aderência da pele		0,07	0,07	0,2
Peso corporal	kg	66,1	57,8	19,6
Vida útil média	dia	72,38 x 365	77,37 x 365	12 x 365

Adaptado de (YANG et al., 2019)

## OBJETIVOS

O presente trabalho objetiva subsidiar a avaliação dos efeitos dos bioaerossóis na saúde dos trabalhadores de ETE e apresentar quantificação e influência dos fatores meteorológicos, além de demonstrar a importância no monitoramento destas emissões.

## METODOLOGIA

Após revisão bibliográfica acerca dos temas propostos, foi realizada coleta preliminar em ETE de grande porte situada na Região Metropolitana de São Paulo, que atende a 6 cidades, em uma bacia de esgotamento de 366 km<sup>2</sup>, atendendo mais de 187000 ligações. Esta ETE utiliza tratamento biológico com lodo ativado, apresentando eficiência de cerca de 95% da carga orgânica, utilizando rio de classe 3 como corpo receptor. Tem a capacidade de operar com 1,5m<sup>3</sup>/s, atuando em aproximadamente 60% da capacidade, com carga industrial de aproximadamente 5%. Conta com 60 funcionários nas suas atividades (SABESP, 2020).

As coletas foram realizadas no dia 29 de novembro de 2019, com o equipamento de amostragem de ar MAS-100 NT®, utilizando placas petri.

O primeiro ponto de coleta (1) está localizado ao lado do tanque de aeração 4 – corredor ao Aerador Mecânico Superficial (AMS) 17 conforme apresentado na figura 3. Esta amostra foi coletada às 11h10.



**Figura 3: Ponto de coleta 1 e tanque de aeração. Fonte: a autora**

Os próximos 4 pontos foram distribuídos a cada 20 m a partir do ponto 1. O croqui é apresentado na figura 4.



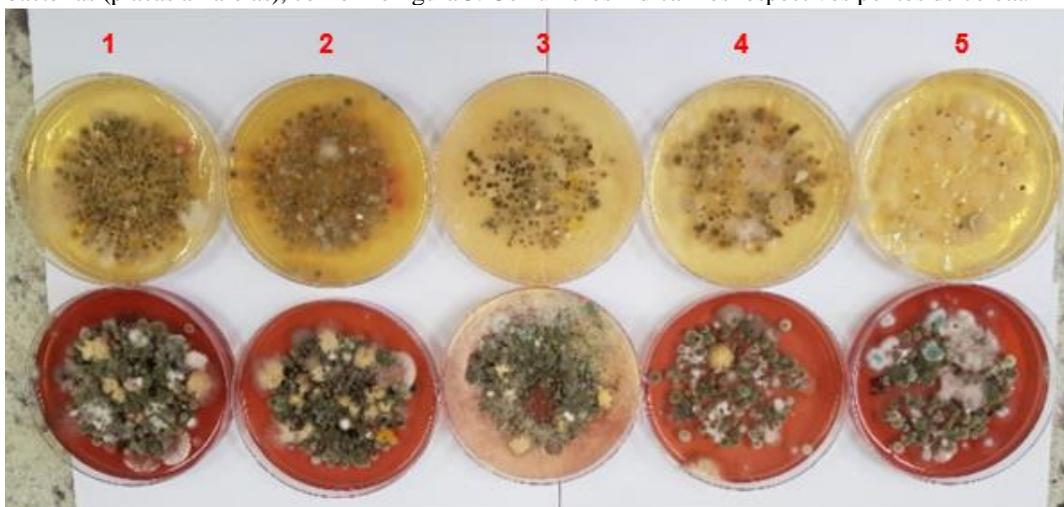
**Figura 4: Croqui dos pontos de coleta. Adaptado do Google maps.**

Todas as amostras foram identificadas e devidamente alocadas em recipiente térmico para manutenção de suas características.

A temperatura na data da visita e coleta era de 24°C, dentro das médias mínima e máxima. O céu permaneceu parcialmente nublado. A última amostra foi coletada às 11h27.

## RESULTADOS PARCIAIS OBTIDOS

Após três dias da coleta (02/12/19), as amostras apresentaram crescimento acentuado de fungos (placas vermelhas) e bactérias (placas amarelas), conforme figura 5. Os números indicam os respectivos pontos de coleta.



**Figura 5: Amostras no terceiro dia. Fonte: a autora**

As próximas amostragens ocorrerão em diferentes estações do ano, verão e inverno, e serão analisadas utilizando o método MALDI-TOF, aplicação de espectrometria de massa e microbiologia. (PASTERNAK, 2012)

## CONCLUSÃO

O presente trabalho destaca a importância da abordagem multidisciplinar na avaliação dos bioaerossóis, e sua importância para as tomadas de decisão acerca da saúde dos trabalhadores de ETEs. Bibliografia e resultados preliminares evidenciam alto crescimento das culturas coletadas e mostram a importância da continuidade do trabalho em diferentes estações do ano para se avaliar a possível influência das condições meteorológicas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABORAWASH, S.; FOUAD, M.; RADWAN, K. *EFFECT OF PLANTS , SHADING AND SOLAR RADIATION ON BIOAEROSOL* IN. n. *March*, p. 11–19, 2019.
2. BRUNI, E. et al. *Evaluation of bioaerosol bacterial components of a wastewater treatment plant through an integrate approach and in vivo assessment*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 17, n. 1, p. 1–20, 2020.
3. CARDUCCI, A. et al. *Quantitative microbial risk assessment for workers exposed to bioaerosol in wastewater treatment plants aimed at the choice and setup of safety measures*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 15, n. 7, 2018.
4. CHAN, W. L.; CHUNG, W. T.; NG, T. W. *Airborne survival of escherichia coli under different culture conditions in synthetic wastewater*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 16, n. 23, 2019.
5. DEGHANI, M. et al. *Seasonal variation in culturable bioaerosols in a wastewater treatment plant*. *Aerosol and Air Quality Research*, v. 18, n. 11, p. 2826–2839, 2018.
6. FRÖHLICH-NOWOISKY, J. et al. *Bioaerosols in the Earth system: Climate, health, and ecosystem interactions*. *Atmospheric Research*, v. 182, p. 346–376, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.07.018>>.
7. HAN, Y. et al. *Characteristics and interactions of bioaerosol microorganisms from wastewater treatment plants*. *Journal of Hazardous Materials*, v. 391, n. *February*, p. 122256, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122256>>.
8. KOWALSKI, M. et al. *Characteristics of airborne bacteria and fungi in some Polish wastewater treatment plants*. *International Journal of Environmental Science and Technology*, v. 14, n. 10, p. 2181–2192, 2017.
9. LÖNDAHL, J. *Bioaerosol Detection Technologies*. *Bioaerosol Detection Technologies*, n. *January*, p. 41–42, 2014. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/978-1-4419-5582-1>>.
10. MICHALKIEWICZ, M. *Wastewater treatment plants as a source of bioaerosols*. *Polish Journal of Environmental Studies*, v. 28, n. 4, p. 2261–2272, 2019.
11. PAŚMIONKA, I. *Evaluation of microbiological quality of atmospheric air in a selected sewage treatment plant in Lesser Poland*. *Aerobiologia*, n. *January*, 2020.
12. PASTERNAK, J. *New methods of microbiological identification using MALDI-TOF*. *Einstein (São Paulo, Brazil)*, v. 10, n. 1, p. 118–119, 2012.
13. SABESP. **Relatório de Sustentabilidade 2019**. [s.l: s.n.].
14. TIAN, J. han et al. *Real time detection and characterisation of bioaerosol emissions from wastewater treatment plants*. [s.l.] Elsevier B.V, 2020. v. 721
15. YANG, K. et al. *Airborne bacteria in a wastewater treatment plant: Emission characterization, source analysis and health risk assessment*. *Water Research*, v. 149, n. *November*, p. 596–606, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.11.027>>.