

X-019 - ESTUDO DE CASO: APLICAÇÃO DE PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO PARA OXIDAÇÃO DE SULFETOS EM SISTEMA ANAERÓBIO DE GRANDE PORTE

César Augusto Marin⁽¹⁾

Engenheiro de Desenvolvimento Operacional da Unidade de Serviços de Esgoto da Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR. Mestrando em Engenharia Ambiental pelo Departamento de Hidráulica e Saneamento da UFPR e graduação em Engenharia Ambiental pela UFPR.

Eduardo Massahiro Ishisato⁽²⁾

Técnico de Processo da Unidade de Serviços de Esgoto da Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR. Técnico Químico pelo CEEP-Curitiba.

Aline Assunção Bongioiolo⁽³⁾

Mestranda em Meio Ambiente Urbano e Industrial na UFPR. Possui graduação em Engenharia Ambiental pela UFPR e Especialização em Gestão Socio Ambiental pela FACET-PR.

Bárbara Zanicotti Leite⁽⁴⁾

Pesquisadora da Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR. Doutoranda no Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental da UFPR, mestre em Tecnologia Química pela UFPR, autora (co-autora) de 19 trabalhos científicos e três capítulos de livros na área de saneamento.

Endereço⁽¹⁾: Av. Marechal Deodoro, 3081 – Alto da XV - Curitiba - PR - CEP: 80045-375 - Brasil - Tel: (41) 3330-7046 - e-mail: cmarin@sanepar.com.br

RESUMO

Os sistemas anaeróbios de tratamento de esgoto são largamente utilizados no Brasil, mas perto de comunidades devem ter sua emissão de maus odores controlada. Um dos compostos a ser controlado é o sulfeto de hidrogênio, que pode ser oxidado em meio líquido com peróxido de hidrogênio. Isto foi executado em um sistema anaeróbio de grande escala em 2012, e este trabalho visou obter informações a partir dos dados operacionais gerados neste período. Em relação ao efeito na oxidação do efluente dos RALFS: com aplicação simples (em uma só canaleta de coleta de efluente), obteve-se bons resultados somente em dosagens próximas a 4,0 kg H₂O₂/kg S⁻², mas sem confiabilidade; após distribuição da aplicação em 18 das 21 canaletas de cada linha, passou-se a obter bons resultados na faixa de 1,5 a 2,0 kg H₂O₂/kg S⁻², sendo que abaixo de 2,0 kg H₂O₂/kg S⁻² o sistema garantiu o resultado desejado em 89,7% do tempo, e esta dosagem pode ser reduzida com mesma eficiência a partir de melhorias já sendo avaliadas. Por outro lado, o efluente passou a adquirir uma coloração acinzentada, porém este efeito e seu controle devem ser melhor estudados. Finalmente, o controle de sulfetos na saída das lagoas não foi satisfatório, mesmo com controle do efluente dos reatores e manutenção de residual de peróxido. Assim, deve-se avaliar a utilização de peróxido de hidrogênio caso a caso.

PALAVRAS-CHAVE: Controle de Maus Odores, Oxidação Química, Sulfeto de Hidrogênio, Reator Anaeróbio, Peróxido de Hidrogênio, UASB, RALF.

INTRODUÇÃO

Os reatores tipo UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) e/ou RALF (Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado) são tecnologias de tratamento de esgoto amplamente utilizadas no Brasil. Por serem fundamentalmente anaeróbias, as ETEs que usam esta tecnologia têm gerado problemas com maus odores, cuja principal causa diagnosticada é a produção de sulfetos no meio líquido que se desprendem para atmosfera na forma de ácido sulfídrico, sobretudo em áreas com cascadeamento e/ou ressaltos hidráulicos.

Dentro das tecnologias de controle e tratamento disponíveis para redução destas emissões, a aplicação de oxidantes seletivos tem sido bastante difundida, já que permitem obter resultados em curto prazo, viabilizando melhorias em longo prazo sem ônus aos habitantes vizinhos durante este período.

Um oxidante com bom potencial para este objetivo é o peróxido de hidrogênio, objeto de estudo deste trabalho, e que teve sua aplicação viabilizada em grande escala em 2012 na ETE alvo do trabalho, principalmente devido aos resultados obtidos em CARDOSO *et al*, 2011.

O peróxido de hidrogênio reage com sulfetos de acordo com as seguintes equações:



Suas aplicações em campo bem sucedidas têm utilizado cerca de 3,0 kg H_2O_2 /kg S^{-2} (WEF e ASCE, 1995). Para as ETEs com UASB ou RALF, a equação predominante é a 1.a, já que o pH se situa normalmente entre 6,5 e 7,5. No trabalho de CARDOSO *et al*, 2011, mostrou-se que em ETEs anaeróbias pode ser conseguido até 90% de eficiência na oxidação dos sulfetos, desde que com dosagens de 1,5 a 2,0 kg H_2O_2 /kg S^{-2} , e se houver contato de no mínimo 5 minutos.

A ETE do caso estudado é composta por tratamento preliminar mecanizado (grades tipo esteira de peneiramento mecânico com 19 mm de espaçamento e desarenador quadrado tipo “door Oliver”), tratamento secundário por 2 linhas compostas por 3 RALFs paralelepípedicos de 70 L/s (totalizando 420 L/s como vazão de projeto) com separação trifásica em L e abertura periférica na câmara de decantação, e pós-tratamento em 2 lagoas de sedimentação com estabilização anaeróbia de lodo, projetadas para 3,5 dias de detenção em fim de plano (420 L/s). Os principais pontos de emissão de maus odores são os reatores e as lagoas.

Até então, o tratamento de maus odores nesta ETE era feito com controle de ressaltos hidráulicos, queima dos gases da câmara de combustão e aplicação de cloro como oxidante de sulfetos, mas esta última alternativa não vinha apresentando resultados satisfatórios. O objetivo deste trabalho é, a partir da experiência de quase 10 meses de aplicação de peróxido de hidrogênio desta ETE, fornecer informações quantitativas e qualitativas que subsidiem a avaliação desta alternativa em processos de decisão para outras ETEs anaeróbias.

O desenvolvimento desse trabalho contou com o apoio dos técnicos e operadores da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) e da PERÓXIDOS do Brasil LTDA.

MATERIAIS E MÉTODOS

Cada um dos RALFs tem a vazão de saída distribuída de forma homogênea através de 07 canaletas coletoras, que são interceptadas por uma canaleta principal. Neste caso, a grande dificuldade na aplicação do peróxido de hidrogênio está no tempo de reação que se apresenta, limitado pela estrutura hidráulica da planta.

Por isso, projetou-se um sistema de aplicação distribuída no início de cada canaleta coletora, o que divide os resultados em dois momentos distintos:

- De maio a agosto de 2012: aplicação simples, no início da primeira canaleta do primeiro reator de cada linha (semelhante ao da Figura 1, sem a parte da distribuição); neste caso, o tempo de contato foi de aproximadamente 4 minutos na vazão média até a entrada das lagoas.
- A partir de setembro de 2012: aplicação distribuída em 19 das 21 canaletas de coleta de cada linha, com sistema desenvolvido e instalado pela Peróxidos do Brasil LTDA., que é apresentado na Figura 1. Com esta mudança, pôde-se chegar até 7 minutos de contato na vazão média.

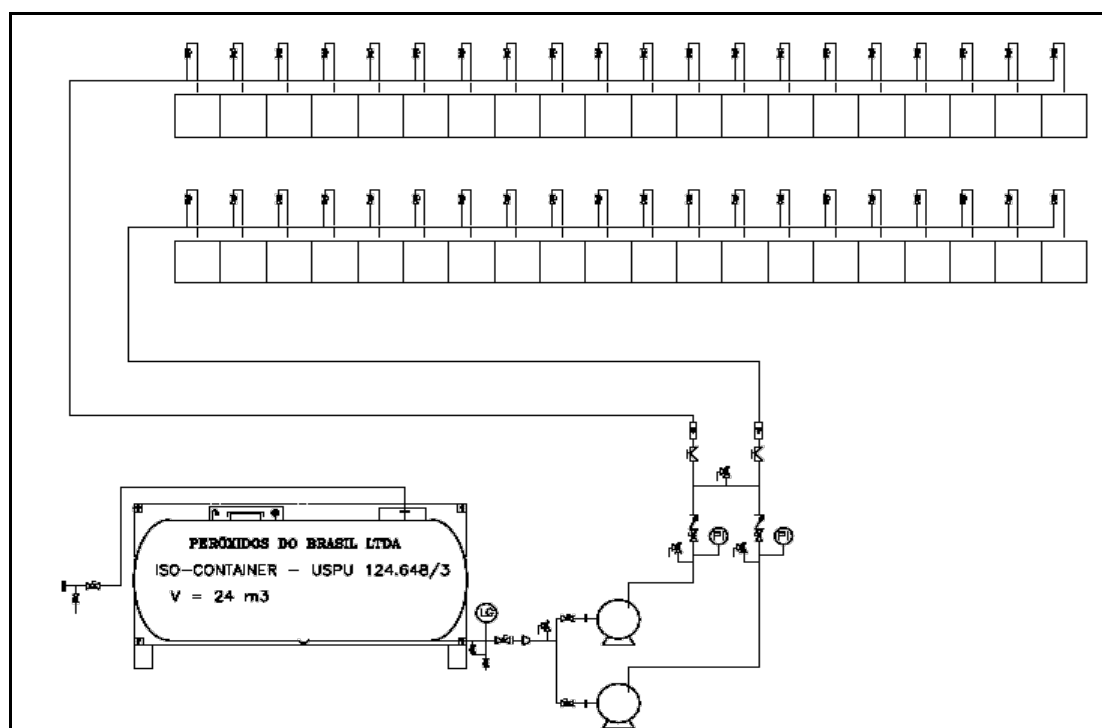


Figura 1: Esquema do sistema de dosagem desenvolvido para aplicação distribuída (os quadrados representam cada canaleta dos reatores). A vazão de aplicação é forçada por uma bomba centrífuga de 0,75 cv (com reserva), regulada a partir de registro esfera e rotâmetro, e a distribuição é mantida com ajuste manual de válvulas esfera localizadas em cada canaleta do reator.

Imagem cedida pela Peróxidos do Brasil LTDA.

Inicialmente, a orientação operacional era a manutenção de $1,5 \text{ kg H}_2\text{O}_2/\text{kg de S}^{-2}$, com controle de dosagem a cada 2 horas a partir da seguinte fórmula:

$$\text{Dosagem}\left(\frac{\text{L}}{\text{h}}\right) = 0,009 \times \text{Vazão}\left(\frac{\text{L}}{\text{s}}\right) \times \text{Sulfetos}\left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \quad \text{equação 2}$$

A equação 2 foi obtida considerando que cada litro do produto aplicado possui 0,6 kg de H_2O_2 (1,2 kg/L a 50%) e equalizando as unidades (visando facilitar a operação do sistema de aplicação).

A estratégia para controlar a emissão de maus odores da ETE era oxidar todos os sulfetos presentes no meio líquido antes do fluxo chegar às lagoas. Entretanto, como será visto nos resultados, foi verificado que as lagoas também são produtoras de sulfetos, e por isto mudou-se a estratégia para se manter um residual de peróxido suficiente para a saída das lagoas também estivesse ausente de sulfetos. Claro que, para isto, a dosagem teve que ser consideravelmente aumentada.

O resultado de ambas as aplicações foi avaliado no meio líquido, sempre a partir do valor de sulfetos totais, bem como a partir da operacionalidade do sistema.

Para o meio líquido, foram utilizados quatro pontos de coleta: dois deles correspondendo aos sulfetos totais dos reatores (coleta com frasco simples antes de o efluente verter para a canaleta, um em cada primeiro reator de cada linha), um na caixa de distribuição de fluxo às lagoas e outro após mistura da saída das lagoas, ou seja, no efluente final, intitulados respectivamente de R1,R2,CX e EF. A determinação de sulfetos totais no meio líquido foi feita pelos operadores no laboratório da ETE, através de análise titulométrica normativa da SANEPAR – procedimento este definido pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, WEF, AWWA, 2005) e cujo resultado é válido para concentrações acima de $1,0 \text{ mg/L}$. Para concentrações menores, foi assumido o valor de $1,0 \text{ mg/L}$.

RESULTADOS

De posse dos relatórios operacionais do período de maio de 2012 a janeiro de 2013, com os resultados de vazão afluente à ETE, dosagem de peróxido e sulfetos conforme metodologia apresentada, foi possível compilar importantes informações para o objetivo deste trabalho.

Como primeira abordagem, analisar os dados a partir de histórico sequencial se mostrou infrutífero devido ao grande volume de dados e alta variabilidade entre eles (os gráficos de histórico ficaram ininteligíveis). Além disto, é importante lembrar que estes dados foram produzidos para operação da estação, e assim estão sujeitos a erros aleatórios além daqueles inerentes à parte laboratorial: diferenças na coleta, frequências nem sempre mantidas, perícia do operador, entre outros, e por isto devem ser avaliados em conjunto e não de forma isolada. Assim, mudou-se o foco para o estudo dos resultados mensais da ETE.

Concentra-se a atenção nos resultados desejados pela estratégia inicial, ou seja, oxidar todos os sulfetos líquidos, os quais estão apresentados na Tabela 1. O primeiro aspecto a ser analisado é que, mesmo com aplicação simplificada e pouco tempo de contato, pôde-se obter de 60 a 70% de eficiência na oxidação dos sulfetos, tendo resultado entre 5 e 7 mg S²/L. Após a melhoria aplicada na distribuição, chegaram-se aos mesmos 90% de remoção de CARDOSO *et al.*, 2011, e os resultados passaram a oscilar entre 1 e 2 mg S²/L.

Poder-se-ia atribuir a melhoria no processo ao aumento da dosagem, que começou a ser realizada em agosto, um mês antes da instalação do sistema de aplicação distribuída, já que só então os resultados começaram a apresentar progresso. Mas, se for comparado o mês de agosto de 2012 – onde a aplicação ainda era realizada de forma simples, e teve-se uma aplicação média de 2,4 kg H₂O₂/kg S² – com o mês de janeiro de 2013 – que teve aplicação média distribuída de 2,7 kg H₂O₂/kg S² – vê-se que, com dosagens semelhantes, pôde-se melhorar o processo de 73% para 90 % de eficiência, garantindo os resultados entre 1 e 3 mg S²/L.

Outra evidência observada da melhora com a aplicação distribuída é a estabilidade do processo. Na Figura 2.a, mostra-se a eficiência obtida em relação à taxa de dosagem utilizada. Vê-se que houve vários excessos de dosagem com a aplicação distribuída, mas próximo de 2,0 kg H₂O₂/kg S² vários dados ficaram próximos de 90%. Já para a aplicação simples, o sistema passa a ser bastante instável, com os dados apresentando muita variação.

Mesmas conclusões são obtidas quando se vê o resultado efetivo, a concentração de sulfetos em CX, apresentada na Figura 2.b. Para a estratégia inicial, era considerado bom o resultado que ficasse abaixo de 3,0 mg S²/L em CX. Está bem claro neste gráfico que a aplicação simples só ganha confiabilidade a partir de 4,0 kg H₂O₂/kg S² enquanto que para a aplicação distribuída pode-se considerar 2,0 kg H₂O₂/kg S² uma dosagem suficiente.

Por fim, para deixar esta questão bem esclarecida, a Figura 3 mostra uma comparação da confiabilidade dos dois sistemas, após inferência estatística utilizando uma distribuição log-normal para concentração de sulfetos em CX. Para taxas menores ou iguais a 2,0 kg H₂O₂ / kg S², pode-se esperar que o resultado fique bom segundo a estratégia inicial em apenas 14,9% do tempo com a aplicação simples e em 89,7% do tempo para a aplicação distribuída.

Tabela 1: Resumo da vazão média horária, concentrações, dosagens e resultados obtidos pela ETE no período de maio de 2012 a janeiro de 2013, considerando apenas o tratamento até a entrada das lagoas. São apresentadas a média de cada mês e, abaixo do valor médio e entre parênteses, a faixa de variação dos dados.

Mês	Vazão Média Horária ETE L/s	Conc. R1 mgS ⁻² /L	Conc. R2 mgS ⁻² /L	Dosagem mgH ₂ O ₂ / L	Aplicação kgH ₂ O ₂ / kgS ⁻²	Conc. CX mgS ⁻² /L	Efic. CX %
Maio ¹	246 (170 a 322)	21,2 (13,8 a 27,6)	20,3 (12,8 a 25,9)	33 (20 a 50)	1,5 (0,7 a 2,2)	6,9 (2,5 a 10,2)	69 (37 a 92)
Junho ¹	298 (225 a 371)	12,9 (1,0 a 25,4)	12,5 (1,0 a 23,0)	27 (15 a 60)	1,9 (0,4 a 3,4)	4,5 (<1,0 a 8,2)	66 (0 a 94)
Julho ¹	275 (180 a 370)	17,5 (8,6 a 25,3)	17,2 (7,9 a 26,1)	42 (22 a 90)	2,1 (1,1 a 3,2)	6,6 (3,5 a 11,5)	64 (30 a 84)
Agosto ¹	257 (155 a 359)	20,0 (14,2 a 26,3)	20,4 (14,8 a 27,5)	60 (30 a 92)	2,4 (1,2 a 4,0)	5,5 (2,3 a 9,7)	76 (54 a 92)
Setembro ²	278 (182 a 374)	16,1 (7,4 a 24,2)	16,2 (7,8 a 23,6)	75 (25 a 157)	3,9 (1,4 a 6,4)	1,6 (<1,0 a 2,2)	91 (75 a 99)
Outubro ²	295 (193 a 398)	15,6 (8,4 a 22,5)	14,9 (7,9 a 21,8)	69 (22 a 135)	3,7 (1,0 a 6,5)	1,2 (<1,0 a 1,7)	93 (86 a 96)
Novembro ²	273 (182 a 344)	16,6 (9,3 a 25,8)	16,0 (6,8 a 25,8)	71 (35 a 100)	3,7 (1,6 a 5,8)	1,2 (<1,0 a 2,0)	93 (85 a 98)
Dezembro ²	319 (124 a 414)	15,3 (2,8 a 20,1)	15,6 (6,4 a 21,8)	47 (27 a 112)	2,7 (1,2 a 4,9)	1,7 (<1,0 a 3,2)	89 (79 a 95)
Janeiro ²	272 (181 a 365)	18,7 (11,9 a 28,5)	17,6 (10,5 a 24,1)	57 (30 a 95)	2,7 (1,4 a 3,9)	1,9 (<1,0 a 3,1)	90 (82 a 98)

¹Aplicação simples

²Aplicação distribuída

Isto elucida outro importante fato: a distribuição da aplicação foi fundamental para esta ETE, visto que com isto se ganha aproximadamente 50% de economia no consumo de produto, e maior confiabilidade no resultado da oxidação. Especula-se que isto seja devido a três fatores fundamentais: com a aplicação distribuída atinge-se um tempo de contato superior ao da aplicação simples, concentrações maiores para reação e consequentemente maior velocidade de reação (com a distribuição da aplicação, o efeito de diluição entre uma canaleta e outra é reduzido); e maior agitação (maior velocidade nas canaletas e vorticidade no encontro de cada canaleta com a canaleta principal). É neste último ponto que está sendo avaliada uma melhoria: serão instaladas chicanes na canaleta principal, visando aumentar a turbulência, contanto sem gerar cascadeamento e escape de gases.

Apesar destas vantagens, a distribuição desenvolvida ainda apresenta falhas. Nas vazões de trabalho, sempre que houve necessidade de alterar a dosagem, os operadores da ETE reportaram que a regulagem da distribuição era perdida. Vários registros acabam não tendo força para vencer a resistência da pressão atmosférica, e por vezes formam bolhas que a linha não tem pressão suficiente para deslocar. O peróxido de hidrogênio por si também forma bolhas de ar, devido à sua natural decomposição, estimada em 1% ao ano. Isto não é problema em termos de perda de eficiência de oxidação, mas é um problema para distribuição, já que as bolhas acabam obstruindo alguns dos registros de distribuição, sobretudo com a ação do sol nas tubulações. Para este problema, está sendo avaliado o uso de água de arraste em proporções de 2:1 e 3:1, mas até então não existem resultados conclusivos.

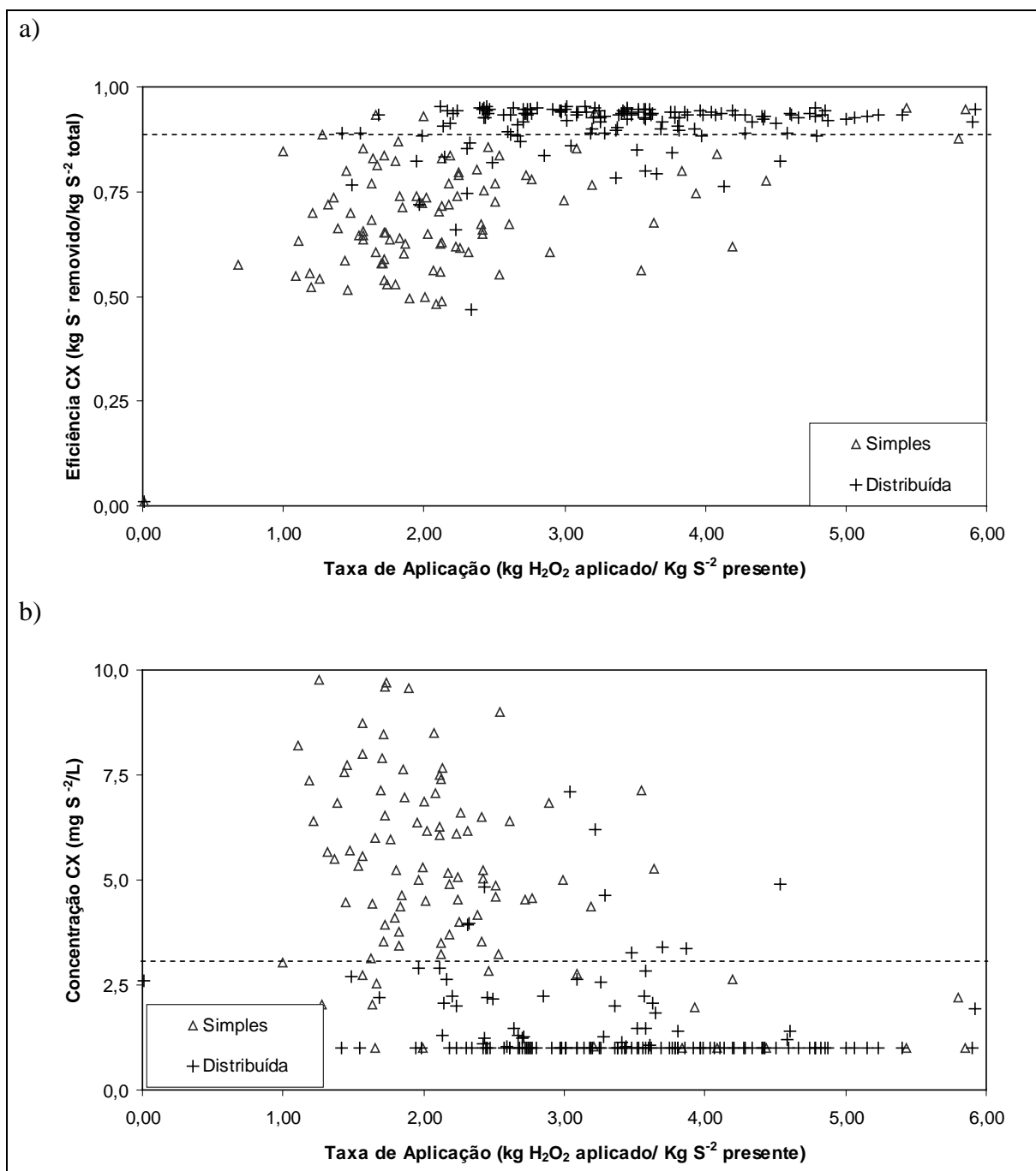


Figura 2: Gráficos de Resultado x Aplicação obtidas a partir dos dados operacionais, sendo a) eficiência de oxidação e b) concentração de sulfetos na caixa distribuidora de fluxo (CX). As linhas tracejadas representam os objetivos iniciais, ou seja: a) 90% de eficiência e b) 3,0 mg S⁻²/L.

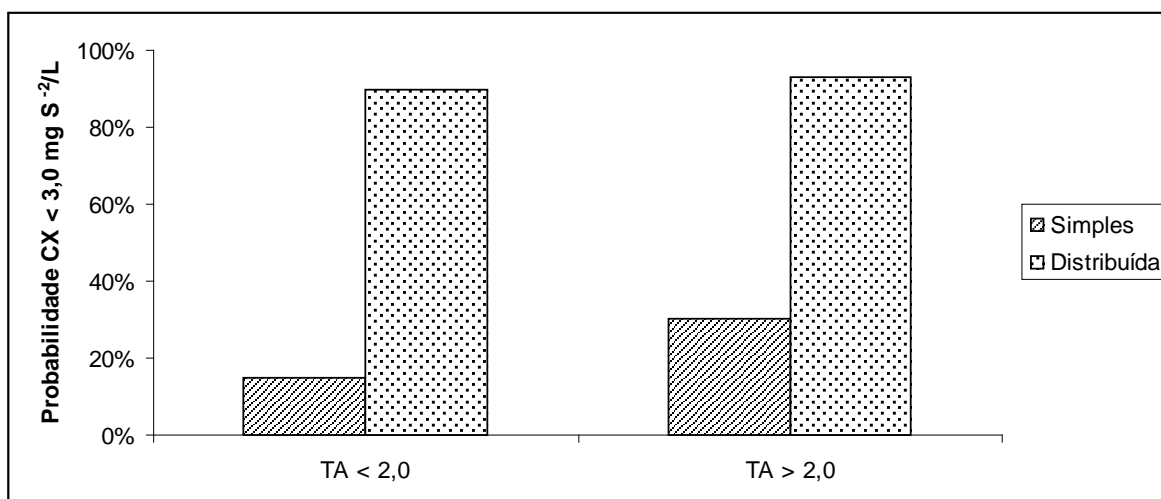


Figura 3: Comparação entre a confiabilidade dos sistemas (TA é a taxa de aplicação de peróxido de hidrogênio, em kg H₂O₂/kg S⁻²)

Há ainda um problema mediano, que é a alteração na cor do efluente. Após aplicação de peróxido, o efluente passa de uma coloração verde escuro da saída do reator para uma coloração turva e amarelo-acinzentada, bem semelhante ao esgoto séptico. Vê-se comparação disto na Figura 4. Não houve impacto nos resultados da ETE devido a isto, mas o aspecto de um efluente sempre é algo que deve ser considerado. Ainda não há solução definida para este problema, nem sabe-se quais compostos químicos geraram este efeito.

Conforme comentado, a estratégia inicial para controlar a emissão de maus odores da ETE era oxidar todos os sulfetos presentes no meio líquido antes do fluxo chegar às lagoas, e os resultados obtidos foram os apresentados até agora. Na Tabela 2, além de alguns resultados obtidos na caixa distribuidora de fluxo (CX), estão apresentados também os resultados obtidos para o efluente final (EF), ou seja, após uma média de 5 dias dentro das lagoas. Com a aplicação simples, os resultados obtidos em EF são semelhantes aos de CX, e isto levava a crer que, melhorando o resultado em CX, o da lagoa também melhoraria.

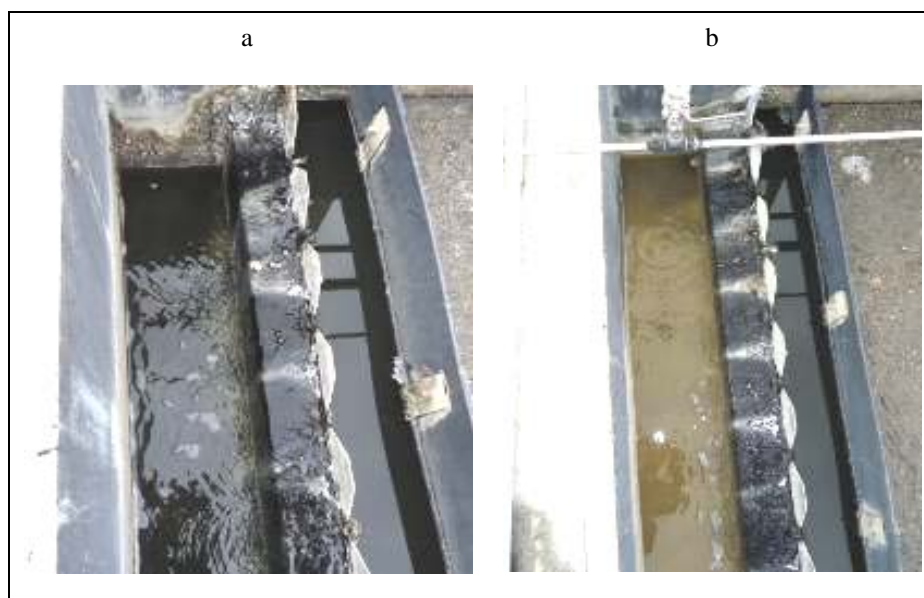


Figura 4: Mudança de coloração do efluente, sendo a) sem H₂O₂ e b) com H₂O₂

Tabela 2: Resumos das concentrações de sulfetos na caixa distribuidora de fluxo (CX) e no Efluente Final (EF), evidenciando a produção de sulfetos pela lagoa e a melhora obtida gradualmente com a manutenção de residual. São apresentadas a média de cada mês e, abaixo do valor médio e entre parênteses, a faixa de variação dos dados.

Mês	Vazão Média Horária ETE L/s	Aplicação $\text{kgH}_2\text{O}_2 / \text{kgS}^{-2}$	Conc. CX mgS^{-2}/L	Conc. EF mgS^{-2}/L	Eficiência até CX %	Eficiência Global %
Maio ¹	246 (170 a 322)	1,5 (0,7 a 2,2)	6,9 (2,5 a 10,2)	7,5 (4,8 a 10,2)	69 (37 a 92)	64 (41 a 80)
Junho ¹	298 (225 a 371)	1,9 (0,4 a 3,4)	4,5 (<1,0 a 8,2)	4,2 (1,4 a 7,2)	66 (0 a 94)	69 (6 a 93)
Julho ¹	275 (180 a 370)	2,1 (1,1 a 3,2)	6,6 (3,5 a 11,5)	6,8 (4,3 a 9,3)	64 (30 a 84)	63 (32 a 81)
Agosto ¹	257 (155 a 359)	2,4 (1,2 a 4,0)	5,5 (2,3 a 9,7)	5,6 (2,1 a 9,3)	76 (54 a 92)	72 (45 a 91)
Setembro ²	278 (182 a 374)	3,9 (1,4 a 6,4)	1,6 (<1,0 a 2,2)	5,2 (2,1 a 9,3)	91 (75 a 99)	69 (31 a 90)
Outubro ²	295 (193 a 398)	3,7 (1,0 a 6,5)	1,2 (<1,0 a 1,7)	4,5 (2,4 a 6,6)	93 (86 a 96)	72 (46 a 88)
Novembro ²	273 (182 a 344)	3,7 (1,6 a 5,8)	1,2 (<1,0 a 2,0)	4,6 (2,5 a 6,8)	93 (85 a 98)	73 (49 a 88)
Dezembro ²	319 (124 a 414)	2,7 (1,2 a 4,9)	1,7 (<1,0 a 3,2)	3,5 (<1,0 a 5,6)	89 (79 a 95)	79 (36 a 97)
Janeiro ²	272 (181 a 365)	2,7 (1,4 a 3,9)	1,9 (<1,0 a 3,1)	3,1 (<1,0 a 5,3)	90 (82 a 98)	84 (65 a 96)

¹Aplicação simples

²Aplicação distribuída

Porém, após a aplicação distribuída, vêem-se resultados próximos de $2,0 \text{ mg S}^{-2} / \text{L}$ entrando na lagoa, mas a saída sempre próxima de $4,5 \text{ mg S}^{-2} / \text{L}$. Como tempo médio de detenção da lagoa é de 5 dias (na vazão média atual) não é de se esperar que houvesse acúmulo de sulfetos suficiente para manter o resultado alto por mais de 1 mês. Então, têm-se a certeza de que há nova produção de sulfetos pelas lagoas. Na verdade, é um fato esperado, visto que a lagoa é um ambiente anaeróbio e com carga orgânica remanescente, bem como com digestão anaeróbia de lodo em seu leito.

Por isso, foram mantidas as dosagens bem mais altas, de forma que houvesse no mínimo $25 \text{ mg H}_2\text{O}_2 / \text{L}$ na entrada das lagoas. Vê-se pela Tabela 2 que com o tempo o resultado vinha chegando a $3,1 \text{ mg S}^{-2} / \text{L}$ de média em janeiro de 2013. Porém, em velocidade reduzida, e sem garantia de manutenção deste resultado (houve dias que a concentração de sulfetos em EF subia repentinamente).

Economicamente, esta tentativa também se mostra inviável. Em dezembro de 2012, o custo total do produto com concentração a 50% era de R\$ 1,75/kg, ou seja, R\$ 3,50/kg H_2O_2 . Neste mês a dosagem média foi de $47 \text{ mg H}_2\text{O}_2 / \text{L}$ (ou $0,047 \text{ kg/m}^3$), gerando um custo de R\$ $0,16/\text{m}^3$. O custo operacional desta ETE neste período foi de R\$ $0,32/\text{m}^3$ (o custo com transporte de lodo não está considerado neste total), que teve então 50% deste custo derivado da aplicação de peróxido de hidrogênio. Neste caso, se tivesse sido usado apenas a aplicação para controle até as lagoas ($2,0 \text{ kg H}_2\text{O}_2 / \text{kg S}^{-2}$), para média de $15,5 \text{ mg S}^{-2} / \text{L}$, a dosagem correta seria de 31

mg $\text{H}_2\text{O}_2/\text{L}$ (ou $0,031 \text{ kg}/\text{m}^3$), que teria custado R\$ $0,11/\text{m}^3$, reduzindo o custo total da ETE para R\$ $0,26/\text{m}^3$ (redução de 18,8%), e o custo com peróxido de hidrogênio passaria para 42% do total da ETE (33,5% de redução no consumo), uma margem um pouco mais aceitável. Se for possível chegar aos $1,5 \text{ kg } \text{H}_2\text{O}_2 / \text{kg } \text{S}^{-2}$ sugeridos por CARDOSO *et al.*, 2011, e é possível ver pela Figuras 2 e 3 que isto garante um bom resultado, então a dosagem média seria de $23 \text{ mg } \text{H}_2\text{O}_2/\text{L}$ (ou $0,023 \text{ kg}/\text{m}^3$), portanto R\$ $0,08 / \text{m}^3$, e o custo operacional da ETE passaria para R\$ $0,24/\text{m}^3$ (com peróxido de hidrogênio equivalendo a 1/3 da ETE).

Assim, a partir dos resultados desta ETE, pode-se afirmar que o peróxido de hidrogênio foi efetivo para oxidar os sulfetos dissolvidos no efluente do reator, mas teve resposta limitada para controle dos sulfetos produzidos pela lagoa. Entretanto, ainda são necessárias melhorias para que o sistema tenha confiabilidade e atinja seu ponto ótimo na aplicação de produto, bem como é importante encontrar uma solução para o problema da mudança de coloração do efluente.

CONCLUSÕES

Com base nos dados operacionais e na análise desenvolvida, concluiu-se que:

A aplicação de peróxido de hidrogênio, quando feita de forma simples, só apresentou bons resultados a partir da dosagem de $4,0 \text{ kg } \text{H}_2\text{O}_2/\text{kg } \text{S}^{-2}$, o que representa um excesso de 300% em relação à estequiometria indicada.

Já a partir da aplicação distribuída, há garantia de processo utilizando $1,5$ a $2,0 \text{ kg } \text{H}_2\text{O}_2 / \text{kg } \text{S}^{-2}$ (50 a 100% de excesso). Isto torna o peróxido de hidrogênio uma alternativa viável para a oxidação dos sulfetos dissolvidos nos efluentes de reatores anaeróbios tipo UASB ou RALF.

O sistema de distribuição desenvolvido é muito instável, prejudicando a sua operacionalidade. Existem no mínimo três melhorias que podem ainda ser feitas no sistema, e que estão sendo construídas e/ou avaliadas na ETE: inserção de água de diluição para arraste do produto e evitar a formação de bolhas de ar dentro das tubulações de aplicação de peróxido; aumento na probabilidade de contato por meio de adição de vorticidade leve (p.ex. chicanas); e utilização de catalisadores. Especula-se que com estas melhorias a confiabilidade possa ser mantida com taxas de aplicação até menores que $1,5 \text{ kg } \text{H}_2\text{O}_2/\text{kg } \text{S}^{-2}$.

Houve considerável alteração da coloração do efluente dos reatores, tornando-o com aparência de esgoto séptico (não-tratado), mas sem alteração dos resultados analíticos. Ainda não foram verificadas quais composições são responsáveis por esta alteração. Entretanto, deve-se desenvolver alternativa para este problema ou evitar a aplicação de peróxido em localidades onde isto possa ser restritivo.

Todas as conclusões acima se referem ao efeito da aplicação no controle dos sulfetos para o efluente de reatores. Porém, esta ETE possui pós-tratamento por lagoas de sedimentação e estabilização anaeróbia, e foi percebido que estas também contribuem para formação de sulfetos. Para este caso, houve aplicação de peróxido de hidrogênio em excesso, que apresentou resposta muito lenta e pouca estabilidade, portanto não sendo recomendada para esta situação. Ou seja, esta ETE precisa também de uma solução para os maus odores gerados pelas lagoas.

O peróxido de hidrogênio não pode ser usado como solução única, e também deve ter sua viabilidade avaliada caso a caso. As informações contidas neste trabalho fornecem importantes detalhes para processos de tomada de decisão no controle de maus odores em ETEs anaeróbias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF) e AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE), "Odor Control in Wastewater Plants", Cap. 6, pp. 130-136, 1995.
2. CARDOSO, Fernanda Armelinda; SOUZA, Marcos Lopes; HARTMANN, Cinthia Monteiro; GOMES, Debora, "Minimização do odor em estação de tratamento de esgoto através da utilização de peróxido de hidrogênio como oxidante de sulfeto de hidrogênio", 26º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental da ABES, 2011.
3. APHA, AWWA, WEF, "Standard methods for examination of water and wastewater", 20. ed. Washington: Publication Office American Public Health Association., APHA, AWWA, WEF, 1998.