

Aplicação de oxigênio no sistema de esgoto de Santos e São Vicente para combate de odores

Pérsio Faulim de Menezes (1)
Gilberto Berzin (2)
José Paulo Torres (3)

1 Histórico do sistema de esgoto de Santos e São Vicente

Antes de 1890, e por um período que se estendeu até 1905, Santos enfrentou terríveis problemas com doenças epidêmicas como febre amarela, tifoide, malária, varíola e peste bubônica.

A sobrevivência da própria cidade esteve em risco. De 1890 a 1900 morreram 22.588 pessoas, representando número superior à metade da população. As tripulações de navios não queriam desembarcar e preferiam ficar ao largo, tal o medo de contrair doenças. O porto de Santos esteve a ponto de ser fechado.

Foram criadas várias comissões técnicas pelo governo estadual, denominadas de "Comissão de Saneamento". Nelas participaram: Emílio Ribas, Adolfo Lutz, Vital Brasil, Oswaldo Cruz, Carlos Chagas e Pereira Passos, os quais se engrandeceram no combate às epidemias.

Eles chegaram à conclusão de que deveria ser feita urgentemente a implantação de drenagem dos pântanos, proteção dos rios e riachos, e instalação de eficiente sistema coletor de esgotos.

Até 1892, o serviço de esgotos de Santos era administrado por uma firma particular, quando neste ano o governo a encampou, criando a Comissão de Saneamento de Santos.

De 1892 a 1902, muitos planos foram apresentados, debatidos e nada de efetivo realizado. Vários estudos foram apresentados como os da Comissão Ferraz, o projeto Fuerts, da Comissão Cochrane, da Comissão Lisboa, o Anteprojeto de Saturnino de Brito em 1898 e o Projeto Rebouças.

Saturnino de Brito defendia o rigorismo de um sistema separador absoluto e na verdade foi ele o intro-

ductor desse sistema em Santos e no Brasil.

Após muitos anos de polêmicas, o governo resolveu executar a nova rede de esgotos, sendo o projeto aquele desenvolvido por Saturnino de Brito entre 1902 e 1906.

O governo impôs ao eng. Saturnino o aproveitamento de 2 km de coletor profundo de concreto armado com 1,4 m de diâmetro, já construído por seu antecessor, eng. José Pereira Rebouças. Este coletor passou a ser denominado de Rebouças e tem grande importância até hoje no sistema de esgotamento de Santos.

Saturnino fez o que se pode chamar de projeto da cidade. Os grandes canais definiam também as grandes avenidas.

Seu sistema separador absoluto previa 66 km de redes, 12 km de emissários, 10 estações elevatórias, uma usina terminal, a histórica ponte Pênsil e o emissário do Itaipu. Deveria atender no fim do plano 150 mil habitantes.

O sistema foi inaugurado em 1912, quando a população de Santos contava com 44.500 habitantes.

Ao seu projeto, foi incorporada a parte central de São Vicente, com a elevatória Tomé de Souza e Booster.

O trabalho considerado o mais difícil foi o da usina terminal no bairro do José Menino, que atingiu o profundidade de 8 m. A ponte Pênsil concretizou uma velha aspiração do Estado, a união da ilha de São Vicente com o Continente nas proximidades da ilha Porchat.

A alternativa de Saturnino de conduzir os esgotos para lançamento **in natura** em ponto seguro, sem possibilidade de retorno às praias na ponta do Itaipu, permitiu a realização desse sonho do governo.

2 Sistema de esgoto de Santos e São Vicente até 1978

Praticamente até o final de 1978, o sistema de esgotamento em opera-

ção era o mesmo projetado por Saturnino de Brito. Evidentemente sofreu expansões, equipamentos mais modernos, novo recalque para lançamento na ponta do Itaipu (Praia Grande), mas havia sérios problemas de limitação, estando todo o sistema abaixo das necessidades. Ocorriam constantes extravasamentos de redes.

A tubulação de recalque que atravessava a ponte Pênsil permitia a passagem de apenas 800 l/s, enquanto o volume de esgoto produzido pelos dois municípios atingia valores até 1.500 l/s. O excedente extravasava em poços de visita e ligações clandestinas pelas ruas da cidade chegando aos canais. Com isso, a poluição do mar crescia cada vez mais, tornando a balneabilidade das praias imprópria ao banho de mar.

O coletor Rebouças ainda era o único coletor-tronco do sistema, trazendo o esgoto das 11 elevatórias da cidade de Santos para a usina terminal, de onde era recalcado através de dois emissários, um de concreto com \varnothing 1 m e outro de fofo com \varnothing 700 mm, para o lançamento na ponta do Itaipu.

O esgoto de São Vicente era lançado nesses mesmos emissários através das estações elevatórias Tomé de Souza e Gonzaguinha.

Em 1975, a Sabesp-Cia. de Saneamento Básico do Estado de São Paulo iniciou uma série de grandes obras para a reformulação total desse sistema. A ampliação de capacidade das estações elevatórias 1, 2, 3, 4, 7, 10, 11 e 12; a criação da estação elevatória 14; a supressão da estação elevatória 8; novos emissários de recalque. A construção do interceptor I-3 da estação elevatória principal, da estação de pré-condicionamento no bairro do José Menino, e do emissário submarino de esgotos com 4 km de extensão e capacidade de 7 m³/s são partes integrantes do novo sistema de esgotos, do qual também faria parte o interceptor oceânico, construído desde 1972 ao longo das praias (fig. 1).

(1) Eng. chefe do Departamento Técnico da Superintendência do Vale do Paraíba-Sabesp.

(2) Eng. chefe da Divisão de Controle Sanitário da Superintendência Regional da Baixada Santista — Sabesp.

(3) Eng. ex-chefe do Departamento Técnico da Baixada Santista — Sabesp.

3 Sistema de esgoto de Santos e São Vicente atual

Em 21 de julho de 1978 entrou em funcionamento a estação de pré-condicionamento (EPC) e o emissário submarino, sendo a EPC constituída de três unidades:

1) Peneiras Rotativas — para remoção de sólidos até 1,5 mm.

2) Caixas de Areia — para remoção de areia através do sistema de "Air Lift".

3) Cloração — para melhoria das condições do esgoto, procurando evitar a exalação de gases.

Após esse tratamento preliminar, o esgoto é encaminhado ao emissário submarino, numa tubulação de aço com \varnothing 1,75 m, e lançado a 4 km das praias em local previamente estudado, o que permite seu transporte para fora da baía de Santos, através de correntes no mar, evitando seu retorno às praias.

Desta forma, o problema de redução de vazão da tubulação de recalque na ponte Pênsil foi totalmente eliminado. O emissário de Itaipu foi desativado aproveitando-se parte de sua tubulação para trazer até a EPC os esgotos do município de São Vicente.

No início de 1979, todo o restante do sistema entrou em funcionamento eliminando-se por completo qualquer

extravasão de esgotos em sua rede coletora.

O novo sistema permitiu que o coletor Rebouças, que durante muitos anos trabalhou sob pressão, voltasse ao seu escoamento normal recebendo apenas o esgoto proveniente de sua bacia e das bacias das EEE 5 e 6. As demais elevatórias passaram a recalcar direta ou indiretamente para o interceptor oceânico, que transporta o esgoto para a estação elevatória principal, também localizada no bairro do José Menino. (Fig. 1).

4 O fenômeno do mau cheiro

Após a ativação da EPC e do emissário submarino, ainda com o sistema de esgoto funcionando somente através do coletor Rebouças e da usina terminal, surgiu no local um forte mau cheiro que se espalhava pela região circunvizinha à EPC.

Este cheiro, que aparecia várias vezes por dia, tinha o odor característico de "ovo podre".

Uma comissão de consultores da Sabesp, coordenada pelo eng. José Martiniano de Azevedo Neto, examinou o problema, analisando o esgoto e determinando como causa do mau cheiro o chamado "esgoto velho" aderido nas paredes do coletor Rebouças, que estava sendo removido e levado

à EPC motivado pela mudança da velocidade de escoamento do líquido. Com o recalque de apenas 50 m de extensão da estação terminal até a EPC, o coletor Rebouças passou a trabalhar folgado, aumentando sensivelmente a velocidade do líquido no seu interior, provocando a remoção de partículas de esgoto acumuladas em suas paredes ao longo de vários anos, pois operava com seção plena.

Numa vistoria efetuada internamente na chegada do coletor à ET, constatou-se ser essa camada de aproximadamente 5 cm de espessura. Com o passar dos meses a incidência dos gases se reduziu, mantendo-se em níveis não controláveis pelo sistema de cloração concebido.

Entretanto, logo no início do mês de fevereiro de 1979, todo o complexo do novo sistema de esgoto entrou em operação passando os esgotos das EEE-1, 2, 3, 4, 7, 10, 11 e 12 através do interceptor oceânico para chegar na nova estação elevatória principal, situada ao lado da EPC no bairro do José Menino. (Fig. 1).

Após alguns dias de operação desse sistema, houve intensificação de gases na EPC. Sua incidência maior era ao anoitecer e na madrugada, entre 4 e 6 h da manhã. Não era sentido todos os dias, mas aumentava nos dias mais quentes do verão. Mais

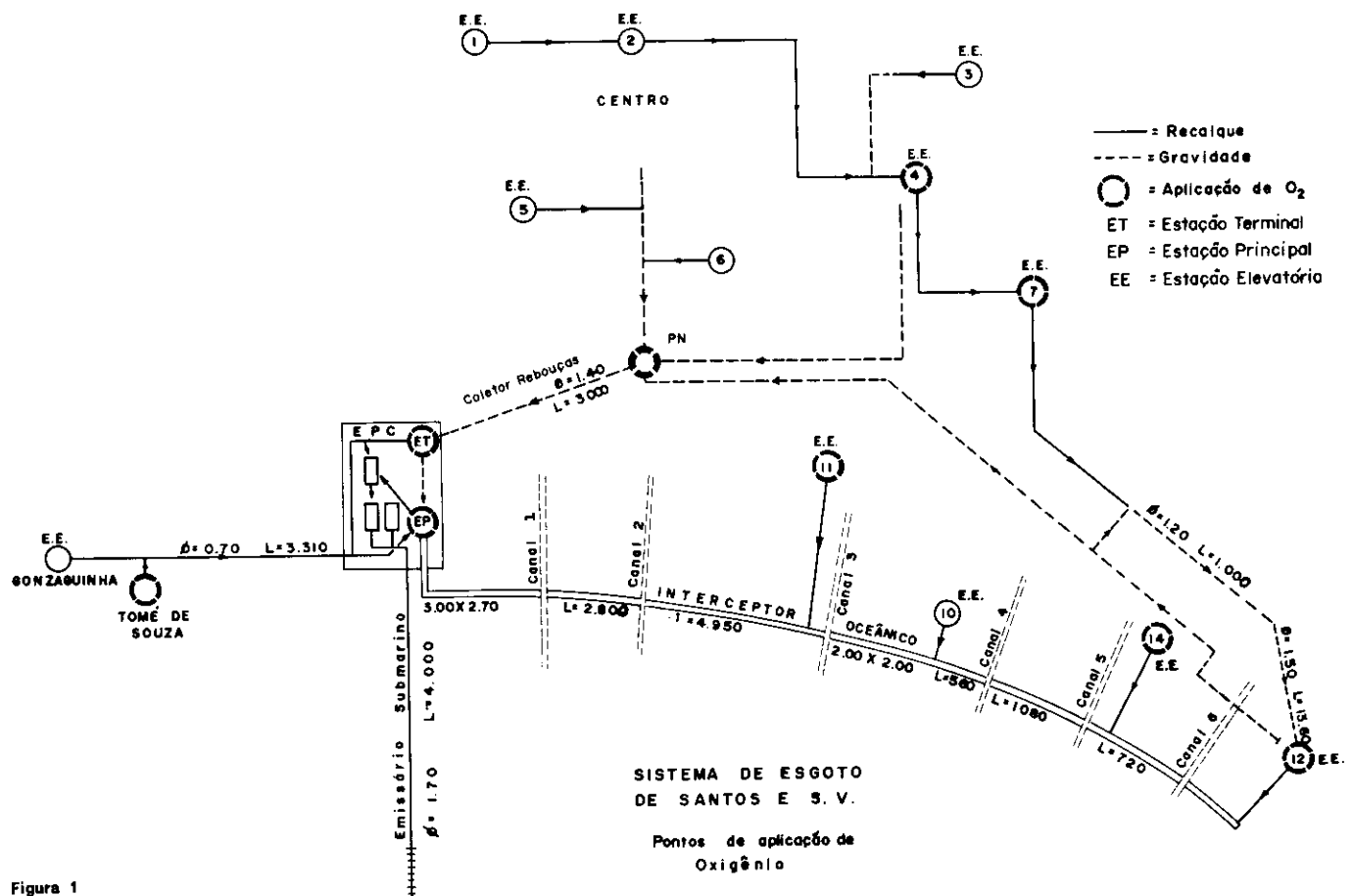


Figura 1

uma vez, a Sabesp se empenhou na detecção das causas desse odor desagradável pois incomodava os moradores da vizinhança do bairro do José Menino.

A causa do mau cheiro era proveniente do gás sulfídrico formado pela decomposição da matéria orgânica dos esgotos no interior dos coletores e interceptores do sistema.

Algumas características próprias do esgoto produzido em Santos e São Vicente, como a alta temperatura (média de 26°C atingindo até os 29°C no verão), o longo trajeto percorrido até a EPC e o alto valor de DBO₅, que chega a ser superior a 600 mg/l, são fatores propícios à formação de altos teores do gás sulfídrico.

A cloração prevista no projeto para eliminar o mau cheiro na EPC não conseguia obter resultados positivos. A dosagem de cloro do projeto era de 5 ppm. Aumentou-se para um máximo de 25 ppm, procurando melhorar sua eficiência operacional, mas houve a produção de dicloraminas e de tricloreto de nitrogênio, cujo odor também incomodava a população próxima ao local. Além disso, nas estações elevatórias 4, 7, 11 e 12 também começou a emanar o gás sulfídrico em menor escala, provocando reclamações dos moradores próximos de suas instalações.

Uma série de experiências foi realizada ao longo de 1979 e 1980 visando solucionar ao problema, não atingindo os resultados esperados.

A otimização operacional do sistema e a adição de produtos químicos no esgoto deram alguns resultados, porém não eliminaram a formação do gás sulfídrico.

5 Experiências para eliminação do H₂S

5.1 Otimização Operacional

Várias providências visando melhorar o funcionamento do sistema foram tomadas.

Testes realizados pela Cetesb através de radioisótopos mostraram que os esgotos levados ao interceptor oceânico por meio das elevatórias demoravam em média 12 horas até chegar à estação principal.

O tempo de permanência dos esgotos nos poços das elevatórias era de 30 minutos aproximadamente. Com ajustes operacionais, reduziu-se esse tempo para um máximo de 20 minutos.

Desde o início de operação do novo sistema, as grades das EEE's de 6 em 6 dias sofriam um processo de

limpeza manual; contudo, foi aventada a hipótese de esse período ser longo e com isso estava gerando a formação de H₂S pela retenção do esgoto nas tubulações. Dessa forma, foi feito um programa de limpeza, com períodos variando de 2 a 8 dias; esse programa desenvolveu-se de junho/81 a abril/82.

Concluiu-se ser período ideal o de quatro dias, pois acima disso há efetivamente represamento de esgoto na tubulação, devido à obstrução das grades.

O interceptor oceânico, com seus 6 km de extensão e declividade mínima, teve sua velocidade de escoamento aumentada com a instalação de novas bombas na estação elevatória principal. Ela operava com quatro bombas de 250 l/s de capacidade cada uma, passou a funcionar com 2 bombas novas de 1.050 l/s, cada uma, aumentando assim sua capacidade de recalque.

Construiu-se tomada d'água no canal 3, admitindo água do mar no interceptor, visando diluir os esgotos.

Os resultados obtidos, principalmente nas estações elevatórias menores, foram redução da incidência do mau cheiro, porém sem eliminá-lo. Essas medidas não foram suficientes para solucionar o problema na EPC.

5.2 Aldeído Benzóico

Em agosto de 1979 foi testada a aplicação de Aldeído Benzóico na EPC, visando minimizar as emissões de gás sulfídrico.

A dosagem de 2,16 l/dia foi aplicada na caixa de chegada das peneiras rotativas, pretendendo-se "mascarar" os odores produzidos pelo H₂S.

Os testes foram realizados durante oito dias, sem alcançar resultados práticos. Foi paralisado, pois o produto mostrou ser muito tóxico, produzindo mal-estar e dores de cabeça no pessoal que trabalhava nas proximidades.

5.3 Ozona

Em novembro e dezembro de 1979, foram efetuados testes de aplicação de Ozona (O₃) na atmosfera dos poços das EEE's.

O equipamento foi instalado inicialmente na EEE-7 durante 30 dias, não se obtendo redução de H₂S na atmosfera do poço de elevatória. Foi instalado a seguir no poço dos canais de chegada de esgoto na EP, onde também apresentou resultados negativos.

5.4 Cal e Soda

Em novembro e dezembro de 1980, foram efetuados testes de aplicação

de cal hidratada e hidróxido de sódio líquido (50% concentração) na EEE-12, visando-se aumentar o pH do esgoto e com isso evitar a formação de H₂S (Fig. 12).

As experiências realizadas em laboratório, bem como a literatura existente, indicavam que quando o pH atingisse a faixa de 9, a formação de H₂S seria bloqueada.

Nos testes laboratoriais, com 250 mg/l de cal hidratada, o pH do esgoto atingiu 9 e o valor do H₂S estabilizou-se em 0,5 mg/l, chegando por algumas vezes a inexistir.

Com o hidróxido de sódio líquido, os resultados de laboratório foram superiores, isto é, com o pH em 9 e o teor de H₂S praticamente se estabilizou em 0,1 mg/l.

Contudo, as experiências no campo resultaram infrutíferas pois com a cal o teor mínimo de H₂S obtido foi de 4 mg/l e com o hidróxido de sódio 2 mg/l, ocorrendo seu despreendimento na atmosfera em concentrações claramente detetadas pelo olfato humano.

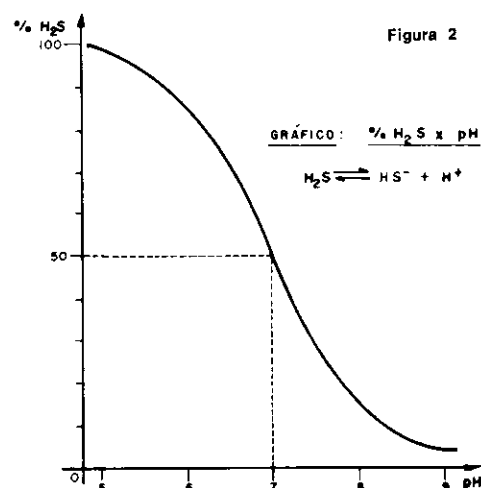
Além dessa pequena redução no índice de H₂S, a partir do momento em que o interceptor oceânico 1.1 recebe os lançamentos das EEE's 14, 10 e 11, os teores de H₂S voltaram a atingir os valores anteriores, em torno de 7 mg/l.

Dessa forma, tanto a cal quanto o hidróxido de sódio aumentam o pH do esgoto, e com isso inibem a formação de H₂S, porém estes produtos não têm o poder de eliminar o gás já formado.

Poderíamos argumentar que se em todas as EEE's fossem feitas aplicações de cal ou hidróxido de sódio o problema estaria solucionado; contudo temos alguns aspectos a considerar:

a) Custo muito elevado de instalações (dosadores, mão-de-obra etc...) e matéria-prima.

b) Sabemos que o esgoto à temperatura de 20°C num período de 6 h se torna séptico, conseqüentemente gera



H₂S. A temperatura média do esgoto na Baixada Santista é de 26°C e nos meses de verão este valor é de 28°C, atingindo picos de 30°C, e com esses valores a formação de H₂S é substancialmente mais rápida.

c) Durante o período noturno, quando a vazão decresce substancialmente, a velocidade do esgoto diminui e, em face da temperatura, há formação de H₂S.

d) Outro aspecto a ser mencionado é o da decantação no interior do sistema dos sólidos sedimentáveis, com todas as consequências possíveis.

e) O gás sulfídrico é corrosivo, principalmente em grandes concentrações, com resultados altamente danosos às tubulações. Com a adição de cal ou hidróxido de sódio, devido às reações, poderemos ter uma aceleração no processo de formação de H₂SO₄, aumentando substancialmente a corrosão.

6 A solução do problema — aplicação de oxigênio

No final de 1979, a Sabesp recebeu uma proposta de solucionar o problema de emanação de gases na EPC através da oxigenação dos esgotos.

Essa tecnologia, inédita no Brasil, já era difundida em vários países da Europa e nos Estados Unidos com grande sucesso.

Foi programado um teste da maneira com que os técnicos da firma proponente julgavam ser a solução do problema, ou seja, a oxigenação dos esgotos na estação de pré-condicionamento. Esses testes foram realizados durante os primeiros cinco meses do ano de 1980, injetando-se oxigênio puro no poço de chegada da elevatória principal e no canal central da unidade das peneiras rotativas. Alguns resultados positivos foram conseguidos durante algumas horas, sem contudo obter a eliminação total do mau cheiro, que eventualmente se espalhava na região gerando seguidas reclamações dos moradores do bairro.

Querendo demonstrar ser essa tecnologia a realmente utilizada e com eficiência comprovada, a firma proponente enviou convite à Sabesp para um estágio na BOC em Londres, na Inglaterra. A Sabesp designou dois engenheiros do Departamento Técnico da Baixada Santista e em junho de 1980 estagiaram por 15 dias na Inglaterra, conhecendo as várias maneiras de aplicação de oxigênio, nos mais diversos tipos de tratamento de esgotos sanitários e industriais, comprovando-se sua total eficácia. Entretanto, esse estágio serviu para mostrar que a forma utilizada nos testes no sistema de esgotos de Santos não seria suficiente para a eliminação do H₂S na EPC.

A solução correta era evitar a formação do gás sulfídrico nos esgotos e não combatê-lo após sua ocorrência no final do sistema. Seria necessário manter o esgoto com oxigênio dissolvido no seu interior impedindo sua septicidade.

Ao ser apresentado o relatório das atividades na Inglaterra, a Sabesp suspendeu os testes de oxigênio na EPC e aguardou uma definição por parte da firma proponente.

Como essa definição demorava e o problema do mau cheiro persistia, a Superintendência Regional da Baixada Santista obteve autorização da diretoria da empresa para realização de um teste, mas desta vez de acordo com o conhecimento obtido no Exterior, aplicado dentro das características próprias do sistema de esgotos de Santos.

Um plano-piloto foi elaborado pelo Departamento Técnico da Baixada Santista e aplicado num setor do sistema de esgoto que abrangia quatro estações elevatórias de pequeno porte. Este teste foi realizado por firma que conta com **know-how** de aplicação de oxigênio puro em várias partes do mundo.

O processo proposto consistia em injetar oxigênio puro nos esgotos após o recalque das bombas nas estações elevatórias, de acordo com as vazões e o teor de gás sulfídrico das mesmas.

Injetou-se oxigênio nas EEE's 2, 3 e 4 e 7, que apresentavam problemas eventuais de mau cheiro. Os testes foram apurando-se os resultados nas EEE's 4 e realizados no período de 19-12-80 a 2-2-81 e acompanhados por analisadores de gás sulfídrico da Cetesb, cujos resultados apresentados finalmente demonstraram a eficiência do processo.

Ressalte-se que os testes foram realizados de forma precária, em termos dos equipamentos utilizados, mas mesmo assim várias vezes os analisadores registraram valores até 0,00 ppm de gás sulfídrico.

O passo seguinte foi a elaboração, pelo Departamento Técnico da Baixada Santista — BTE, de um anteprojeto englobando todo o sistema de esgoto de Santos e São Vicente.

O anteprojeto foi feito com três opções:

1.ª opção — Oxigenação nos seguintes locais: EEE-2, EEE-3, EEE-4, EEE-5, EEE-7, EEE-11, EEE-12, EEE-14, PN, ET, EP e EEE — Tomé de Souza — São Vicente.

2.ª opção — Oxigenação nos seguintes locais: EEE-2, EEE-4, EEE-7, EEE-11, EEE-12, EEE-14, PN, ET, EP e EEE — Tomé de Souza — São Vicente.

3.ª opção — Oxigenação nos seguintes locais: EEE-2, EEE-4, EEE-7, EEE-11, EEE-12, EEE-14, PN, ET e EP.

Evidentemente que a 1.ª opção era a mais completa, mas traria maior ônus inicial e seria de bom-senso a viabilização de uma opção mais econômica para início de implantação de um sistema aplicado pela primeira vez no Brasil.

O anteprojeto foi analisado pela STD-Superintendência de Tratamento e Disposição Final de Esgotos, definindo o projeto inicial do sistema de oxigenação de esgotos de Santos e São Vicente, com aplicação de oxigênio puro nos seguintes locais: EEE-7, EEE-11, EEE-12, EEE-14, PN, ET e EP.

Em julho de 1981, a Sabesp realizou a tomada de preços da qual participaram 5 grandes empresas com **know-how** de aplicação de oxigênio em esgotos sanitários, assinando contrato em 21 de setembro de 1981, no valor de Cr\$ 18.337.681,20, com o prazo de 240 dias, 60 dias para instalação dos equipamentos e 180 dias para aplicação do oxigênio.

O contrato estipulava que deveria ser alcançado o valor máximo de 1 mg/l de H₂S nos esgotos locais de aplicação.

Os teores de H₂S encontrados antes da aplicação de O₂ eram os seguintes nas diversas EEE's:

EEE	Vazão de esgoto (l/s)	Teor de Emissão* H ₂ S (mg/l)
7	119	7,0
11	58	7,0
12	276	10,0
14	59	5,0
PN	400	10,0
ET	665	12,0
EP	687	15,0

(*) Teor de H₂S presente na massa líquida com possibilidade de sair para a atmosfera.

Os tanques de oxigênio instalados nos pontos de aplicação tinham as seguintes capacidades:

Estação	Capacidade (litros)
7	5.000
11	3.500
12	8.000
14	3.500
PN	12.000
ET e EP	22.000

Baseados em fórmulas conhecidas para cálculo do consumo de oxigênio, mas levando em conta valores empíricos obtidos em situações diversas daquelas que caracterizam o esgoto das cidades de Santos e São Vicente, foram estimados os seguintes consumos mensais de O₂:

Local	Consumo Mensal	Vazão Média de O ₂ (m ³ /h)
EEE-7	5.875 m ³	12,37
EEE-11	2.389 m ³	10,32
EEE-12	11.044 m ³	17,44
EEE-14	3.324 m ³	14,28
PN	16.603 m ³	24,09
ET	12.802 m ³	25,38
EP	15.998 m ³	32,49

No dia 21 de novembro entrava em funcionamento o sistema de oxigenação de esgotos de Santos e São Vicente, de acordo com o contrato, excetuando-se o ponto de oxigenação na EEE-11, pois dependia da autorização do Hospital Anglo-Americano de Santos, situado em frente à estação elevatória e onde seria instalado o tanque criogênico para reservação do oxigênio.

Logo após o início de operação do sistema, foi verificada a necessidade de aplicar-se oxigênio na EEE-4, para serem obtidos os resultados exigidos na EEE-7 e na EEE-12. Com entrada em operação desse novo ponto de aplicação, a EEE-7 passou a apresentar teores de oxigênio dissolvido superiores a zero e H₂S < 0,1 mg/l, refletindo diretamente nos resultados da EEE-12,

atingindo aí teores da ordem de 1,00 mg/l de H₂S.

Nas estações elevatórias o oxigênio foi aplicado sob pressão na tubulação após o recalque das bombas, além de uma complementação através de um difusor nos seus poços da sucção.

No PN situado no coletor Rebouças, o oxigênio foi injetado no esgoto dentro da própria tubulação, através de um difusor de 50 m visando ao mínimo desperdício do gás.

A oxigenação da EEE-11 iniciou-se em 23-1-82, completando-se o sistema e permitindo a primeira análise global de funcionamento do processo e seus resultados.

Para se conseguir os resultados esperados dentro das características do sistema de esgotos de Santos, foi necessário aumentar as vazões de oxigênio até atingir teores de oxigênio dissolvido detectáveis nos vários pontos.

A partir de janeiro de 82, foram instalados os analisadores de H₂S na atmosfera, através dos quais as vazões de oxigênio passaram a ser controladas automaticamente e de acordo com os teores de H₂S detectados pelo analisador.

O analisador, modelo 710-Rexnord, é um aparelho digital que emite sinais de altos e baixos teores de H₂S, permitindo assim controlar as vazões de oxigênio no esgoto. O sensor usado é um instrumento incorporado à tecnologia de semicondutores, combinado com um projeto eletrônico, que virtualmente elimina o tempo de resposta à seletividade e à saturação. Outro fator é a estabilidade do sensor, que pode trabalhar de -40°C a +85°C, mantendo termostaticamente as condições ótimas de operação.

Outro fator importante ocorrido após o funcionamento do sistema de oxigenação foi a redução da cloração na EPC, que passou a trabalhar com apenas 10 ppm, resultando uma sensível economia do produto e a minimização dos efeitos agressivos de sua utilização nas instalações da EPC.

Decorridos três meses contínuos de operação do sistema de oxigenação do esgoto de Santos, chegou-se às seguintes conclusões:

EEE-7: Os teores reais de H₂S na atmosfera do poço de sucção atingiram em média 1 ppm_v, o que significa que a uma distância de 4 m desta estação o teor de H₂S na atmosfera é de no máximo 1 ppm_v, portanto isentando a população vizinha e os tran-

seuntes do mau cheiro que antes os molestava.

EEE-12: Os teores reais de H₂S na atmosfera do poço de sucção atingiram uma média de 0,8 ppm_v, resultando uma distância de 4 m desta estação o teor de H₂S na atmosfera é no máximo igual a 0,5 ppm_v, livrando assim a população da vizinhança do mau odor causado pela emissão do H₂S.

EEE-14: Os teores reais de H₂S na atmosfera do poço de sucção se acham entre 0 e 1 ppm_v, resultando na completa eliminação dos problemas relativos a odores de H₂S não apenas nas proximidades desta estação como também no interior do seu poço de sucção.

PN: A oxigenação do PN visava eliminar o H₂S já formado e presente no esgoto neste ponto específico, como também inibir novas formações de gás sulfídrico até que o esgoto no coletor Rebouças alcance a estação elevatória terminal. Apesar do longo difusor instalado, constatou-se uma perda excessiva de oxigênio, razão pela qual foi desativada. Este assunto será tratado com detalhes quando das considerações técnicas.

EP: Têm-se observado duas situações diferentes, ou seja, a primeira se caracterizando quando o analisador deixa de acusar emissões de H₂S nos canais de chegada, portanto, não provocando mau cheiro. A segunda se caracteriza quando os gases contidos na atmosfera do interceptor oceânico chegam em forma de "bolsões", ocasionando picos no analisador num espaço de minutos, que vão de 1 a 49,5 ppm.

O estudo desse problema levou à conclusão de que deveria ser controlada não apenas a vazão do esgoto mas também sua velocidade dentro do interceptor, para que o esgoto já oxigenado não perdesse suas características.

Medidas operacionais no funcionamento da EP foram tomadas e a incidência desses bolsões foi sensivelmente reduzida.

Desta forma faltava apenas um obstáculo para se conseguir o êxito total na aplicação deste processo, precisando-se acabar definitivamente com a formação dos "bolsões" de H₂S no interior do interceptor.

O problema ocorria no trajeto do interceptor: após receber sua última mistura de esgoto oxigenado na altura do canal 3, através do recalque da EEE-11, percorria mais 3 km até atin-

gir a EP. O esgoto chegava com teores de oxigênio dissolvido até o canal 2 e na entrada da EP o teor de OD era nulo.

Visando à solução definitiva do problema da EP, mais dois pontos de aplicação foram estudados. O primeiro, a instalação de oxigenação na estação elevatória Tomé de Souza, em São Vicente, que contribui com cerca de 300 l/s de esgotos lançados por seu recalque no interceptor próximo à EP. O segundo, no jardim da praia do José Menino, próximo ao canal 1, por meio de difusores longos. Como a experiência do PN foi negativa e o método seria o mesmo, foi descartada esta possibilidade.

A oxigenação do esgoto de São Vicente imediatamente refletiu nos resultados na chegada da EP, pois foram obtidos os primeiros teores de oxigênio dissolvido que variam de 3 a 5 mg/l.

O consumo nos pontos de aplicação na época era o seguinte:

Pontos de Aplicação	Vazão de O ₂ (m ³ /h)
EEE-4	42
EEE-7	42
EEE-11	58
EEE-12	48
EEE-14	62
ET (bombas)	22
ET (difusores)	25 (desativada)
EP	28 (desativada)
Tomé de Souza	48

O consumo mensal de O₂ previsto inicialmente da ordem de 68.000 m³ passou para cerca de 230.000 m³ e atualmente (maio/85), após acompanhamento ininterrupto com controle constante, testes de dosagens, conseguiu-se uma redução para 75.000 m³.

Evidentemente, com o crescimento do sistema de esgoto de Santos e principalmente de São Vicente, o sistema de oxigenação deverá crescer em paralelo para a manutenção dos resultados conseguidos, eliminando o gás sulfídrico que tanto incomodava a população do bairro do José Menino e das regiões circunvizinhas das estações elevatórias de esgoto.

7 Métodos de aplicação de oxigênio em esgotos

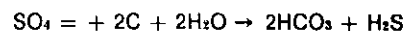
Resumo:

A estação de pré-condicionamento de esgotos (EPC) de Santos e São Vicente, assim como algumas novas estações elevatórias de esgotos operadas pela Sabesp, logo no início da operação em 1978, apresentaram uma produção muito intensa de gás sulfídrico (H₂S). Esse gás tem como uma das suas principais características um "odor de ovos podres", tornando insuportável a permanência nas imediações das instalações. A Sabesp, visando ao seu controle, após tentativas com vários métodos, implantou com sucesso a aplicação de oxigênio para controle de gás sulfídrico.

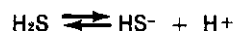
7.1 O que é o gás sulfídrico — (H₂S)

A presença de sulfetos nos esgotos é geralmente ocasionada pela redução bacteriológica dos sulfatos existentes na água potável e aumentando sua concentração nos esgotos.

Os sulfetos só se formam no esgoto com a ausência total do oxigênio. Os sulfatos são reduzidos pela bactéria **Desulfovibrio desulfuricans**:



Deve-se registrar que 100 g de sulfatos produzem 34 g de sulfetos. O sulfeto produzido é resultante de um equilíbrio de ions:



O sulfeto forma-se tanto no líquido quanto no limo resultante da deposição nas paredes das tubulações. A porcentagem de influência dos dois meios na formação do H₂S é discutível, havendo discordância entre pesquisadores. Há uma tendência em se fixar em 50% para cada situação.

Deve-se registrar a importância de uma velocidade marginal dos esgotos para se ter uma lavagem das paredes dos coletores e interceptores.

O H₂S formado é muito instável, sofrendo influência do pH: (Figura 2).

pH	Porcentagem de H ₂ S
5	99%
6	91%
7	50%
8	9%
9	1%

Quantidade de oxigênio necessária para o controle do gás sulfídrico (H₂S) nas EEE's da Sabesp na Baixada Santista. (gO₂/m³ esgoto) — 83

Pontos de Aplicação	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho
EEE-4	3,4	3,4	4,6	5,7	4,3	4,6
EEE-7	3,8	3,2	3,8	3,2	3,2	2,7
EEE-11	7,8	7,8	6,2	9,4	7,8	6,2
EEE-12	2,7	2,3	2,3	1,7	1,7	1,7
EEE-14	8,1	6,9	8,1	8,1	9,3	6,9
Tomé de Souza	4,8	3,6	6,0	4,8	3,6	3,6
EPC	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5

Como o pH dos esgotos varia em torno de 7, pode-se afirmar que se encontra 50% nas duas condições: molecular e iônica.

Na forma iônica (HS⁻ + H⁺) não produz o seu odor característico. Os sulfetos devem ser evitados, pois além de ocasionarem o odor incômodo acabam por produzir o ácido sulfúrico que ataca os coletores construídos com materiais não resistentes (concreto, cimento amianto...).

A taxa de produção de sulfetos num coletor e consequentemente a demanda de oxigênio são proporcionais à temperatura e DBO do esgoto. Dessa combinação de fatores nasceu um único parâmetro chamado DBO Efetiva = EDBO (Pomeroy e Bowlus — 1946).

$$EDBO = DBO_5 \times 1,07^{(T-20)} \quad (\text{com } T = ^\circ C)$$

Pomeroy, baseado em dados práticos e teóricos, desenvolveu a fórmula apresentada a seguir, para indicar a tendência do aparecimento de sulfetos.

Tradicionalmente a fórmula de Pomeroy é utilizada com medidas em pés, porém, à guisa de simplificação e maior facilidade no seu uso, apresentamos em unidades métricas:

$$Z = \frac{0,30 \cdot \text{EDBO}}{i^{1/2} \cdot Q^{1/3}} \cdot \frac{p}{b}$$

Z = n.º dimensional

i = declividade do coletor (m/m)

Q = vazão (m³/s)

p = perímetro molhado (m)

b = largura da superfície livre (m)

Os sulfetos são formados em coletores e interceptores onde Z é maior que 32.800. Paintal sugere não se ultrapassar 24.600, quando do dimensionamento de coletores. Deve-se também considerar a "tensão trativa" (função da velocidade e lâmina d'água) a fim de se evitar a produção de sulfetos. Nas literaturas indicadas há o desenvolvimento detalhado do dimensionamento. (Inclusive revista DAE — Vol. 45 — n.º 140.)

7.2 Índice de odor

A concentração mínima de H₂S em que o odor se torna perceptível ao olfato humano é denominada "limite de percepção de odor" (LPO).

Deve-se ressaltar que a sensibilidade do olfato varia de pessoa para pessoa, com as condições do ar, tais como temperatura, umidade etc... Por tudo isso o LPO é subjetivo.

Segundo bibliografia referente ao assunto, os valores fixados para LPO's são os mais desencontrados possíveis, reforçando a idéia de ser subjetivo.

Por exemplo, no Brasil, conforme decreto-lei n.º 8.468, de 8-9-76, o LPO = 0,00047 ppm, enquanto nos EEUU (WPCF) é de 0,0011 ppm para o H₂S.

7.3 Controle da produção de sulfetos

Os métodos existentes de controle na produção dos sulfetos, ou sua eliminação, visam sempre à alteração das principais características químicas: DBO e pH.

7.4 Métodos examinados pela Sabesp:

— O controle da temperatura é impraticável e qualquer método seria por demais oneroso.

— O pH é possível de ser controlado com a aplicação de produtos químicos tais como cal e soda cáustica. Ao se atingir o pH = 9 teremos quase todo o gás sulfídrico na forma iônica, logo não produzindo o odor característico. Lentamente, também irá eliminando os organismos do limo. Essa condição de pH alto é alterada rapidamente em função das novas contribuições de esgotos existentes, extensão de coletores e interceptores, despejos industriais, temperaturas etc... Com isso resultarão novamente os sulfetos na forma molecular. A Sabesp efetuou testes com essas duas substâncias, mas não obteve resultados práticos pelas razões acima.

— DBO responde diretamente pelo consumo de oxigênio e a formação de H₂S. Logo, fornecendo-se oxigênio aos esgotos compensa-se a perda de oxigênio provocada pela DBO, o que pode ser conseguido empregando:

Água Oxigenada: eficiente, mas é muito oneroso.

Nitratos: fornecem O₂, mas também é dispendioso.

Oxigênio puro: descrito com detalhes a seguir.

Outros processos podem ser usados mas todos muito onerosos e de eficiência discutível.

Cloro: eficiente mas muito oneroso, pois exige que se atinja o **break-point** para completa eliminação dos sulfetos. Por exemplo: na EPC em Santos seria necessário dosar 160 mg/l, representando para uma vazão média de 1.200 l/s de esgoto um consumo diário de cloro de 16,6 t/dia. Exigiria, também, instalações adequadas e dispendiosas para receber eficientemente esta quantidade de cloro.

Metais Pesados: (Zn, Fe) — precipitam o íon S⁻, mas é método não totalmente desenvolvido.

Injeção de ar: eficiente para pequeno coletor e baixas vazões. Conforme Pomeroy, cada centímetro quadrado de diâmetro de tubulação exigiria 11 l/min. Logo, extrapolando para coletores-troncos e interceptores, a quantidade de ar necessária exigiria compressores e/ou sopradores de grande porte e instalações onerosas. Sua eficiência fica comprometida pela grande quantidade de outros gases existentes no ar (hidrogênio, nitrogênio, etc...), pois apenas 21% do volume será de oxigênio e parte deste será consumido pelo esgoto; os restantes 79% ocuparão os espaços entre as moléculas de água, expulsando o gás sulfídrico existente, provocando forte concentração nas imediações da aplicação. Foi efetuado teste no coletor Rebouças de Santos (Ø = 1,4 m), sendo necessário ser rapidamente desativado. As figuras 3 e 4 mostram o comportamento da oxigenação com ar, comparado com o uso de oxigênio puro.

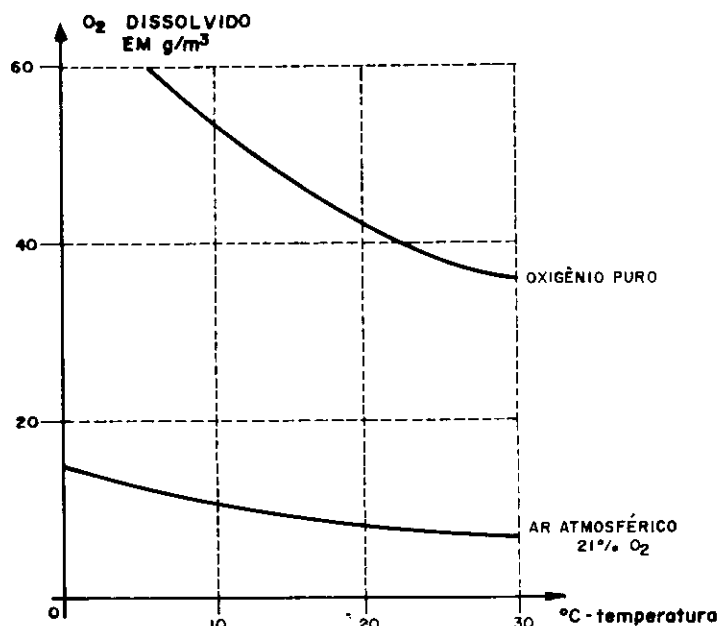


Figura 3

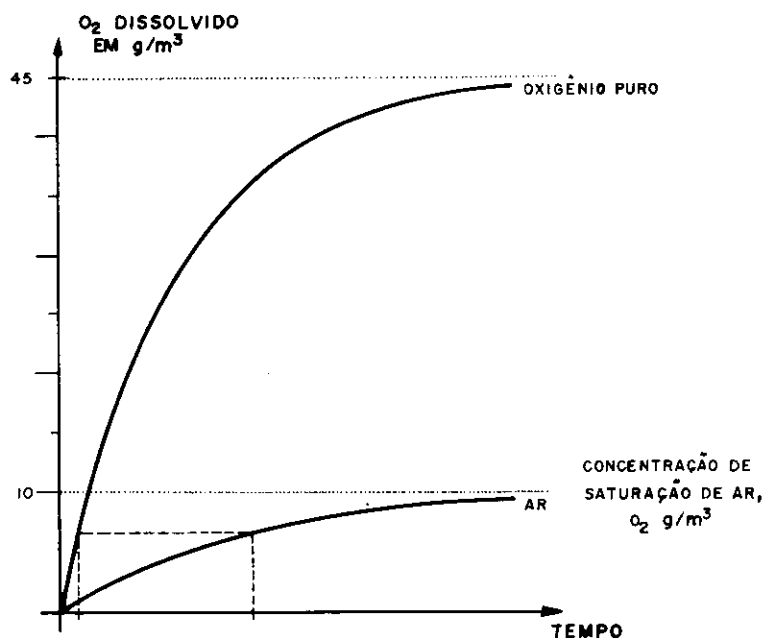


Figura 4

7.5 Aplicação de oxigênio

O oxigênio injetado oxida os sulfetos, na proporção de 1:1, conforme a reação abaixo:



Independentemente da eliminação do H_2S , o oxigênio injetado torna o sistema aeróbio, evitando que se forme o temido H_2S .

Este efeito residual age sobre novas contribuições de esgotos ou despejos industriais.

7.6 Processo de injeção de oxigênio

O processo de eliminação de odores provenientes da emanção de H_2S em esgotos parte de algumas premissas básicas tais como:

a) O sulfeto de hidrogênio reage com oxigênio nascente (O^-) muito mais facilmente do que com oxigênio molecular (O_2). O oxigênio nascente pode ser proveniente da decomposição de ozônio (O_3) ou peróxido de hidrogênio (H_2O_2).

b) O sulfeto de hidrogênio reage com o oxigênio molecular, e os produtos de reação não provocam os mesmos efeitos de odores desagradáveis do sulfeto de hidrogênio, mas esta reação não se dá com a mesma facilidade que a reação de H_2S com o oxigênio nascente.

c) Por razões econômicas, normalmente é mais interessante ser utilizado oxigênio molecular do que oxigênio nascente proveniente de ozônio ou peróxido de hidrogênio.

d) É mais conveniente, quando possível, que seja mantido um nível ra-

zoável de oxigênio dissolvido no esgoto, de forma a atender à demanda de oxigênio do esgoto para impedir a formação de sulfeto de hidrogênio, do que, uma vez formado este gás, fazê-lo reagir com oxigênio molecular para sua eliminação.

Então, fundamentalmente, o processo se baseia em:

— Dissolver no esgoto quantidade de oxigênio suficiente para reagir com H_2S .

— Dissolver no esgoto uma quantidade adicional de oxigênio suficiente para que não haja qualquer formação posterior de H_2S enquanto o esgoto fluir de um ponto a uma estação elevatória ou de uma estação elevatória a qualquer outro ponto.

Podemos dizer que o esgoto, ao ser oxigenado adequadamente num determinado ponto ou estação elevatória, não irá produzir ou emanar mais nenhum H_2S até outro determinado ponto onde houver ainda um teor adequado de oxigênio dissolvido.

O oxigênio é dissolvido no esgoto utilizando-se apenas a própria energia proveniente da sua passagem do estado líquido para o estado gasoso, isto é, a própria pressão do oxigênio no interior do tanque criogênico de armazenamento, não havendo assim necessidade de bombas, dispositivos ou equipamentos que consumam qualquer forma de energia que não a contida no oxigênio líquido.

A dissolução do oxigênio no esgoto se dá pela criação de microbolhas de diâmetros de aproximadamente 50 milésimos de milímetro, tornando possível uma dissolução eficiente mesmo a baixas pressões.

Para se ter uma idéia do poder de dissolução do oxigênio nas condições acima, leve-se em conta que 1 l de oxigênio gasoso em condições normais de temperatura e pressão terá uma superfície de contato com o esgoto de aproximadamente 120 m^2 , e 1 m^3 de oxigênio, na mesma situação, terá uma superfície de contato com o esgoto de aproximadamente 120 mil m^2 .

O equipamento utilizado para criar as microbolhas é um dispersor construído com material flexível microperfurado. A área externa do difusor é proporcional à vazão de oxigênio necessária e à pressão hidrostática a que está submetido.

A cada microbolha formada num determinado furo há uma correspondente deformação elástica do material flexível, promovendo a limpeza do furo, evitando, assim, entupimentos.

Em cada estação elevatória deverá ser instalado um dispersor de oxigênio logo após a saída de cada bomba, por onde fluirá o oxigênio.

Em cada local de utilização de oxigênio é instalado um analisador de H_2S automático, que enviará um sinal ao painel de controle, aumentando ou diminuindo o fluxo de oxigênio.

Nos dispersores localizados após cada bomba, somente é injetado oxigênio quando a bomba entrar em operação e, conseqüentemente, haverá então uma dosagem de oxigênio em função do volume do esgoto bombeado, além da dosagem comandada pelo painel de controle em função do nível de H_2S dissolvido no esgoto.

Em uma das instalações de recalque as bombas são de capacidade variável, porém a vazão não é alterada frequentemente. Quando houver alteração da vazão de uma determinada bomba, deverá haver a correspondente alteração do fluxo de oxigênio, o que é feito manualmente no próprio painel de controle de fluxo de oxigênio.

Como o processo de injeção de oxigênio puro prevê a sua utilização para duas finalidades distintas, ou seja, para eliminar o H_2S e para manter um nível de oxigênio dissolvido de maneira a atender à DBO, associamos uma terceira utilização, que é a de conter a corrosão, tendo-se em vista a eliminação do H_2S , conseqüentemente a formação de H_2SO_4 .

Fica claro que qualquer redução da vazão do esgoto não interferirá na vazão de oxigênio necessária à reação com H_2S , a qual é controlada à parte e é aumentada ou diminuída em função do sinal proveniente do analisador de H_2S .

As variações de DBO, taxa de respiração do esgoto, temperatura do esgoto, vazão e velocidade do esgoto nas linhas de recalque e de escoamento por gravidade, altura da lâmina de esgoto nas mesmas linhas etc., têm influência decisiva nas necessidades de oxigênio para eliminação das emanações de H₂S. Os consumos de oxigênio poderão variar em cada ponto ou estação elevatória em função das características do esgoto já citadas.

A medida que o esgoto flui pela rede coletora, a concentração de oxigênio dissolvido gradualmente diminui, devido a uma demanda que é maior que o fornecimento.

Em algum ponto do sistema o oxigênio dissolvido é exaurido e os sulfetos dissolvidos alcançarão concentrações médias excedendo 0,1 mg/l; a corrosão geralmente é evidenciada.

Estima-se que em condições tropicais as condições médias anuais de sulfetos dissolvidos de 0,1 mg/l a 1,0 mg/l produzem ataques no concreto comum segundo taxas de: 25 mm/século a 250 mm/século.

O processo de injeção de oxigênio puro foi citado no 7.º Congresso de IAWPR, em Paris, setembro de 1974, através de um trabalho descrevendo a injeção de oxigênio puro em tubulações com excelentes resultados.

Na verdade, o processo de injeção de oxigênio puro foi empregado pela primeira vez em 1970 para um suprimento suplementar na estação de tratamento de esgotos na cidade de Simi Valley, Califórnia, USA.

7.7 Dosagens de oxigênio

Várias considerações devem ser observadas para a fixação das dosagens iniciais:

— Em condições normais de operação o oxigênio injetado é aproveitado em cerca de 20 a 30% para oxidação dos sulfetos; o restante irá oxidar a matéria orgânica, evitando a geração dos sulfatos.

— O nível de oxigênio dissolvido depende da pressão, temperatura e agente oxidante:

Com ar a 760 mm Hg a 15°C = 10,2 mg/l O₂ na água.

Com O₂ a 760 mm Hg a 15°C = 48,5 mg/l O₂ na água.

Comparando esses valores, vemos a eficiência do oxigênio puro em relação ao existente no ar.

— Apesar de alguns pesquisadores fixarem em 0,5 mg/l o limite máximo de gás sulfídrico, para se evitar as emanações de odor, não se deve des-

prezar o efeito da temperatura e pH dos esgotos.

— Utilização da fórmula de Z (Pomeroy) para auxiliar no dimensionamento de coletores.

— Considerar que os despejos industriais, mesmo quando intermitentes, fatalmente aumentarão a DBO e provavelmente abaixarão o pH, aumentando a porcentagem molecular do H₂S.

— Levantamento das condições do sistema, registrando principalmente os teores de H₂S, pH, DBO dos pontos críticos.

MUITO IMPORTANTE: Os valores a serem considerados para fixação das dosagens serão sempre aqueles obtidos em situação mais desfavorável e representando os picos máximos. Os valores médios serão úteis para se verificar o consumo médio, nunca para fixar as dosagens.

— Com esses valores acrescidos de dados físicos particulares dos sistemas, pode-se basear em Pomeroy e outros pesquisadores para o cálculo do **consumo teórico** de oxigênio para oxidar o limo das paredes e da massa líquida.

Conforme se observa no quadro, onde as vazões de O₂ foram calculadas inicialmente em função das variáveis e relacionando-as com dosagens médias reais nos pontos de aplicação, constata-se que as dosagens de oxigênio variam sensivelmente, isto em razão das influências já apresentadas.

Estação	Consumo de O ₂ (m ³ /h)	Teores de H ₂ S (mg/l)	Consumo O ₂ (litros) Por ppm de H ₂ S	DBO ₅ (mg/l)
7	42,0	7,0	16,30	313
11	58,0	7,0	46,00	320
12	48,0	10,0	5,60	416
14	62,0	5,0	65,00	508

Bem claro deve ficar que serão valores iniciais, os práticos serão obtidos após acompanhamento diário e ininterrupto, pois as variações serão constantes, exigindo sempre acertos nas dosagens. No sistema de oxigenação de Santos são efetuadas em média 1.500 análises diversas por mês.

Observação:

Como a dissolução do oxigênio num líquido, no caso o esgoto, é diretamente proporcional à pressão que atua sobre este líquido, observou-se uma queda muito grande no aproveitamento do oxigênio aplicado em coletor-tronco e interceptadores, cujo nível médio de operação é da ordem de 2 a 3 m.

Neste caso devem ser utilizados outros métodos de aplicação sugeridos a seguir.

7.8 Outros métodos de aplicação de oxigênio

O aplicado na Baixada Santista recebe o nome de injeção direta em conduto forçado, mas existem outros métodos possíveis de ser aplicados e sempre mais onerosos e com limitações, dependendo do caso particular de cada ponto de aplicação. Os principais são:

— Injeção Direta na Estação de Bombeamento;

— Injeção Direta com Oxigenador (Tanque de Compressão);

— Injeção Direta com Recirculação;

— Injeção Direta em Canais e Interceptores.

— Pesquisas atuais

Atualmente a Sabesp, pela sua Superintendência Regional da Baixada Santista, desenvolve os seguintes testes:

— Aplicação de ar comprimido em estações elevatórias de pequeno porte.

— Aplicação de mistura de ar comprimido e oxigênio puro em elevatórias de maior porte.

Ambos visando à redução dos gastos para aquisição do oxigênio puro.

8 Bibliografia

1. U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY
Process Design Manual for Sulphide Control in Sanitary Sewerage System — OCT. 1974.
2. Boon, A. G. e Lister, A. R.
Formation of Sulphide in Rising Main Sewers and Its Prevention — SEPT. 1974.
3. Pomeroy R. D. — Process Design Manual for Sulphide Control in Sanitary Sewerage Systems.
4. Pellegrini F. C., Nakamura M. e outros — Air Products
Relatórios de Implantação, Geração e Eficiência do Sistema de Oxigenação na Baixada Santista — 1982.
5. IMHOFF K. — Tradução HESS M. L.
Manual de Tratamento de Águas Residuárias — 21.a Edição — 1966.