

# Estratégias para detecção, espacialização e controle de odores em estações de tratamento de esgoto

*Strategies for detection, spatialization and control of odors in sewage treatment plants*

Emanuel Manfred Freire Brandt<sup>1\*</sup> , Cristiano Lisboa de Andrade<sup>2</sup>, Lucas Antônio Brasil G. Lacerda<sup>3</sup> ,  
Thiago Bressani Ribeiro<sup>4</sup> , Carlos Augusto de Lemos Chernicharo<sup>5</sup> 

## RESUMO

O monitoramento e o controle de emissões odorantes em estações de tratamento de esgoto (ETEs) são fundamentais para a garantia do bem-estar dos trabalhadores e da população vizinha. Nessa linha, este estudo buscou contribuir com a apresentação e a avaliação de diferentes técnicas para a detecção e a espacialização dos odores e do H<sub>2</sub>S, tomando por base um trabalho de investigação realizado em uma ETE em escala plena (Q<sub>média</sub> = 174 L/s) composta por reatores UASB e pós-tratamento por filtros biológicos percoladores, em que tais técnicas foram empregadas para a definição de medidas de controle de odores. Foram definidos pontos de monitoramento em fontes emissoras e na comunidade de entorno para a medição das intensidades dos odores (por olfatomia dinâmica de campo) e das concentrações de H<sub>2</sub>S (por medidores portáteis). A partir do monitoramento, realizou-se a modelagem da dispersão atmosférica dos odores considerando-se o uso do software AERMOD e da técnica de calibração de modelagem reversa. Embora o monitoramento dos odores e do H<sub>2</sub>S tenha indicado níveis associados a incômodos em um ponto da área de estudo, ele não foi capaz de mostrar toda a abrangência da área suscetível aos incômodos. A modelagem se mostrou como uma ferramenta mais apropriada para a espacialização das áreas suscetíveis aos incômodos causados pelos odores emitidos pela ETE, permitindo inclusive a avaliação da eficácia dos cenários com proposições de medidas de controle. No entanto, o monitoramento realizado em campo foi fundamental para a obtenção das taxas de emissão que alimentaram e validaram o modelo.

**Palavras-chave:** odor; olfatomia; sulfeto de hidrogênio; modelagem; reator UASB.

## ABSTRACT

Monitoring and controlling odorous emissions in sewage treatment plants (STP) are essential to guarantee the well-being of workers and neighboring population. In that sense, the study sought to contribute with the presentation and evaluation of different techniques for the detection and spatialization of odors and H<sub>2</sub>S, based on an investigation carried out in a full-scale STP (174 L/s) containing UASB reactors and post-treatment by trickling filters, in which such techniques were used to define odor control measures. Monitoring points were defined at emitting sources and in the surrounding community to measure odor intensities (by dynamic field olfactometry) and H<sub>2</sub>S concentrations (by portable meters). Based on the monitoring, the atmospheric dispersion of odors was modeled using AERMOD software and a calibration technique known as reverse modeling. Although the monitoring of odors and H<sub>2</sub>S indicated levels associated with nuisance at a specific point in the surrounding area, it was not able to show the entire range of the area susceptible to nuisance. Modeling proved to be a more appropriate tool for the spatialization of areas susceptible to the nuisance caused by the odors emitted by the STP, even allowing the evaluation of the effectiveness of the scenarios with proposed control measures. However, the monitoring carried out in the field was essential to obtain the emission rates that fed and validated the model.

**Keywords:** odor; olfactometry; hydrogen sulfide; modeling; UASB reactor.

<sup>1</sup>Químico Industrial pela Universidade Federal de Ouro Preto. Mestre e Doutor em Saneamento Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais. Diretor técnico na Brandt Meio Ambiente. Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Juiz de Fora - Belo Horizonte (MG), Brasil.

<sup>2</sup>Geógrafo pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Especialista em Avaliação de Impactos Ambientais pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais e em Geoprocessamento e Meio Ambiente pelo Centro Universitário de Belo Horizonte. Analista de Meio Ambiente Líder do Setor de Monitoramentos e Modelagens Ambientais na Brandt Meio Ambiente - Belo Horizonte (MG), Brasil.

<sup>3</sup>Geógrafo pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Especialista em Geoprocessamento e Análise Espacial pela PUC-MG e Mestre em Modelagem de Sistemas Ambientais pela Universidade Federal de Minas Gerais. Analista de Meio Ambiente líder do Setor de Geointeligência na Brandt Meio Ambiente - Belo Horizonte (MG), Brasil.

<sup>4</sup>Engenheiro Ambiental pela Universidade Fumec. Mestre e Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais. Doutor em Engenharia de Bioprocessos pela Ghent University (Bélgica). Sócio-Diretor da Chernicharo & Bressani Consultoria e Capacitação em Saneamento. Diretor do Centro de Referência em ETEs Sustentáveis - Belo Horizonte (MG), Brasil.

<sup>5</sup>Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais. Doutorado em Engenharia Ambiental pela Universidade de Newcastle e Pós-Doutorado pela Universidade de New South Wales. Professor Titular aposentado da UFMG. Foi Coordenador do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgoto. Atualmente é Sócio-Diretor da Chernicharo & Bressani Consultoria e Capacitação em Saneamento e do Centro de Referência em ETEs Sustentáveis - Belo Horizonte (MG), Brasil

\*Endereço para correspondência: Alameda do Ingá, 89 - Vale do Sereno. Nova Lima, MG. CEP: 34006-042. e-mail: ebrandt@brandt.com.br

## 1. INTRODUÇÃO

O monitoramento e o controle de emissões odorantes em estações de tratamento de esgoto (ETEs) são fundamentais para garantir o bem-estar dos trabalhadores e da população vizinha. Considerando-se que alguns gases odorantes são também corrosivos, essas medidas apresentam ainda o potencial de redução de gastos operacionais com a manutenção de estruturas e equipamentos (BRANDT *et al.*; 2018, 2019). Existem diversos procedimentos para amostragem e análise dos odores ou gases causadores dos odores (BOCKREIS e STEINBERG, 2005; LAOR, PARKER e PAGÉ, 2014). Em linhas gerais, as técnicas de medição de odores são divididas em (BRANCHER *et al.*; 2017): (i) análises sensoriais, ou olfatométricas (medida direta dos odores), as quais empregam o olfato humano e são utilizadas para medir os efeitos que os odores produzem quando são percebidos; e (ii) análises químicas, usadas para determinar a composição química dos odores, por meio da quantificação dos principais compostos odorantes presentes em uma amostra. Considerando-se que os odores potencialmente emitidos pelas ETEs estão relacionados a inúmeros compostos químicos, as técnicas sensoriais ou olfatométricas são consideradas mais apropriadas, já que as determinações químicas dos compostos individuais (por cromatografia gasosa ou medidores portáteis, por exemplo) são insuficientes para identificar as propriedades odorantes sinérgicas dos compostos, embora possam ser usadas para complementar a interpretação das medições olfatométricas.

A norma da comunidade europeia EN 13.725:2003 (CEN, 2003) é utilizada como método de referência para determinar as concentrações de odores em ambientes. A EN 13725:2003 indica o uso da técnica de olfatometria dinâmica, a qual fornece resultados de intensidade de odor na unidade UOE/m<sup>3</sup> (unidade de odor europeia por metro cúbico de ar). Na norma europeia, uma UOE está associada a uma concentração específica de um composto odorante de referência certificado (n-butanol). A massa de odor de referência europeia (European Reference Odour Mass — EROM) definida para o n-butanol é equivalente a 123 µg, o que significa que 1 EROM evaporado em 1 m<sup>3</sup> de gás leva a uma concentração de 0,040 µmol/mol

(40 ppbv — partes volumétricas por bilhão). Assim, a EN 13.725:2003 considera que 1 UOE/m<sup>3</sup> corresponde a uma concentração equivalente de 40 ppbv ou 123 µg de n-butanol (1 EROM) evaporado em 1 m<sup>3</sup> de ar inodoro em condições padrão (20 °C e 1 atm) (CEN, 2003).

Nos EUA, a olfatometria segue a metodologia descrita na norma ASTM E679-04 (ASTM, 2011), cuja concentração de odores é dada pela taxa de diluição (dilutions-to-threshold ou D/T) em avaliações de campo ou pela unidade UO/m<sup>3</sup> em avaliações de laboratório. A D/T consiste na razão de diluição do ar odorante necessária para que o odor atinja seu limite de detecção e se torne imperceptível ao receptor. Quanto maior a diluição necessária, maior a intensidade do odor. Conceitualmente, 1 UOE/m<sup>3</sup> pode ser considerada equivalente a 1 D/T, pois essas unidades de concentração de odores são todas determinadas usando padrões baseados no conceito de limiar de detecção olfativa (ASTM, 2011; CEN, 2003). Assim como o padrão americano, o padrão europeu de olfatometria é baseado no princípio da diluição até o limite olfativo.

Embora os procedimentos para a medição de odores estejam bem sistematizados pelas citadas normas internacionais, a avaliação e a mitigação dos impactos das emissões odorantes são bem mais complexas, seguindo em geral uma ou mais das seguintes abordagens (BRANCHER *et al.*; 2017): (i) avaliação direta ou modelagem da concentração dos odores no ambiente ou das concentrações de compostos químicos individuais e comparação com valores máximos permitidos; (ii) estabelecimento de distâncias mínimas entre as fontes emissoras e os receptores dos odores; (iii) fixação de padrões máximos para as emissões de odores ou de compostos odorantes; (iv) avaliação do número de reclamações da população no entorno da fonte emissora (ex.: por meio de estudos de percepção de odores ou canal aberto à população) e comparação com um número máximo permitido de reclamações; (v) exigência do uso de boas práticas e/ou de tecnologias para controle das emissões odorantes.

Até o momento, o Brasil não dispõe de instrumentos regulatórios específicos que fixem critérios para a avaliação dos impactos dos odores ou fixem limites legais/valores-alvo para compostos causadores de odores, ainda que

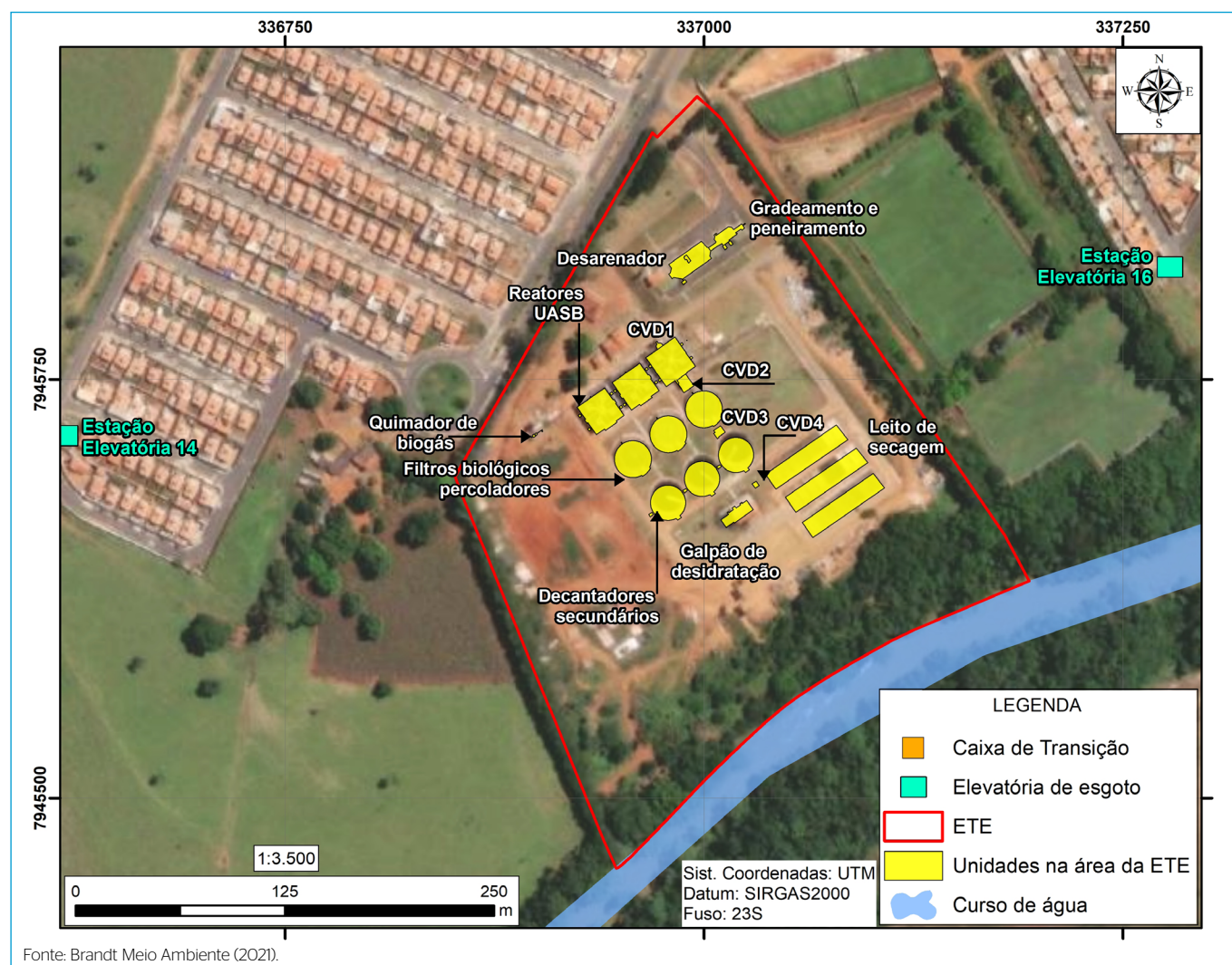
existam tentativas de regulamentação da questão dos odores em alguns estados brasileiros (PR, SP e PA) (BRANCHER *et al.*; 2017). Em países da Europa, na Austrália, na Nova Zelândia, em Israel e na Colômbia, os limites legais são baseados em séries temporais de concentrações teóricas de odores no ambiente, calculadas por meio de modelos matemáticos de dispersão atmosférica (BRANCHER *et al.*; 2017; PIRINGER *et al.*; 2015; SCHAUBERGER *et al.*; 2012). Por outro lado, países como os Estados Unidos da América (EUA), o Panamá e a Coréia do Sul fixam limites legais baseados exclusivamente nas medições diretas das concentrações dos odores no ambiente, por meio da técnica da olfatométrica dinâmica (BRANCHER, 2017; MCGINLEY e MCGINLEY, 2014; KMOE, 2008). Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo geral o uso de diferentes

técnicas para a identificação das fontes odorantes e a espacialização dos odores e do  $H_2S$  na região de entorno de uma ETE em escala plena ( $Q_{média} = 174 \text{ L/s}$ ), assim como o uso de tais técnicas para a definição de medidas de controle que melhor se ajustassem ao projeto e ao contexto de inserção da ETE.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Área de estudo

O *layout* geral da ETE estudada é apresentado na **Figura 1**, compreendendo as seguintes unidades principais: tratamento preliminar, reatores *upflow anaerobic sludge blanket* (UASB), filtros biológicos percoladores (FBPs) e decantadores secundários, desidratação mecanizada (por



**Figura 1** - Identificação das unidades da estação de tratamento de esgoto.

centrífuga) e natural (por leitos de secagem). As unidades são alimentadas a partir de caixas distribuidoras de vazão (CDVs). À exceção da desidratação mecanizada, todas as demais unidades da ETE são abertas à atmosfera.

## 2.2. Monitoramento dos odores e do H<sub>2</sub>S

Para as medições em campo, foram escolhidos 23 pontos de amostragem em fontes emissoras e na comunidade do entorno (**Figura 2**). No caso das fontes emissoras, alocou-se um ponto em cada unidade do fluxograma do tratamento e em cada caixa divisora de vazão entre as unidades do tratamento. No caso da comunidade do entorno, foram alocados pontos nas ruas imediatamente adjacentes à ETE e no perímetro extremo do bairro reclamante. Para as ruas adjacentes, considerou-se um espaçamento de 200 m entre os pontos. Já no perímetro extremo, considerou-se um espaçamento de aproximadamente 500 m entre os pontos. Também foram definidos pontos nos limites da propriedade da ETE e nas elevatórias de esgoto bruto existentes nas cercanias. Pela impossibilidade de acesso, não foram definidos pontos na área rural localizada na porção sul/sudeste do mapa.

No total, foram consideraram-se 10 dias de amostragem, visando obter um número representativo de medições (entre 15 e 20 medições em cada ponto amostral). Por questões logísticas, o período foi dividido em duas campanhas, cada uma compreendendo 5 dias de monitoramento (de segunda-feira a sexta-feira), sendo uma realizada em junho de 2021 e outra em agosto de 2021. Os meses de junho e agosto foram escolhidos por apresentarem características meteorológicas que não favorecem uma boa dispersão dos gases odorantes, podendo aumentar a percepção de odor pela população. Nessa época do ano, é comum ocorrer uma maior incidência de eventos de inversão térmica, além do aumento da estabilidade atmosférica. No entanto, vale notar que o período de monitoramento não é um fator limitante para o entendimento da questão dos odores na região da ETE, uma vez que os dados das medições diretas de odores são usados apenas para a calibração do modelo matemático, o qual fornece respostas para toda a sazonalidade meteorológica da região.

Em cada campanha, realizaram-se 9 ciclos de medições olfatométricas em todos os 23 pontos amostrais, abrangendo de forma aleatória os períodos diurno, vespertino ou noturno. Não foram registradas precipitações pluviométricas nos dias de amostragem e anteriores à amostragem. Para o monitoramento olfatométrico, foi utilizado o equipamento Nasal Ranger® (St. Croix Sensory, EUA), seguindo os procedimentos do fabricante e as normas EN 13.725:2003 (CEN, 2003) e ASTM E679-04 (ASTM, 2011), apresentando os resultados em UOE/m<sup>3</sup> (unidades de odor europeia). Complementarmente, realizaram-se medições diretas de H<sub>2</sub>S por meio de dois equipamentos distintos: i) Jerome® 631-X, para a detecção de H<sub>2</sub>S na faixa de 0,003 a 50 ppm; e ii) OdaLog, para medição de H<sub>2</sub>S na faixa entre 1 e 2.000 ppm.

Com os resultados das medições de intensidade de odores em campo, foram construídos os mapas de isoconcentração de odores. Para isso, considerou-se o uso da ferramenta de interpolação de dados inserida no software ArcMap. Tendo como referência o número de pontos espacializados e a abrangência na área de análise, o interpolador mais adequado foi o IDW (ponderação de distância inversa). Assim, considerou-se que a influência de um ponto de entrada em um valor interpolado é isotrópica. As plumas geradas representaram, portanto, a estimativa das concentrações de odor a partir da intensidade em relação à distância e da distância em relação aos pontos amostrais.

## 2.3. Modelagem da dispersão atmosférica dos odores

Para a modelagem atmosférica, utilizou-se um modelo baseado na equação da pluma gaussiana. O modelo foi construído utilizando o software AERMOD View 9.9, da Lakes Environmental Software Inc. Foram utilizadas bases topográficas atualizadas de modelagem de terreno SRTM com curvas de 30 m provenientes do sistema cartográfico interno disponibilizado pela Lakes através do pré-processador topográfico AERMAP. Já a base de dados meteorológicos foi manipulada por meio do pré-processador AERMET, utilizado para a estimativa de parâmetros da camada limite atmosférica, como cobertura de nuvens, temperatura de bulbo seco, umidade relativa, pressão





Fonte: Brandt Meio Ambiente (2021).

**Figura 2** - Pontos de medição de odores e H<sub>2</sub>S.

atmosférica, direção e velocidade dos ventos, precipitação pluviométrica e radiação solar. No pré-processador, foram utilizadas as bases de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) ou do modelo Weather Research & Forecasting — WRF, conforme discutido a seguir. Foi definida uma área de modelagem com aproximadamente 36 km<sup>2</sup> e 441 pontos receptores. Esses pontos receptores foram distribuídos numa malha com espaçamento de cerca de 290 × 290 m.

Na modelagem atmosférica, foi utilizada a técnica denominada modelagem reversa da dispersão atmosférica, que em linhas gerais consiste em (CAPELLI e SIRONI, 2018; MALHEIROS *et al.*; 2016): (i) simulações de modelagens com diferentes taxas de emissão assumidas aleatoriamente e iguais para todas as fontes, e comparação das plumas do modelo com aquelas medidas no campo, até a obtenção de uma distribuição espacial semelhante. Nesse caso, a base de dados meteorológicos do modelo deve compreender o mesmo período das medições realizadas no campo e, neste estudo, foi utilizado o banco de dados meteorológicos horários do INMET; (ii) determinação da taxa individual de cada fonte a partir da ponderação da taxa total calculada anteriormente pelas concentrações máximas medidas nas fontes em campo; (iii) modelagem final considerando as taxas individuais anteriores e três anos de dados meteorológicos, neste estudo obtidos pelo WRF (2018 a 2020).

No caso do banco de dados do INMET utilizado para a calibração do modelo na etapa preliminar de modelamento,

realizou-se uma análise sobre a consistência dos dados dentro do intervalo selecionado (o mesmo dos dias de monitoramento olfatométrico). Trata-se de dados horários de diversos parâmetros, totalizando cerca de 240 linhas de informação, nas quais não foram verificadas falhas ou ausências que pudessem prejudicar a simulação pretendida.

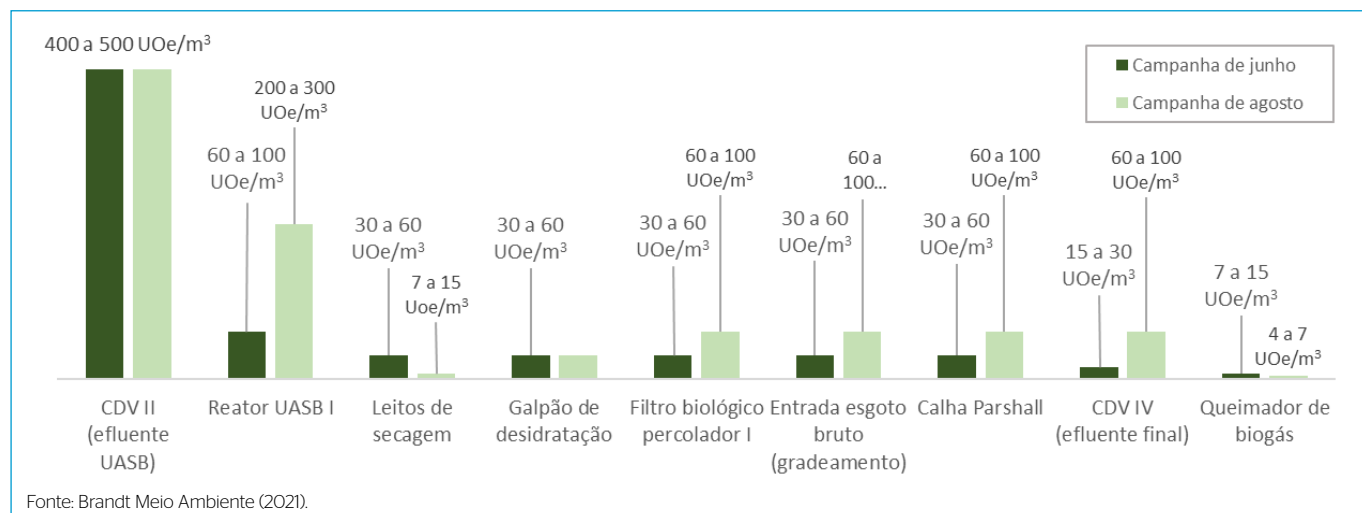
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Monitoramento dos odores e do H<sub>2</sub>S

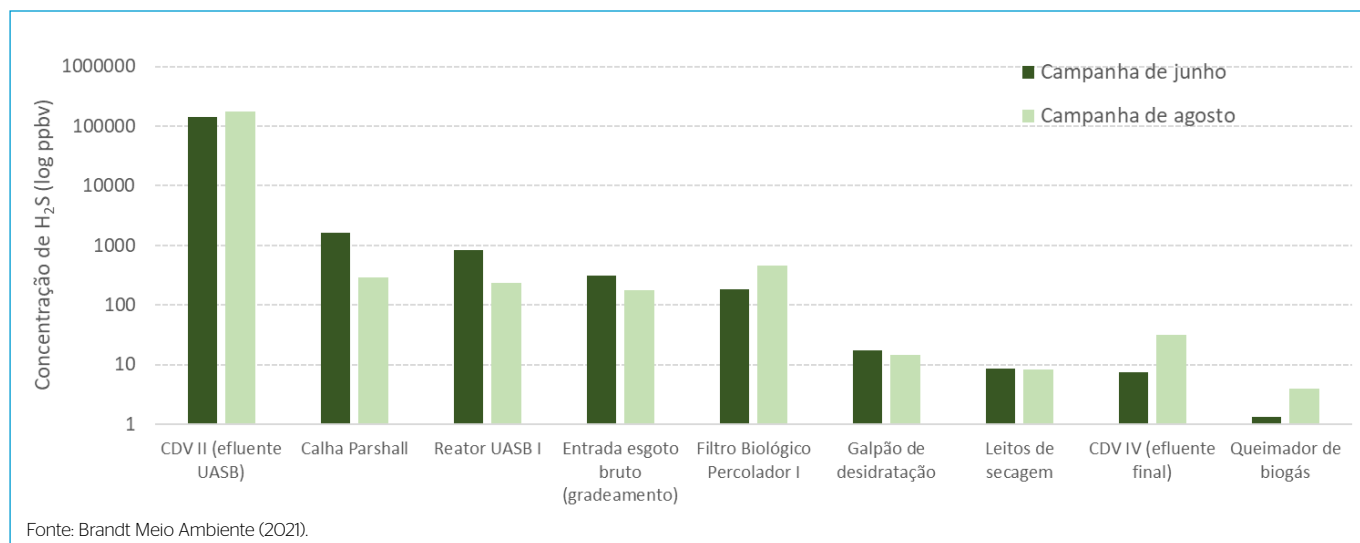
As **Figuras 3 e 4** mostram, respectivamente, as concentrações máximas de odores e de H<sub>2</sub>S nas proximidades das fontes emissoras. Como as medições olfatométricas são realizadas em uma escala discreta de diluições seriadas, os resultados das concentrações de odores (em UOe/m<sup>3</sup>) devem ser expressos em uma faixa compreendida entre a diluição da detecção do odor e a diluição anterior. Portanto, a unidade de odor é uma medida discreta, e não contínua.

Avaliando as medições nas fontes de emissão, as maiores intensidades de odores e de H<sub>2</sub>S foram detectadas na CDV II (reunião dos efluentes dos reatores UASB) e nas canaletas de coleta de efluente dos próprios reatores. Esses resultados podem ser explicados pela presença de gases dissolvidos nos efluentes dos reatores, incluindo o H<sub>2</sub>S (BRANDT *et al.*; 2018, 2019).

Já a **Figura 5** mostra o mapa de isoconcentração com os resultados do monitoramento olfatométrico da primeira campanha, considerando uma pluma com as



**Figura 3** – Concentrações máximas de odores nas fontes emissoras da estação de tratamento de esgoto.



**Figura 4 -** Concentrações máximas de  $H_2S$  nas fontes emissoras da estação de tratamento de esgoto. Eixo Y em escala logarítmica.

intensidades máximas dos odores mensurados em uma semana completa de monitoramento. Na vizinhança, os valores variaram de “não detectado” a “menor que 7 UOE/ $m^3$ ”. Embora perceptíveis ao olfato humano, em geral, os odores se apresentaram inferiores aos limites internacionais usados como referência para incômodos, exceto para a região da rotatória a oeste da divisa com a ETE, onde foram registrados valores acima do estabelecido em determinadas localidades nos EUA (ex.: São Francisco — 5 UOE/ $m^3$ ) (McGINLEY e McGINLEY, 2014). Embora os resultados do monitoramento do  $H_2S$  não estejam representados na **Figura 5**, vale pontuar que, se considerado todo o conjunto dos pontos monitorados na comunidade, apenas aquele localizado na referida rotatória apresentou concentrações de  $H_2S$  superiores ao limite de percepção humana (8 ppbv).

### 3.2. Modelagem da dispersão atmosférica dos odores

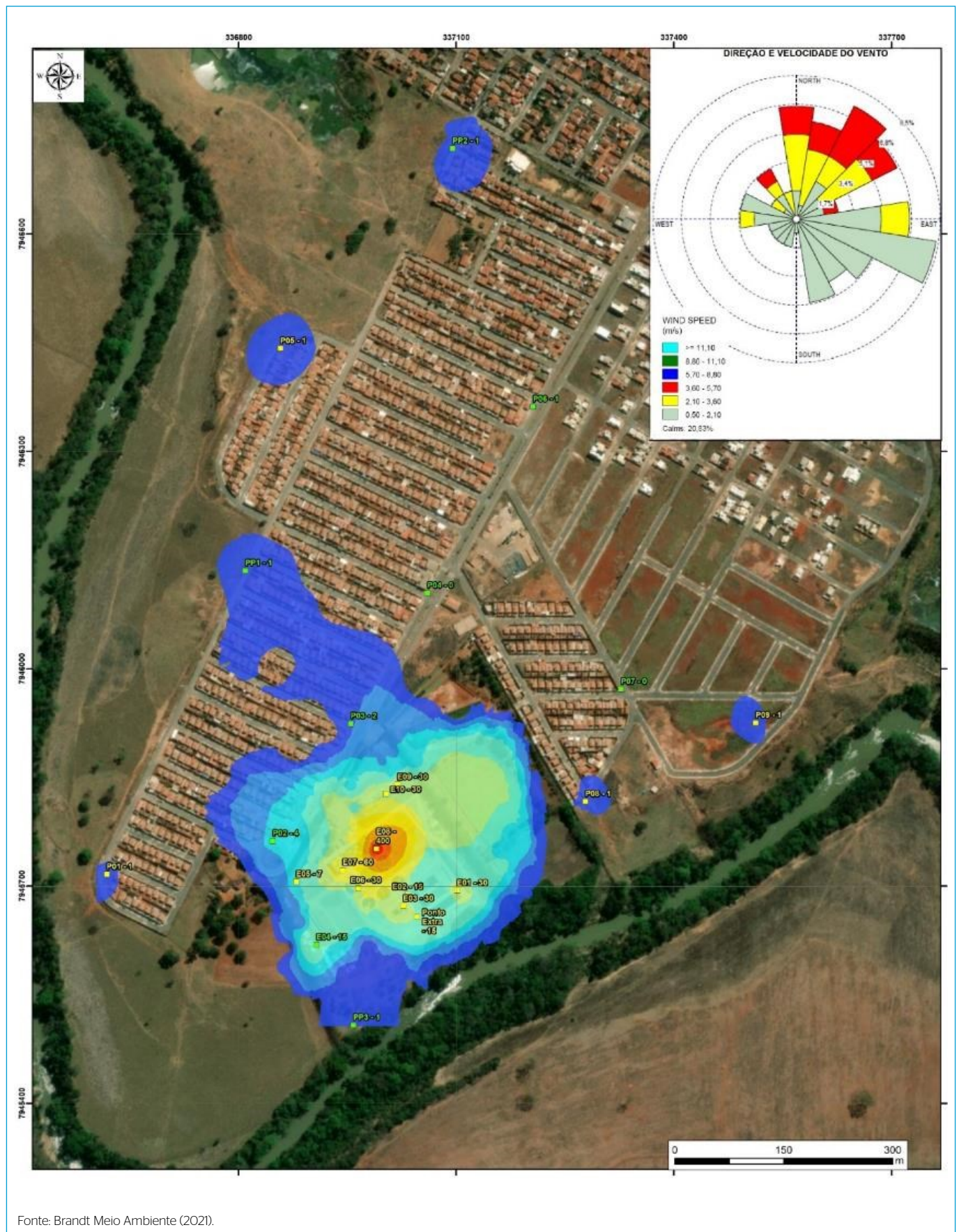
Utilizando-se do banco de dados meteorológicos do INMET para o período das duas campanhas de monitoramento, realizaram-se simulações para calibração do modelo de dispersão de odores por modelagem reversa. As plumas das concentrações máximas obtidas na modelagem reversa (**Figuras 6 e 7**) se ajustaram perfeitamente aos resultados mensurados em campo (**Figura 5**), validando as taxas de emissão de odores obtidas pelo método. Conforme já citado, as avaliações de campo ocorreram entre os meses de junho e agosto, em duas campanhas de 5 dias cada.

Trata-se de um período com características climatológicas mais estáveis em relação à precipitação e principalmente às temperaturas. Nessa época do ano (período seco e de temperaturas mais amenas), fatores como intensidade dos ventos e ocorrência de eventos de inversão térmica podem desempenhar papel mais relevante na dispersão e percepção do odor local. As temperaturas durante o período das atividades variaram em uma amplitude térmica esperada dentro da climatologia padrão regional, sem interferência relevante no processo das avaliações.

Os dados apresentados na **Tabela 1** mostram as taxas de emissão de odores calculadas pelo método, as quais posteriormente foram utilizadas na modelagem final considerando o banco de dados meteorológicos completo da WRF e na modelagem do cenário com aplicação de medidas mitigadoras para a redução de odores. Vale destacar que as taxas de emissão obtidas no presente estudo estiveram na mesma ordem de grandeza de estudos similares (VARELA-BRUCÉ e ANTILEO, 2021).

Finalmente, a **Figura 8** mostra a pluma de dispersão de odores obtida na modelagem final para as concentrações do percentil 99,5 observadas no período de dados meteorológicos de três anos. Pelas características da pluma de dispersão, nota-se que a condição predominantemente plana local, sem a presença de formações de relevo mais acidentadas, demonstrou maior influência nos resultados de fatores associados à direção e velocidade dos ventos.

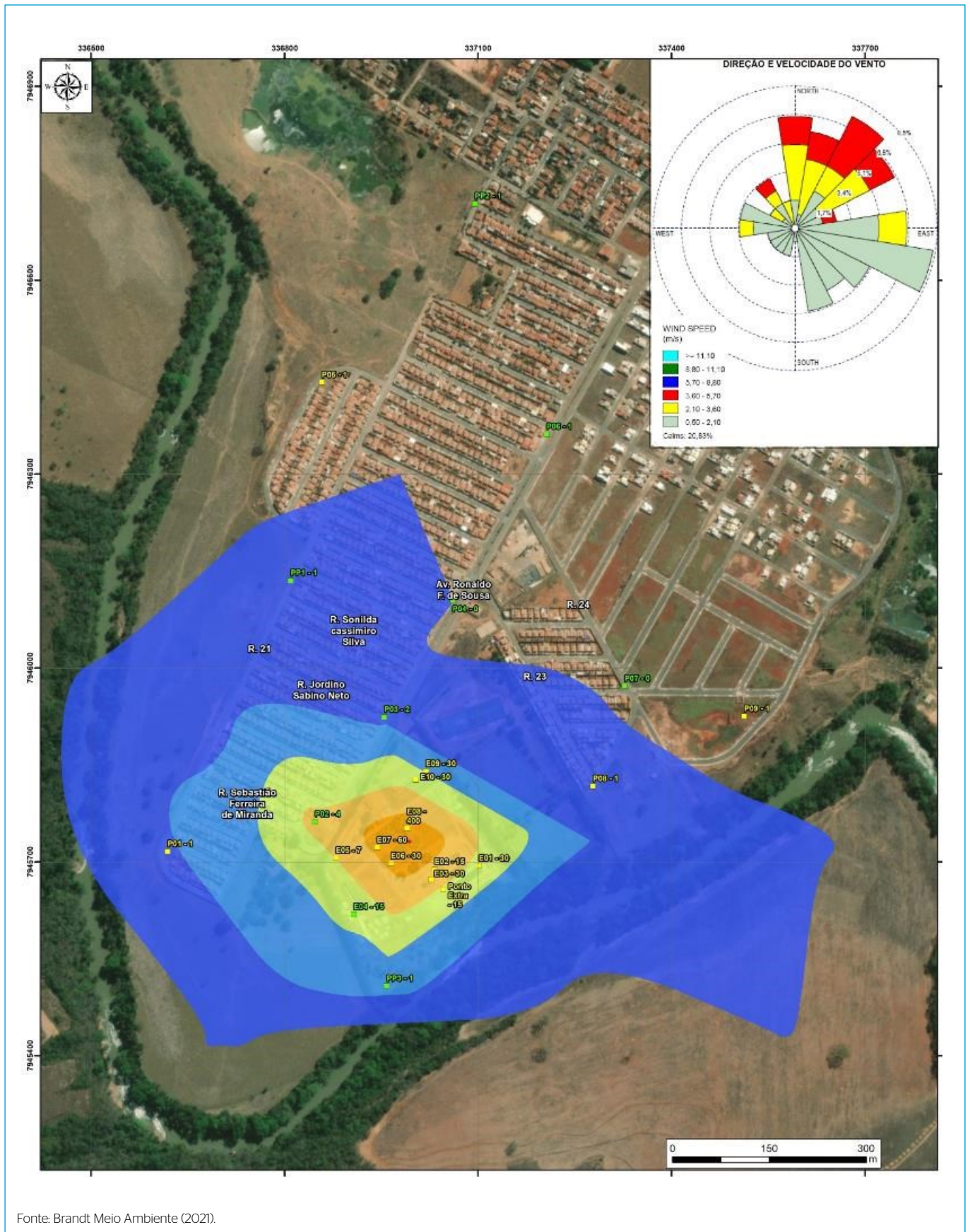




Fonte: Brandt Meio Ambiente (2021).

**Figura 5 -** Concentrações máximas de odores registradas na primeira campanha de monitoramento.

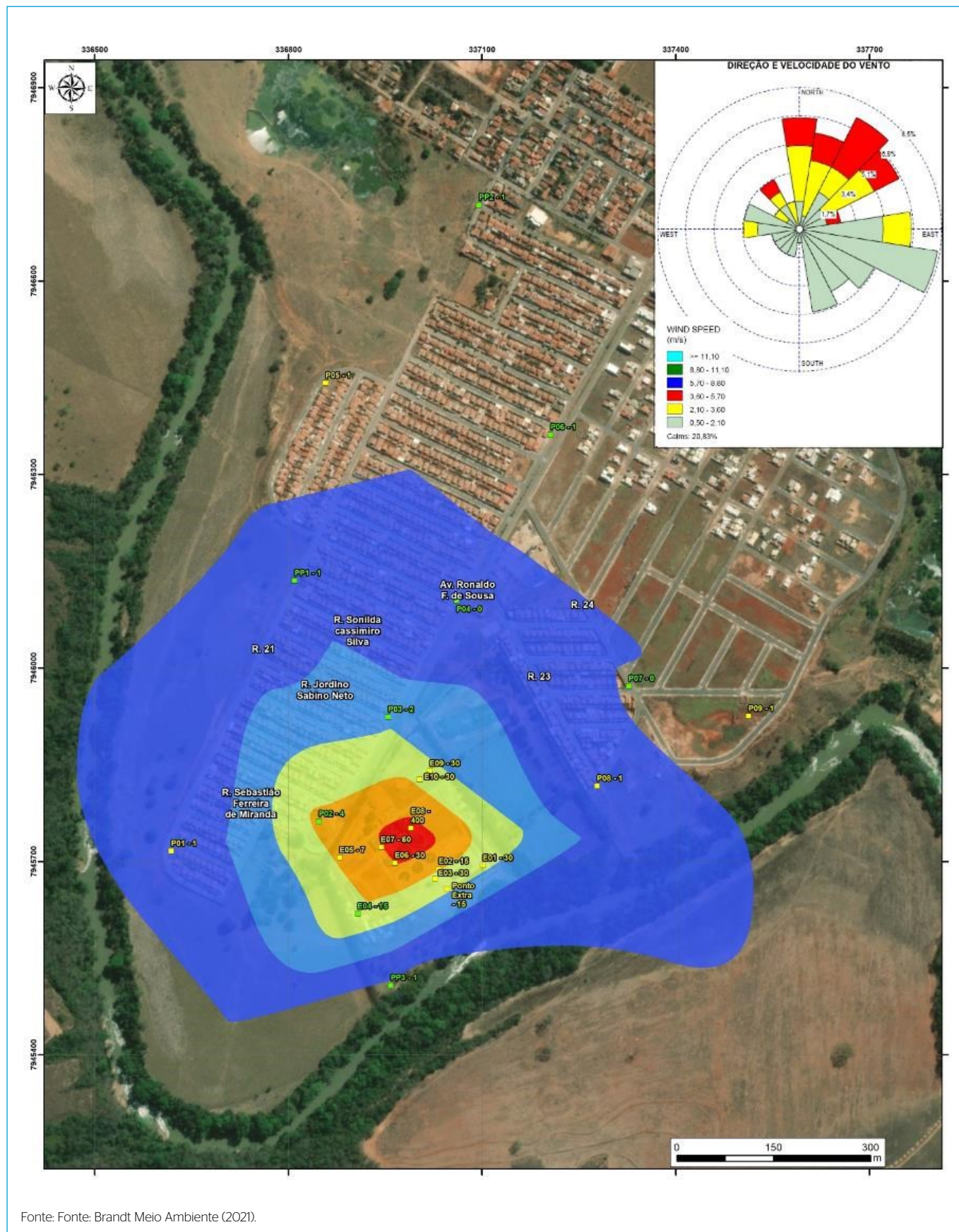




Fonte: Brandt Meio Ambiente (2021).

**Figura 6** - Pluma de odores obtida na calibração do modelo (modelagem reversa) considerando a taxa média de emissão nas fontes igual a 0,28 UO<sub>e</sub>/m<sup>2</sup>/s.





Fonte: Fonte: Brandt Meio Ambiente (2021).

**Figura 7 -** Pluma de odores obtida na calibração do modelo (modelagem reversa) considerando as taxas de emissão ponderadas apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1** – Taxas de emissão ponderadas de cada fonte, para as duas campanhas, obtidas por modelagem reversa para a situação do diagnóstico da operação normal da estação de tratamento de esgoto e para o cenário hipotético com mitigação dos odores.

Unidade operacional da ETE	Campanha 1 - Taxas de Emissão Ponderadas (UO/s/m <sup>2</sup> )	UO/s	Campanha 2 - Taxas de Emissão Ponderadas (UO/s/m <sup>2</sup> )	Média entre as Taxas de Emissão Ponderadas da Campanhas 1 e 2 (UO/s/m <sup>2</sup> ) - Cenário Atual	UO/s	Cenário com Mitigação de Odores (UO/s/m <sup>2</sup> )
Calha Parshall	3,61	431	6,22	4,92	58,6	4,92
Canais do tratamento preliminar	0,38	431	0,65	0,52	58,6	0,52
Reator UASB O1	0,20	861	0,52	0,36	154,2	0,18
Reator UASB O2	0,20	861	0,52	0,36	154,2	0,18
Reator UASB O3	0,20	861	0,52	0,36	154,2	0,18
CDV II	8,94	574,2	5,77	7,36	472,3	0,74
FBP O1	0,11	431	0,19	0,15	58,6	0,02
FBP O2	0,11	431	0,19	0,15	58,6	0,02
FBP O3	0,11	431	0,19	0,15	58,6	0,02
CDV IV	2,29	21,5	7,88	5,09	47,8	5,09
Galpão Desidratação	0,33	431	0,34	0,34	43,8	0,34
Leito de Secagem O1	0,08	431	0,02	0,05	27,1	0,05
Leito Secagem O2	0,08	431	0,02	0,05	27,1	0,05
Leito Secagem O3	0,08	431	0,02	0,05	27,1	0,05
Queimador de Biogás	50,24	10,0	25,93	38,09	7,6	38,09

Fonte: Brandt Meio Ambiente (2021).

De acordo com a **Figura 8**, há potencial para que a população do entorno perceba os odores emitidos pela ETE. Avaliando-se os limites adotados na Noruega e na Nova Zelândia (odor < 1,0 UOE/m<sup>3</sup> no percentil 99,5) (BRANCHER *et al.*; 2017), a percepção dos odores poderia gerar incômodos nos quarteirões imediatamente à oeste da ETE.

Considerando esses resultados e as medições realizadas em campo, foram identificadas as seguintes fontes principais de emissão que contribuíam para essa condição: i) tratamento preliminar (gradeamento e medidor Parshall); ii) CDV II (reunião dos efluentes dos reatores UASB); iii) canaletas de coleta de efluente dos reatores UASB; iv) filtros biológicos percoladores (FBPs). A partir dessa análise, foram propostas medidas de controle considerando o desprendimento, a captura e o tratamento dos gases odorantes na CDV II e nas canaletas de coleta dos efluentes dos reatores UASB.

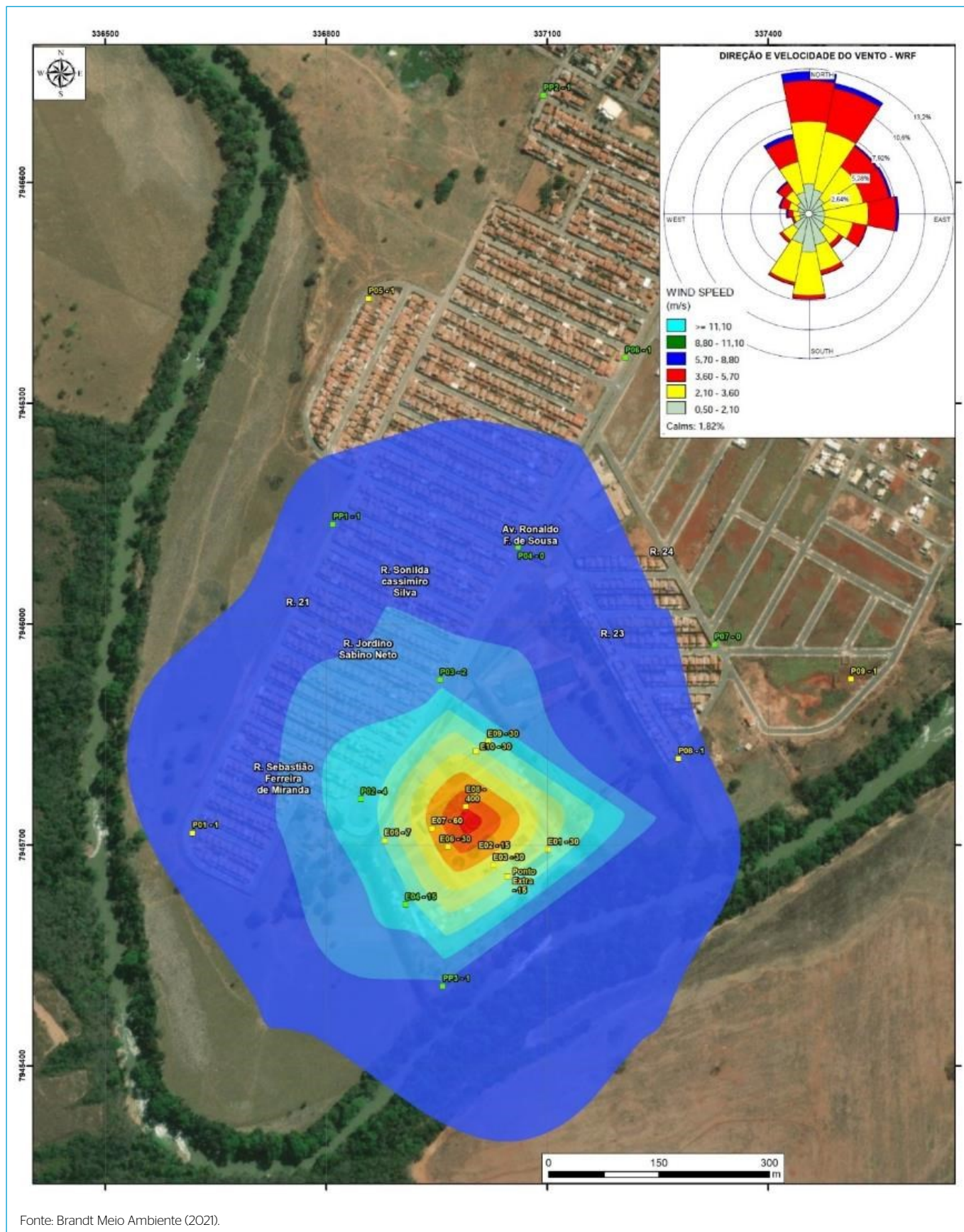
Conforme recomendado por Brandt *et al.* (2018, 2019, 2021), foi proposta a instalação de uma câmara de dessorção de gases dissolvidos nos efluentes dos reatores UASB, bem como a cobertura e exaustão parcial das canaletas de

coleta dos efluentes dos reatores UASB. Considerou-se o tratamento dos gases exauridos em biofiltros. O resultado da modelagem desse cenário é apresentado na **Figura 9** (vide taxas de emissão ajustadas na **Tabela 1** e utilizadas para a configuração de tal cenário), onde observa-se que as concentrações não infringiram os referidos limites mais restritivos usados na Noruega e na Nova Zelândia (BRANCHER *et al.*; 2017). Dessa forma, a modelagem matemática corrobora a efetividade das medidas para o controle dos incômodos gerados na comunidade do entorno.

#### 4. CONCLUSÃO

Embora o monitoramento dos odores e do H<sub>2</sub>S realizado em campo tenha indicado níveis associados a incômodos em um ponto específico da área de estudo, ele não foi capaz de mostrar toda a abrangência da área suscetível aos incômodos causados pelos odores, conforme demonstrado pela modelagem da dispersão atmosférica dos odores. Nesse sentido, a modelagem se mostrou como uma ferramenta mais apropriada para a espacialização das áreas suscetíveis aos incômodos causados pelos odores emitidos pela ETE. No

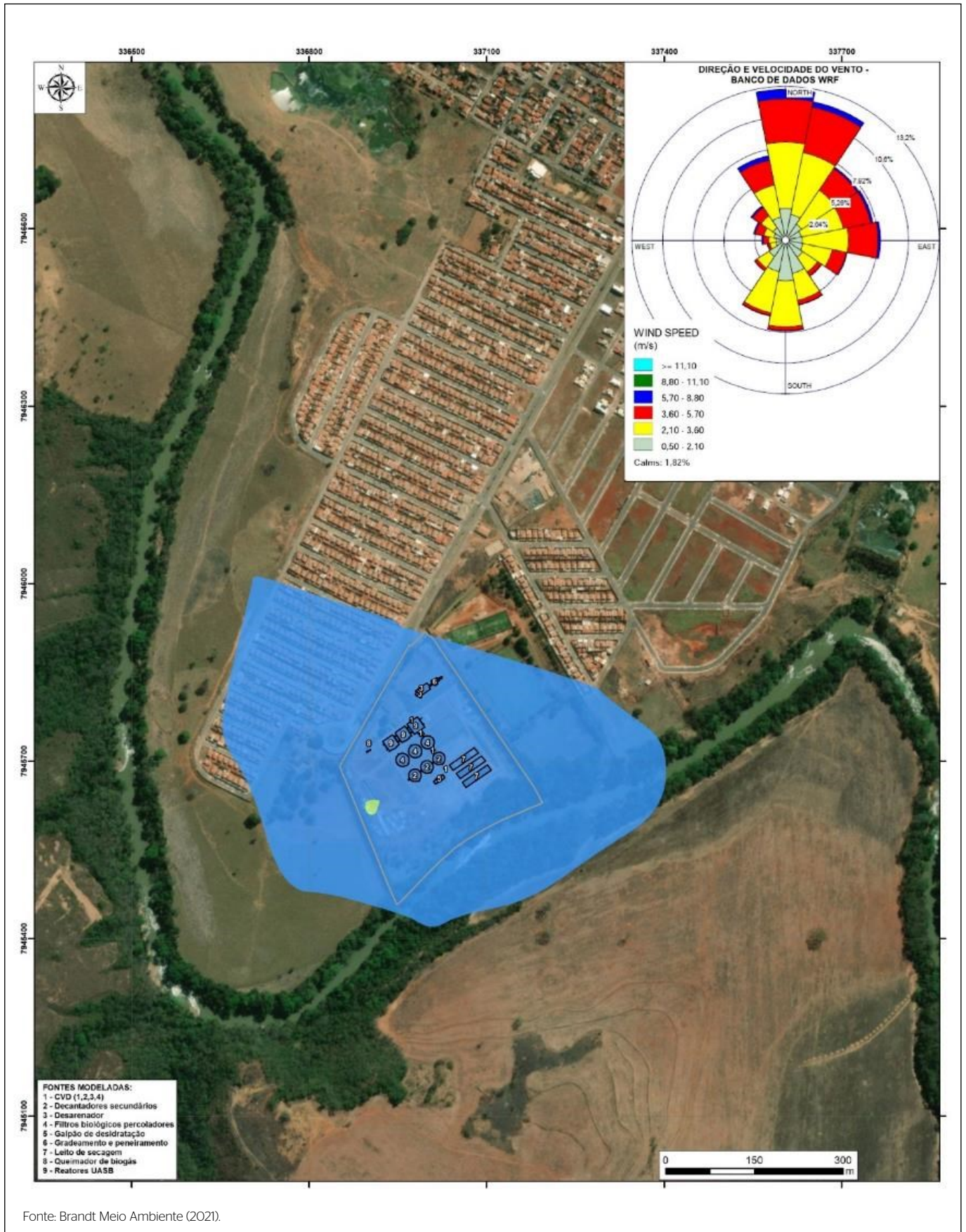




Fonte: Brandt Meio Ambiente (2021).

**Figura 8** - Pluma de dispersão odores com as concentrações do percentil 99,5 obtidas na modelagem matemática final para a situação do diagnóstico da operação normal da estação de tratamento de esgoto.





Fonte: Brandt Meio Ambiente (2021).

**Figura 9** – Pluma de dispersão de odores com as concentrações máximas obtidas para o cenário de aplicação das medidas de controle.

entanto, o monitoramento realizado em campo foi fundamental para a obtenção das taxas de emissão que alimentaram e validaram o modelo. Adicionalmente, o uso da modelagem por si só não descarta a necessidade do monitoramento dos odores e do H<sub>2</sub>S para avaliar se os impactos estão se comportando conforme previsto.

Por fim, a conjugação das técnicas de detecção e espacialização dos odores e do H<sub>2</sub>S se mostrou como uma poderosa ferramenta para a definição de medidas mais eficazes para o controle dos incômodos causados pelos odores. A fim de balizar a tomada de decisão quanto à

necessidade de implementação de medidas de controle de odores na ETE, realizou-se modelagem considerando a instalação de uma câmara de desorção de gases dissolvidos nos efluentes dos reatores UASB e a cobertura parcial das canaletas de coleta dos efluentes dos reatores UASB, assim como a exaustão e o tratamento dos gases recolhidos nessas duas fontes principais de emissão de odores. A modelagem em questão demonstrou que em nenhum local os limites legais internacionais associados à modelagem da dispersão atmosférica seriam extrapolados, reforçando a efetividade e a necessidade de tais medidas mitigadoras.

## REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). *Standard Practice for Determination of Odor and Taste Thresholds by a Forced-Choice Ascending Concentration Series Method of Limits*. ASTM E679-04. Philadelphia: ASTM, West Conshohocken, 2011.
- BOCKREIS, A.; STEINBERG, I. Measurement of odour with focus on sampling techniques. *Waste Management*, v. 25, n. 9, p. 859-63, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.07.013>
- BRANCHER, M.; GRIFFITHS, D.K.; FRANCO, D.; LISBOA, H.M. A review of odour impact criteria in selected countries around the world. *Chemosphere*, v. 168, p. 1531-70, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.11.160>
- BRANDT, E.M.F.; SANTOS, J.M.B.; SOUZA, C.L.; POSSETTI, G.R.C.; BRESSANI-RIBEIRO, T.; CHERNICHARO, C.A. Contribuição para o aprimoramento de projeto, construção e operação de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto sanitário - Parte 4: Controle de corrosão e emissões gasosas. *Revista DAE*, v. 214, n. 66, p. 56-72, 2018. <https://doi.org/10.4322/dae.2018.041>
- BRANDT, E.M.F.; MCADAM, E.J.; NOYOLA, A. Control of diffuse emissions in UASB reactors treating sewage. In: CHERNICHARO, A.C.L.; BRESSANI-RIBEIRO, T. (Eds.). *Anaerobic reactors for sewage treatment: design, construction, and operation*. London: IWA Publishing, 2019, p. 245-83. <https://doi.org/10.2166/9781780409238>
- BRANDT, E.M.F.; SOUZA, C.L.; CENTENO-MORA, E.; BIANCHETTI, F.J.; SANTOS, J.M.B.; CHERNICHARO, C.A.L. Avanços nas técnicas de controle de emissões gasosas em ETEs com reatores anaeróbios. Nota Técnica 1 - Tópicos de interesse. *Cadernos Técnicos Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 1, n. 2, p. 5-22, 2021. <https://doi.org/10.5327/276455760102001>
- CAPELLI, L.; SIRONI, S. Combination of field inspection and dispersion modelling to estimate odour emissions from an Italian landfill. *Atmospheric Environment*, v. 191, p. 273-90, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.08.007>
- COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION (CEN). *Air quality - Determination of odour concentration by dynamic olfactometry*. European Standard EN13725. Brussels: CEN, 2003.
- KOREAN MINISTRY OF ENVIRONMENT (KMOE). *Annual Report of Ambient Air Quality in Korea*. [s.l.]: Korean Ministry of Environment, 2008.
- LAOR, Y.; PARKER, D.; PAGÉ, T. Measurement, prediction, and monitoring of odors in the environment: a critical review. *Reviews in Chemical Engineering*, v. 30, n. 2, p. 139-66, 2014. <https://doi.org/10.1515/revce-2013-0026>
- MALHEIROS, A.L.; NOCKO, H.R.; PERAZZOLI, J.P.; RODRIGUES, T.B.; SCHUBA, T.B.; GOBBI, E.F. Estimativa de emissões odoríferas e avaliação de impacto a partir da integração das técnicas olfatométrica de campo e modelagem reversa de dispersão. In: *XIX CBMET Congresso Brasileiro de Meteorologia*. João Pessoa, 2016.
- McGINLEY, M.A.; MCGINLEY, C.M. An overview of odour regulation throughout North America. In: *1st International Seminar of Odours in the Environment*, Proceedings... Santiago: Olores.Org., 2014.
- PIRINGER, M.; KNAUDER, W.; PETZ, E.; SCHAUBERGER, G. A comparison of separation distances against odour annoyance calculated with two models. *Atmospheric Environment*, v. 116, p. 22-35, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.06.006>
- SCHAUBERGER, G.; PIRINGER, M.; SCHMITZER, R.; KAMP, M.; SOWA, A.; KOCH, R.; ECKHOF, W.; GRIMM, E.; KYPKE, J.; HARTUNG, E.



Concept to assess the human perception of odour by estimating short-time peak concentrations from one-hour mean values. Reply to a comment by Janicke *et al. Atmospheric Environment*, v. 54, p. 624-8, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.02.017>

VARELA-BRUCE, C.; ANTILEO, C. Assessment of odour emissions by the use of a dispersion model in the context of the proposed new law in Chile. *Journal of Environmental Management*, v. 295, p. 113208, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113208>

