

## X-014 - USO DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS PARA MODELAGEM DE DISPERSÃO DE ODORES, COMO AUXÍLIO À LOCAÇÃO DE ETE'S E À AVALIAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL

### Silvano Porto Pereira<sup>(1)</sup>

Biólogo pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Mestre e Doutor em Engenharia Civil (Saneamento Ambiental) pelo Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA) da UFC. Gerente de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (GEPED) da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece).

### Carlos Adller Saraiva Paiva<sup>(2)</sup>

Engenheiro Químico pela UFC. Mestrando em Engenharia Química pela UFC. Coordenador de Projetos de Inovação da GEPED/Cagece.

### Ronner Braga Gondim<sup>(3)</sup>

Engenheiro Civil pela UFC. Mestre em Engenharia do Ambiente pelo Instituto Superior Técnico (IST) / Universidade Técnica de Lisboa (UTL), Portugal. Superintendente de Sustentabilidade (SSU) da Cagece.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. Dr. Lauro Vieira Chaves, 1030 – Vila União – Fortaleza - CE - CEP: 60.1420-280 - Brasil - Tel: (85) 3101-1949- e-mail: [silvano.pereira@cagece.com.br](mailto:silvano.pereira@cagece.com.br)

### RESUMO

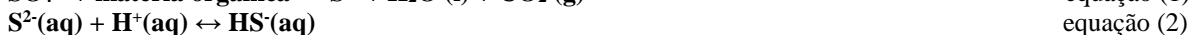
Dentre as fontes de odores em estações de tratamento de esgoto, o sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S), produto da redução do sulfato, é o odorante mais comum. A sua presença, mesmo em baixíssimas concentrações, representa um incômodo à população e o odor associado tem sido objeto de reclamações junto a órgãos ambientais. Para evitar tais problemas, é necessário que, preferencialmente ainda na fase de projeto, sejam estimadas as taxas de emissão das possíveis fontes de sulfeto de hidrogênio e como se dará a dispersão deste gás na atmosfera. O objetivo desse trabalho foi simular o comportamento da dispersão de gases mal odorantes que poderiam ser produzidos por uma Lagoa Facultativa, em fase de projeto, do distrito Capitão Mor, município de Pedra Branca do estado do Ceará. As etapas para a elaboração desse estudo foram: obtenção do projeto da ETE, levantamento de dados meteorológicos, seleção dos cenários dos cenários de modelagem, modelagem com uso dos softwares ALOHA e WATER9 e análise dos resultados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sulfeto de Hidrogênio, Dispersão de Odores, ALOHA, WATER9, Cagece.

### INTRODUÇÃO

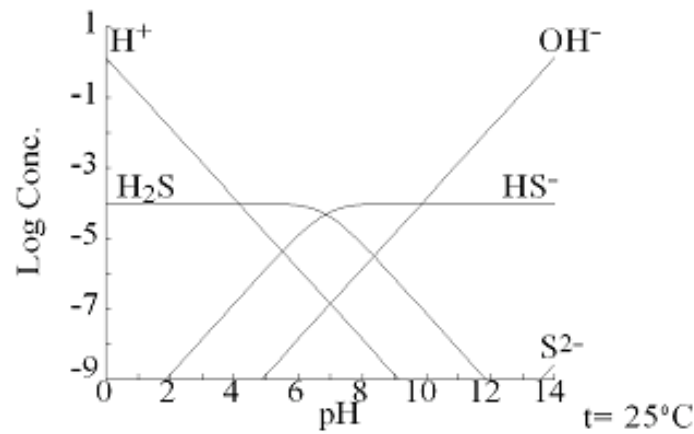
Dentre as fontes de odores em estações de tratamento de esgoto o sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S), produto da redução do sulfato, é o odorante mais comumente associado a este processo, com forte correlação entre a emissão deste gás e reclamações de mal cheiro. A razão para tanto é altíssima sensibilidade do olfato humano a este gás, sendo possível sua detecção até mesmo em níveis tão baixos quanto 0,47 ppb. Quanto a riscos à saúde humana, a NR-15 estabelece um limite de tolerância, para 8 horas de exposição, de até 8 ppm (cerca de 16 mil vezes maior que o valor acima mencionado) e uma concentração letal de 600 ppm.

Sua formação, a partir do sulfato naturalmente presente nos esgotos sanitários e em condições anaeróbias, ocorre pelas reações abaixo:



Estas reações indicam uma proporção estequiométrica entre sulfeto e sulfato de 1:3 em massa, ou seja, cada 96 gramas de sulfato (1 mol) produzem até 32 gramas (1 mol) de sulfeto o qual pode ou não permanecer na fase líquida em função do pH do meio. A Figura 1 mostra um diagrama de solubilidade das espécies de sulfeto a 25° C, em função do pH, considerando-se a concentração total de enxofre igual a 0,1 mM (3,2 mg/L) e a força iônica igual a 0,2 M (típica de esgotos sanitários). Observa-se que no pH próximo a 7 a concentração de íon HS<sup>-</sup> se iguala à concentração do sulfeto de hidrogênio dissolvido (H<sub>2</sub>S(aq)). A figura mostra ainda que a quantidade de H<sub>2</sub>S dissolvido é inversamente proporcional ao pH. Para valores de pH menores que 6, mais de 90% do sulfeto estará presente na forma de um gás dissolvido (H<sub>2</sub>S(aq)), passível de ser transferido para a fase

gasosa, ao passo que em valores de pH maiores do que 8 mais de 90% do sulfeto estará presente na forma ionizada (não volátil) de  $\text{HS}^-$ .



**Figura 1: Diagramas de distribuição das espécies de sulfeto dissolvidos em função do pH. Fonte: Glória, (2009).**

A sua presença, mesmo em baixíssimas concentrações, representa um incômodo à população e tem sido objeto de reclamações junto a órgãos ambientais. Para evitar tais problemas, é necessário que, preferencialmente ainda na fase de projeto, sejam estimadas as taxas de emissão das possíveis fontes de sulfeto de hidrogênio e como se dará a dispersão deste gás na atmosfera. Neste caso, deve-se levar em conta diversos cenários nos quais fatores como a direção e velocidade do vento, temperatura, topografia e proximidade de residências sejam considerados. Adicionalmente, a incorporação de modelagens de dispersão de odores nesta fase permite uma melhor seleção quanto à locação da ETE, viabilizando a obtenção de licenças ambientais e minimizando os riscos de incômodos à população que se converteriam, no mínimo, em reclamações futuras. Além disto, o uso de ferramentas de simulação do transporte de substâncias, sejam elas gasosas ou líquidas, tem recebido atenção dos órgãos ambientais, auxiliando de forma relevante o processo de licenciamento ambiental.



**Figura 2: Imagem ilustrativa do distrito de Capitão Mor e da possível localização da Estação de Tratamento de Esgotos.**

## OBJETIVOS

O objetivo foi simular o comportamento da dispersão de gases mal odorantes que poderiam ser produzidos por uma Lagoa Facultativa, em fase de projeto, do distrito Capitão Mor, município de Pedra Branca do estado do Ceará, inserido na macrorregião de planejamento do Sertão Central e microrregião do Sertão de Senador Pompeu, nas coordenadas -05° 27' 15" e -39° 43' 02". A Figura 2 mostra a possível locação da ETE com o distrito a sua esquerda.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para avaliar a dispersão dos gases emitidos pela ETE foi usado o software gratuito *Areal Locations of Hazardous Atmospheres* (ALOHA) da *Environmental Protection Agency* (EPA), o qual permite a modelagem de riscos associados à dispersão de gases tanto em fase de planejamento quanto de resposta a emergências associadas a substâncias químicas diversas. A ferramenta possibilita a simulação de emissões reais ou potenciais, provenientes de chaminés, de vazamentos de dutos ou tanques e da volatilização de derramamentos de líquidos. O ALOHA resolve um modelo Gaussiano para prever como os gases se dispersam na atmosfera, considerando o vento e as turbulências atmosféricas como propulsores do movimento das moléculas de um gás liberado no ar.

Já para estimar as taxas de emissão de H<sub>2</sub>S liberadas pela ETE, usou-se o software também da EPA *Wastewater and Treatment Emissions Routines* (WATER9), que possui as seguintes características:

1. estimativa de emissões atmosféricas de constituintes individuais do esgoto em unidades de coleta e tratamento de efluentes;
2. uso de interface gráfica para elaboração do fluxograma de processo;
3. banco de dados de vários compostos orgânicos e suas respectivas propriedades;
4. métodos para estimativa automática das propriedades não presentes no banco de dados;
5. métodos para importação das informações do local a partir de planilhas;
6. lista extensiva de opções para geração e visualização de relatórios;
7. flexibilidade para especificar recuperação de água, lodos, óleos e saídas de gases;
8. ajuda integrada.

No software WATER9, as estimativas de emissões são feitas individualmente para cada composto identificado como um constituinte do efluente. Essas estimativas são feitas com base nas propriedades do composto, sua concentração no efluente, e o caminho percorrido pelo efluente através do sistema de coleta e tratamento. Para obtê-las, o usuário deve identificar os compostos de interesse e fornecer suas concentrações no efluente. A identificação dos compostos pode ser feita selecionando-os no banco de dados que acompanha o programa ou fornecendo manualmente as propriedades dos compostos ausentes no banco de dados. As estimativas das emissões totais a partir de um efluente são obtidas através da soma das estimativas dos compostos individuais.

Uma vez que a direção e velocidade dos ventos são fatores cruciais ao transporte de odores, uma etapa anterior à modelagem envolve o levantamento e análise destes dados ambientais colhidos de estações meteorológicas. Para auxiliar a análise destes dados são montados gráficos de ocorrências de direção e velocidades dos ventos, chamados rosa dos ventos. O gráfico, composto por uma série de círculos concêntricos com barras de cores variadas e espessas irradiando do centro, mostra as estatísticas sobre o vento reunidas ao longo do tempo. Essas medições incluem velocidade do vento, direção e frequência. Cada rosa dos ventos pertence a um local específico. A elaboração da rosa dos ventos pode ser feita através de softwares comerciais (OriginPro, Grapher, etc.), livres (Gnuplot, etc.) ou através de um excelente freeware, específico para esse tipo de gráfico, chamado WRPLOT View.

## RESULTADOS

As etapas para a elaboração desse estudo foram: obtenção do projeto da ETE, levantamento de dados meteorológicos, seleção dos cenários dos cenários de modelagem, modelagem com uso dos softwares ALOHA e WATER9, além da análise dos resultados.

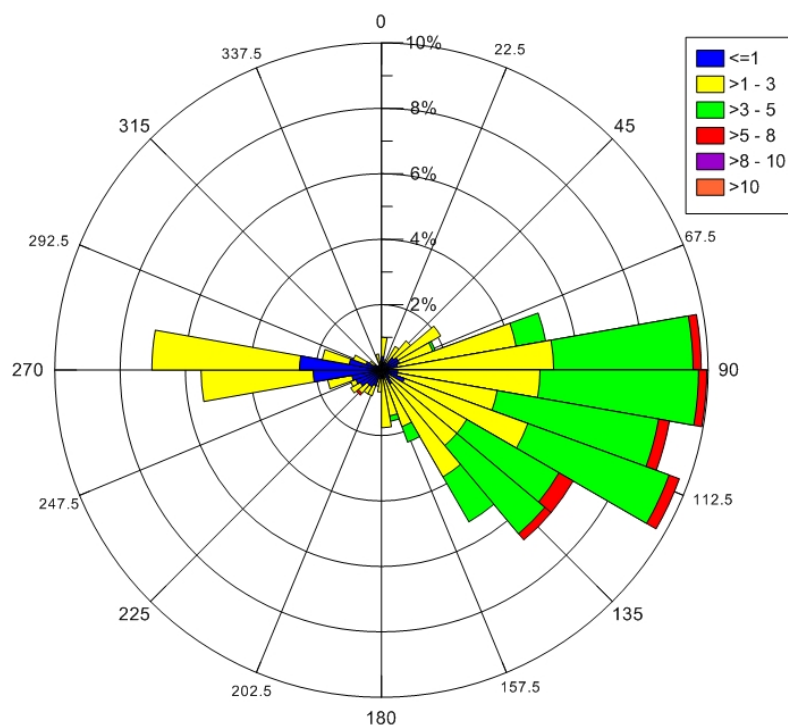
Segundo projeto elaborado pela Gerência de Projetos da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece), o Sistema de Esgotamento de Capitão Mor foi concebido e projetado para coletar, transportar e tratar o esgoto

produzido por uma única bacia coletora com uma população de início de plano de 1.611 habitantes correspondendo a 391 ligações. A ETE será composta por um sistema de lagoas de estabilização sendo 01 facultativa com dimensões 31,0m x 96,0m e 02 de maturação com 31,0m x 45,0m e 02 chicanas, cada uma. O efluente tratado será utilizado na irrigação de capim em uma área contígua a ETE. A Tabela 1 mostra as vazões adotadas no projeto da ETE e consideradas neste estudo.

**Tabela 1: Vazões de projeto**

Ano	Vazão (L/s)			Vazão (m³/h)		
	Mínima	Média	Máxima	Mínima	Média	Máxima
2013	1,82	2,56	3,76	6,55	9,22	13,54
2023	2,01	2,95	4,45	7,24	10,62	16,02
2033	2,21	3,36	5,19	7,96	12,10	18,68

Os dados meteorológicos foram obtidos a partir de estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), situadas em Iguatu, Quixeramobim e Tauá, e da Fundação Cearense de Meteorologia e de Recursos Hídricos (Funceme), situada em Pedra Branca. A análise dos dados das estações do INMET revela que: a temperatura média anual oscila entre 25,3°C e 26,8°C, sendo que a máxima atinge 32,8°C (estação Iguatu) e a mínima de 21,2°C (estação Tauá); ocorrência de altas taxas de evaporação, típicas do semiárido brasileiro, com valor médio anual em torno de 2.000mm, sendo que no segundo semestre constata-se as maiores médias mensais; elevada disponibilidade de radiação solar (valor médio anual entre 2.515 horas e 2.933 horas), contribuindo para o aumento das taxas de evaporação, associada à irregularidade do regime pluviométrico; ao longo do ano apenas 55 dias apresentam precipitações acima de 1 mm na estação Tauá. Os registros de intensidade e direção dos ventos foram obtidos a partir da Plataforma de Coleta de Dados (PCD) de Pedra Branca, disponibilizados pela Funceme, onde observou-se uma dominância de ventos leste e sudeste-leste, havendo uma ocorrência menor que 10% de ventos Sudeste-Leste com velocidades de até 5m/s e em torno de 5% de ventos sudeste leste com velocidades até 3 m/s.



**Figura 3: Padrão de Ventos obtidos a partir de registros da Plataforma de Coleta de Dados de Pedra Branca da FUNCEME.**

Por não existir medição de vento no local e tampouco medições de sulfeto de hidrogênio dissolvido na possível fonte de emissão de gás sulfídrico, por segurança adotou-se o pior cenário de vento e de formação deste gás. Uma vez que a intensidade e direção dos ventos são os propulsores principais da dispersão atmosférica dos gases eventualmente formados pela ETE, escolheu-se a situação mais crítica, qual seja ventos

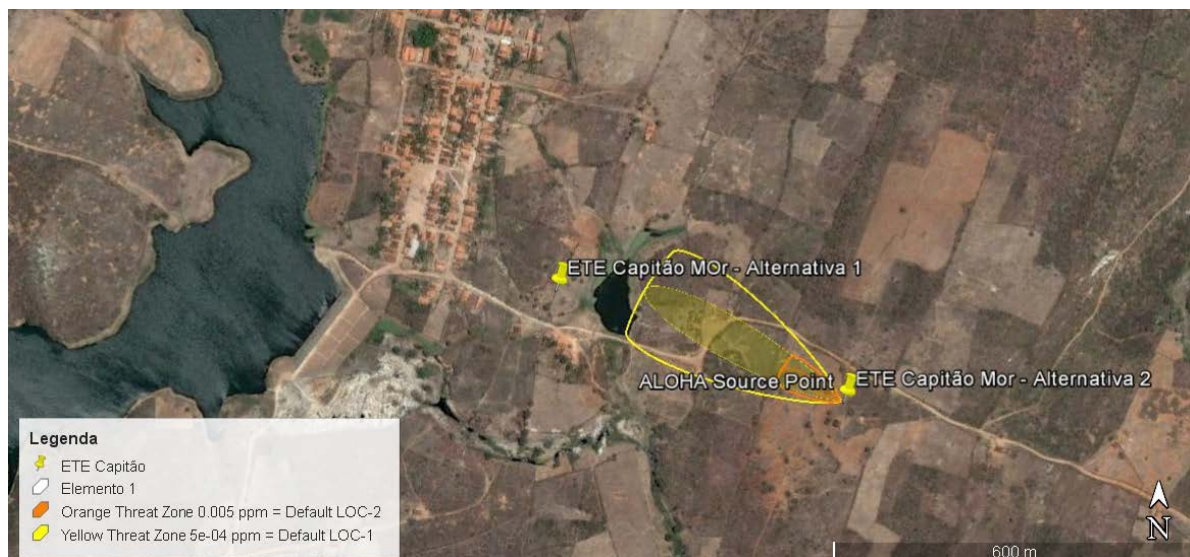


de até 8m/s incidentes diretamente em direção ao distrito, valendo salientar que segundo a rosa dos ventos mostrada esta direção apresenta uma ocorrência de menos de 10 % embora ela seja a dominante para a região levantada. Já com relação aos níveis de sulfeto presentes na lagoa facultativa, será utilizado o pior caso, o qual seria a lagoa entrando em uma condição totalmente anaeróbica, com conseqüente transformação de todo o sulfato aportado no sistema em sulfeto de hidrogênio. Para tanto adotou-se como valor típico de sulfato a média do monitoramento mensal do principal sistema de esgotamento sanitário do Ceará, Estação de Pré-condicionamento de esgotos de Fortaleza (EPC), correspondente a 85 mg/L (valor coerente com as faixas entre 30 e 250 mg/L indicadas na literatura) levando a formação de até 28 mg/L, de acordo com a relação estequiométrica de 1:3 citada anteriormente. Esta condição extrema ocorreria apenas em uma situação idealmente anaeróbica que, na prática, jamais aconteceria. Contudo, por segurança, foi esta a concentração adotada de sulfeto de hidrogênio na lagoa facultativa empregada no software de simulação de emissões (Water9), ilustrado no fluxograma abaixo. As demais condições foram aquelas previstas no projeto da ETE.



**Figura 4: Fluxograma de processo de tratamento da ETE Capitão Mor usado no WATER9. 1 tubulação de entrada, 2 Lagoa Facultativa, 3 e 4 Lagoas de maturação.**

Utilizando-se os dados mencionados anteriormente, chegou-se a uma emissão na lagoa Facultativa de 36 g/h. Esta emissão, sob as condições de vento anteriormente descritas, o que resultou no mapa de dispersão mostrado na Figura 5. Tal figura ilustra a concentração de H<sub>2</sub>S transcorridos 60 minutos após o início da emissão pela lagoa facultativa comportando-se como uma lagoa anaeróbica extrema. A faixa indicada em amarelo corresponde a máxima área onde se poderia perceber mal cheiro em decorrência da lagoa facultativa entrar em uma situação extremamente crítica operacionalmente, comportando-se como uma lagoa anaeróbica, somado a uma condição de vento favorável ao transporte dos gases em direção ao distrito. Os limites desta zona distam 300m do distrito.



**Figura 5: Imagem ilustrativa dos resultados da simulação no cenário mais crítico.**

## CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados, mesmo sob condições extremamente adversas e improváveis de acontecer, eventual mal cheiro não seria percebido pela população residente no distrito de Capitão Mor.

Este trabalho também resultou nos seguintes ganhos para a Cagece: obtenção de licença de instalação da ETE; viabilização da aplicação dos recursos do banco alemão KfW para a ETE; treinamento de engenheiros e técnicos envolvidos no projeto e no licenciamento ambiental de ETE's; aplicação do conhecimento adquirido

no licenciamento ambiental de uma segunda ETE (Palmeira Comprida); introdução de novas ferramentas no fluxo de projeto de ETE's e de licenciamento ambiental realizados na Cagece.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. GLÓRIA, R. M. *Estudo dos Processos de Formação, Acumulação, Emissão e Oxidação de Sulfeto de Hidrogênio em Reatores UASB Tratando Esgotos Domésticos*. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2009. Tese (Mestrado). Disponível em: <<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/479M.PDF>>. Acesso em: 19 jan. 2016.
2. JONES, R. et al. *ALOHA® (Areal Locations of Hazardous Atmospheres) 5.4.4: Technical Documentation*. Seattle, WA: Emergency Response Division, NOAA, 2013.
3. METCALF & EDDY. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. 4. ed. New York: Mcgraw-hill Companies, Inc., 2003.
4. WARK, K.; WARNER, C. F. *Contaminación del aire: origen y control*. Mexico: Limusa, 2001.