

APLICAÇÃO DE OZÔNIO PARA A MELHORIA DO EFLUENTE DE REATORES ANAERÓBIOS DE FLUXO ASCENDENTE E MANTO DE LODO (UASB)

- (*) Tânia M. Tavares Gasi
 (**) Luiz A. V. do Amaral
 (***) Carlos Eduardo M. Pacheco
 (****) Aldo Gallacci Filho
 (*****) Alcides D. Garcia Jr.
 (*****) Sônia M. Manso Vieira
 (******) Rubens Francisco Junior
 (******) Paulo Domingos Orth
 (******) Milton Scoparo
 (******) Maria Selma R. de Souza Dias
 (******) Maria Lúcia Magri

CURRÍCULO

- (*) Engenheira da CETESB
 (**) Farmacêutico Bioquímico da CETESB
 (***) Químico da CETESB
 (****) Químico da CETESB
 (*****) Engenheiro da CETESB
 (*****) Químico da CETESB
 (******) Químico da FILSAN
 (******) Engenheiro da FILSAN
 (******) Engenheiro da FILSAN
 (******) Engenheira da FILSAN
 (******) Engenheira da FILSAN

RESUMO

O tratamento anaeróbico de esgotos domésticos por reatores tipo UASB está mostrando sua aplicabilidade, principalmente em regiões tropicais onde as temperaturas elevadas contribuem para a eficiência do processo. Há unidades de demonstração instaladas em vários países e outras em escala comercial em fase de projeto. Entretanto, o efluente de reatores UASB contém matéria orgânica, sólidos em suspensão, nutrientes, surfactantes, gases dissolvidos e patogênicos. Para atender aos padrões da legislação ambiental e para proteção da saúde pública, o efluente deste tipo de sistema deve sofrer pós-tratamento. No Brasil, a FILSAN-Equipamentos e Sistemas S/A. e a CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental realizaram, em conjunto, estudos de ozonização do efluente de um reator UASB de 120 m³, alimentado com esgoto doméstico gradeado, operando sob Tempo de Retenção Hidráulica (TRH) de 7 horas. Parte do efluente do reator era encaminhado para um sistema de ozonização em duas colunas com volume de 300 l. Uma corrente de ar comprimido e seco era introduzida no gerador de ozônio FILSON - Modelo THF-05. A introdução do ozônio era feita através de difusores porosos de bolhas finas pela base das duas colunas. As colunas eram ligadas em série de forma a possibilitar o escoamento de líquido e gás no mesmo sentido para a primeira coluna (co-corrente) e em sentidos opostos na segunda coluna (contra-corrente). Testes com tempo de contato de 50 minutos e concentração de ozônio de 16,7 mg/l tiveram os seguintes resultados de remoção: 51% para DBO, 56% para DBO₅; 76% para SST, 62% para Cor, 91% para surfactantes, 99,9% para coliformes totais, 99,9976% para coliformes fecais, 97,4% para *C. perfringens* e 99,96% para colifagos. As características do efluente após a ozonização foram: DBO = 20 mg/l, DQO = 53 mg/l, SST = 13 mg/l, Cor = 19 mg Pt/l, MBAS = 0,53 mg/l, coliformes totais = $3,63 \times 10^4$ NMP/100 ml, coliformes fecais = 84

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
 BIBLIOTECA
 AV. PROF. FR. LER. O. LIMA JUNIOR, 245 CEP 05489 PINHEIROS
 SAO PAULO - BRASIL

I - 1
APLICAÇÃO DE OZÔNIO PARA A MELHORIA DO EFLUENTE DE REATORES
ANAERÓBIOS DE FLUXO ASCENDENTE E MANTO DE LODO (UASB)

RESUMO (Continuação)

NMP/100m³, estreptococos fecais = 66 NMP/m³, C. perfringens = $2,07 \times 10^3$
NMP/100m³, colifagos = 27 UFP/100 m, Salmonella sp = ausente, cistos de
protozoários = ausentes, ovos e larvas de helmintos = ausentes.
São apresentadas, também, comparações de eficiências e custos de insta-
lação entre os sistemas UASB/ozonização e o de lodos ativados para dife-
rentes capacidades, mostrando a aplicabilidade deste novo processo ao
tratamento de esgotos domésticos.

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

ENDEREÇO: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB
Av. Prof. Frederico Hermann Júnior, 345
05459 - São Paulo - SP
Tel.: (011) 210.1100

ES

1 - INTRODUÇÃO

Os métodos convencionais para o tratamento de esgotos domésticos normalmente não removem organismos patogênicos, exceção feita a lagoas de estabilização bem projetadas e operadas⁽¹⁾. Nos países desenvolvidos, um melhor conhecimento dos agentes etiológicos como vírus e bactérias bem como a adoção de legislações mais restritivas para os lançamentos em corpos receptores, levaram à conclusão que a desinfecção é a operação unitária mais importante, no tratamento de esgotos, do ponto de vista da proteção à saúde pública. De fato, sistemas de tratamento de esgotos devem agir como barreiras contra a disseminação de doenças entéricas.

Há, no Brasil, um grande "deficit" de instalações adequadas para saneamento. O censo de 1980 observou que apenas 27,7% das casas estavam ligadas a redes coletoras de esgotos (muitas das quais sem tratamento), 15,5% possuíam fossas sépticas e 28,9% utilizavam apenas fossas rudimentares; 21,9% das casas não possuíam instalações sanitárias. Não é de surpreender que tal situação resulte em elevadas taxas de morbidade e mortalidade. Normalmente os equipamentos sanitários e os sistemas de tratamento convencional para esgotos são caros e isto parece ser a principal dificuldade para a implantação destas tecnologias. Conseqüentemente, está ocorrendo um aumento na demanda por alternativas de baixo custo. Além disso, as soluções tecnológicas para o tratamento de esgotos domésticos devem considerar as elevadas concentrações populacionais nas áreas metropolitanas do Brasil, onde se concentra 30% de sua população. O reator anaeróbio de fluxo ascendente e manto de lodo (UASB) é uma opção interessante para o tratamento de esgotos domésticos. Este sistema está sendo estudado pela CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - desde 1984, tendo mostrado sua aplicabilidade em escala de laboratório e de demonstração. O biodigestor produz, entretanto, um efluente ainda contaminado com patogênicos, necessitando de pós-tratamento. Muitas tecnologias para a desinfecção foram consideradas e, para os estudos com ozonização, foram utilizados equipamentos desenvolvidos e projetados pela equipe da FILSAN - Equipamentos e Sistemas S.A.. Este trabalho relata a melhoria do efluente do reator UASB pela ozonização.

2 - DESCRIÇÃO DA PARTE EXPERIMENTAL

Os estudos de ozonização foram realizados em efluente de um reator UASB, operando com esgoto doméstico. O reator foi projetado e construído pela CETESB, apresentando as seguintes características:

- Geometria: circular, com um decantador instalado sobre a câmara de digestão. Volume total = 120 m^3
- Vazão de projeto: $30 \text{ m}^3/\text{h}$, TRH de 4 horas, taxa de aplicação no decantador: $0,7 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ e estimativa de produção de biogás = $60 \text{ Nm}^3/\text{dia}$.

antes de entrar no biodigestor, o esgoto doméstico era gradeado e desareado, conforme indicado na Figura 1. O digestor entrou em operação em dezembro de 1986 e, durante os testes de ozonização (entre agosto e setembro de 1987), já estava praticamente em estado estacionário.

Os testes para avaliação do pós-tratamento foram realizados com uma unidade de ozonização FILZON, Modelo THF-05, projetada e construída pela FILSAN - Equipamentos e Sistemas S.A.. As figuras 2 e 3 mostram o sistema de ozonização e detalhes das colunas de contacto.

O ozônio era produzido em uma corrente de ar previamente filtrado, comprimido e resfriado para secagem a cerca de -50°C . As condições operacionais foram: pressão do ar de $2,0 \text{ kgf/cm}^2$, vazão de ar entre 30 e 40 NL/min e temperatura média interna de 28°C . O contacto entre o efluente do reator UASB e a corrente de ar contendo ozônio foi feita em duas colunas de PVC, de 150 l cada, montadas em série. A introdução do gás era feita pelo fundo das colunas dotadas de difusores de vidro sinterizado com poros de 50 μm . Parte do efluente do reator UASB era encaminhada para um tanque de onde era bombeado para a primeira coluna de contacto sob vazão constante. A vazão do efluente era controlada por meio de medidor de vazão e "by pass". Na primeira coluna os escoamentos de gás e líquido ocorriam no mesmo sentido (co-corrente) enquanto na segunda, ocorriam em sentidos opostos (contra-corrente). Ambas as tubulações de ar contendo ozônio tinham reguladores de pressão e medidores de vazão, possibilitando controle adequado das vazões de gás.

A geração de ozônio era controlada pela variação manual de um transformador da unidade geradora. A produção de ozônio era medida duas vezes ao dia, borbulhando a corrente gasosa em um frasco de amostragem graduado, contendo solução de KI; a quantidade de iodo liberada era determinada por titulação com $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ e indicador de amido. As concentrações de ozônio nos gases de entrada e saída também eram determinadas por iodometria. Os gases de saída eram encaminhados para um tanque contendo solução de sulfeto para consumir o ozônio residual.

A dosagem de ozônio aplicada era calculada por: $D = p \cdot a / Q_1$

onde: D = dosagem de O_3 aplicado ($\text{mgO}_3/\text{l}_{\text{liq.}}$)

p = produção de O_3 (mgO_3/h)

a = fração do ozônio aplicado a cada coluna
(coluna 1, $a = 0,66$; coluna 2, $a = 0,33$)

Q_1 = vazão de líquido ($\text{l}_{\text{liq.}}/\text{h}$)

Foram realizados dois grupos de testes nas condições descritas na Tabela 1.

O sistema de ozonização era operado das 8 às 16 horas, permanecendo desligado durante a noite. A amostragem era realizada após um período de operação de 4,5 vezes o Tempo de Retenção Hidráulica de modo a garantir

que
Era
tor
col
tad
das
Exa
ria
As
os
par
sul
Em
tro
da
tro
tes
Clo
tos
Foi
tos
to
ut
Os
bê
-
-
-
-
-
-
-
-
3
Os

re
de
em
ni
la
te
com
cio
il/
do
de
pe
cos
an-
zã
va
cor
sei
ozô
o
rm
ao
do,
ad
ozô
ia .
d
abe
des
de
i

que o processo estivesse operando sob condição estável.

Eram coletadas amostras compostas nos seguintes pontos: efluente do reator UASB, efluente da primeira coluna de contacto e efluente da segunda coluna de contacto. Durante as 4 horas de amostragem, as alíquotas coletadas eram mantidas sob refrigeração. Os procedimentos para preservação das amostras foram os recomendados pelo "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" 15.^a Edição (6). Os materiais e vidraria utilizados para análises bacteriológicas eram esterilizados.

As análises foram realizadas pelos laboratórios da CETESB, de acordo com os procedimentos do "Standard Methods" e da própria CETESB; as análises parasitológicas foram realizadas de acordo com o método de Faust, com sulfato de zinco.

Em todas as amostras líquidas foram determinados os seguintes parâmetros: O_3 residual, pH, DBO_5 (Demanda Bioquímica de Oxigênio), DQO (Demanda Química de Oxigênio), SST (Sólidos em Suspensão), cor, turbidez, nitrogênio Kjeldahl total, nitratos, fósforo total, sulfetos, surfactantes, coliformes totais, coliformes fecais, estreptococos fecais, Clostridium perfringens, Salmonella, colifagos, ovos e larvas de helmintos e cistos de protozoários.

Foi realizada uma comparação de custos entre tratamento aeróbio de esgotos (aeração prolongada), tratamento anaeróbio (reator UASB) e tratamento anaeróbio seguido de ozonização (reator UASB + Ozonização). Os dados utilizados foram obtidos em São Paulo, entre setembro e novembro de 1988. Os custos obtidos consideram diferentes capacidades dos sistemas e também as seguintes premissas:

- todos os sistemas possuíam gradeamento, desarenação e leitos de secagem para o excesso de lodo;
- fornecimento sob contrato de empreitada global (turn-key);
- materiais de construção: concreto para os tanques de aeração e câmaras de contacto com ozônio e aço para o reator UASB;
- Parâmetros para o tratamento anaeróbio: Tempo de Retenção Hidráulica = 6 horas, produção de lodo = 0,1 kgSS/kg DBO_5 removido, remoção de DBO_5 = 60%.
- Parâmetros para o tratamento aeróbio: carga volumétrica = 0,4 kg DBO_5 /m³/dia, Tempo de Retenção Hidráulica = 18 horas, produção de lodo = 0,3 kgSS/kg DBO_5 removido, taxa de escoamento superficial no decantador = 0,6 m³/m²/h.
- Parâmetros para ozonização: Tempo de Retenção Hidráulica = 50 min, dose média de aplicação de ozônio = 15 mg O_3 /l, consumo de energia = 18 kWh/kg O_3 .

3 - DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Os principais resultados obtidos durante o primeiro ensaio de ozonização

são mostrados na tabela 2. O tempo total de contacto foi de 30 minutos e a concentração de ozônio aplicada foi de 10,6 mg/l na primeira coluna de contacto e 5,3 mg/l na segunda coluna. Antes da ozonização o efluente do digestor anaeróbio apresentava as seguintes características: 126 mg/l de DQO, 42 mg/l de DBO, 51 mg/l de SST, 26 mgPt/l como cor real e 11 NTU de turbidez, 4,63 mg/l de surfactantes (MBAS), 31 mg/l de nitrogênio total, 4,02 mg/l de fosfato total e não havia a presença de sulfetos. Do ponto de vista microbiológico o efluente estava altamente contaminado mostrando um número elevado de coliformes totais e fecais ($1,27 \times 10^7$ e $1,60 \times 10^6$ NMP/100 ml), estreptococos fecais ($9,8 \times 10^5$ NMP/100 ml) e Clostridium perfringens ($1,4 \times 10^5$ NMP/100 ml); Salmonella estava presente em 75% das amostras. Além disso o efluente apresentava $6,2 \times 10^4$ UFP/100 ml de colifagos e uma pequena concentração de helmintos (1,8 ovos e larvas/300 ml). O reator anaeróbio de fluxo ascendente e manto de lodo foi capaz de reduzir protozoários e o efluente estava livre de cistos. Sob a primeira condição (30 minutos de tempo de contacto), foi observado que a ozonização foi capaz de reduzir contaminantes químicos do esgoto, mas organismos patogênicos e indicadores de poluição fecal não foram significativamente reduzidos. As remoções totais observadas foram: 41% em DQO, 49% em DBO, 55% em SST, 58% em cor, 67% em surfactantes. Como era previsto, a remoção de nutrientes foi pequena (17% em nitrogênio total e 15% em fosfato total). As remoções dos parâmetros físico-químicos em sua maior parte foram obtidas na primeira coluna de contacto. O sistema de ozonização também mostrou um efluente com menor flutuação na qualidade, quando comparado com o efluente do reator anaeróbio. A destruição de microrganismos patogênicos entretanto não mostrou o mesmo desempenho. Após o primeiro ensaio de ozonização o efluente final ainda continha $5,5 \times 10^4$ NMP/100 ml de coliformes totais, $1,1 \times 10^4$ NMP/100 ml de coliformes fecais, $4,9 \times 10^3$ NMP/100 ml de estreptococos fecais, $7,8 \times 10^5$ NMP/100 ml de Clostridium perfringens e Salmonella foi encontrada em 33% das amostras. Foi notável a remoção de colifagos de $6,2 \times 10^4$ UFP/100 ml para 300 UFP/100 ml no efluente final. Não foi observado nenhum ozônio residual no efluente final.

Com o aumento do tempo de retenção hidráulica de 30 para 50 minutos, a qualidade do efluente ozonizado melhorou consideravelmente, a despeito da manutenção da concentração de ozônio aplicado (média de $16,7 \text{ O}_3/\text{l}$, variando entre 10,8 e $20,2 \text{ mg O}_3/\text{l}$; as doses médias aplicadas foram: $11,1 \text{ mg O}_3/\text{l}$ na primeira coluna e $5,6 \text{ mg O}_3/\text{l}$ na segunda coluna). As tabelas 3 e 4 sumarizam os resultados obtidos na segunda série de ensaios. Neste ensaio as características do efluente do reator anaeróbio eram: 120 mg DQO/l, 41 mg DBO/l, 34 mg SST/l, cor de 50 mg Pt/l, turbidez de 15 NTU, 11 mg N-total/l, 3,68 mg P total/l, 5,30 mg surfactantes/l e não foram detectados sulfetos. Os parâmetros microbiológicos apresentavam as seguintes

tes características: $2,0 \times 10^7$ NMP/100 ml de coliformes totais, $3,5 \times 10^6$ NMP de coliformes fecais, $8,0 \times 10^4$ NMP/100 ml de C. perfringens e $6,4 \times 10^4$ UFP/100 ml de colifagos; Salmonella foi encontrada em 85,7% das amostras, encontrando-se ainda 1,25 ovos e larvas de helmintos/500 ml e 0,125 cistos/500 ml. Todos estes valores são encontrados nas tabelas 7 e 8.

Assim como no primeiro ensaio, os parâmetros físico-químicos foram principalmente removidos na primeira coluna de contacto e o efluente ozonizado apresentava-se mais estável do que o efluente do reator anaeróbio. Não foi detectado ozônio residual no efluente.

A figura 4 mostra a variação do pH no efluente do biodigestor e na saída da primeira e segunda colunas de contacto; houve um aumento do pH de 6,4 para 7,0 e 7,5. A remoção de matéria orgânica foi significativa: 56% de DQO (46% removidos na primeira coluna) e 53% de DBO (47% removidos na segunda coluna). Foram de 53 mg/l e 20 mg/l respectivamente as concentrações médias de DQO e DBO no efluente final. As variações de DQO e DBO também são mostradas na figura 4. Os números obtidos para SST foram: 62% de remoção total, 54% removidos na primeira coluna de contacto e uma concentração de 13 mg/l no efluente final. Os valores de remoção de turbidez e surfactantes foram respectivamente 37% e 90%. Como era esperado, a ozonização removeu cor e nas condições do teste foi conseguida uma remoção de 63%, principalmente na primeira coluna de contacto (61%). Não foram analisadas diferentes formas de nitrogênio; contudo a concentração de nitrogênio total praticamente permaneceu a mesma e houve nitrificação do efluente final. A remoção de fósforo total também foi mínima.

As figuras 5 e 6 mostram a relação entre alguns parâmetros físico-químicos analisados e as doses de ozônio aplicadas. São mostrados os gráficos de % de remoção de DQO, SST e surfactantes versus concentração de ozônio aplicado, incluindo os melhores ajustes e suas equações. A significância de correlações foi determinada pela estatística de Student. As correlações entre % de DQO removida x ozônio aplicado e % de surfactantes removidos x ozônio aplicado foram ambos significantes a um nível de 1%; % SST x ozônio aplicado foi significativo dentro de um grau de confiança de 10%. O método dos mínimos quadrados também foi usado para relacionar os parâmetros físico-químicos no efluente ozonizado. Foram encontradas relações significativas para as seguintes combinações de dados: DQO versus DBO, turbidez versus SST (ambos significantes a um nível de 10%) e SST versus DQO (grau de significância de 2%).

Para as condições do teste 2 (tempo de contacto de 50 minutos e dosagem de ozônio de 16,7 mg/l), as características do efluente final ozonizado mostraram que se conseguiu um efluente com alta qualidade. No Brasil a legislação admite que rios destinados ao consumo da população após tratamento convencional, irrigações de lavouras e recreação de contacto primário poderão conter até 5000 NMP/100 ml de coliformes totais e 1000 NMP/

de coliformes fecais (7). O efluente ozonizado apresentou coliformes fecais = 84 NMP/100 ml, estreptococos fecais = 66 NMP/100 ml, Clostridium perfringens = 2070 NMP/100 ml, colifagos = 24 UFP/100 ml; Salmonella e parasitas estavam ausentes. Foi interessante notar que a contagem de coliformes totais foi consistentemente alta (média de $1,6 \times 10^4$ NMP/100 ml, variando entre os limites de 800 a 50000 NMP/100 ml). Deve-se enfatizar que coliformes totais não são reconhecidamente um bom parâmetro para atestar a eficiência de tratamento de esgotos. Mesmo na análise bacteriológica da água, os coliformes totais são encarados mais como um teste presuntivo do que indicadores definitivos de poluição fecal. Nas condições do teste de ozonização, os coliformes totais definitivamente não retrataram a remoção de organismos patogênicos. Clostridium perfringens foi encontrado em um número relativamente grande no efluente final (2070 NMP/100 ml variando de 10 a 8000 NMP/100 ml). Esta bactéria anaeróbia formadora de esporos é mais resistente que coliformes fecais e estreptococos fecais a substâncias antagonistas podendo, então, não refletir o verdadeiro grau de contaminação (1).

Foi importante verificar que Salmonella e formas de parasitas foram completamente eliminadas; sua remoção ocorreu na primeira coluna de contacto podendo-se assumir que a segunda coluna de contacto pode atuar como um fator de segurança, no caso de sobrevivência de patogênicos no efluente intermediário. As correlações entre parâmetros microbiológicos foram obtidas pelo método dos mínimos quadrados com os valores observados no efluente final. A tabela 5 apresenta os coeficientes de correlação obtidos. Pode ser visto que somente correlações entre estreptococos fecais versus colifagos e C. perfringens versus colifagos são boas. A figura 6 mostra os gráficos, as linhas de melhores ajustes e as equações correspondentes. De acordo com o teste t de Student para níveis de significância de coeficientes de correlação, foi observada uma relação significativamente alta para a correlação entre Colifagos e estreptococos fecais (nível de 2%). Para colifagos versus C. perfringens, o nível de significância foi de 10%. Estes resultados encontrados são apoiados por dados de literatura, os quais mostram que estreptococos fecais geralmente sobrevivem mais tempo que os coliformes fecais, os quais podem ser, então, melhores indicadores da presença de vírus (que podem sobreviver mais em águas frias). C. perfringens é também uma bactéria resistente e a correlação com colifagos pode assim ser explicada.

A influência das doses de ozônio aplicadas sobre a sobrevivência dos organismos indicadores também foi estudada. Estes dados são mostrados na figura 7. O logaritmo da sobrevivência de estreptococos fecais tende a diminuir quando as doses de ozônio aplicadas aumenta esta tendência foi significativa a um nível de 1%. Log da sobrevivência de colifagos mostrou a mesma, mas a um mais alto nível de significância (0,1%). As li

nhas de melhores ajustes foram: \log de sobrevivência de colifagos =
- 0,085 x dose de O_3 aplicada (mg/l) + 2,70 ($r^2=0,9849$ e nível de signifi-
cância = 0,1%).

\log da sobrevivência de estreptococos fecais = - 0,147 x dose de
 O_3 aplicada (mg/l) + 3,58 ($r^2= 0,7519$ e nível de significância de 1%)

As correlações correspondentes para C. perfringens não apresentaram sig-
nificância estatística. Estes resultados sugerem que tanto os colifagos
como os estreptococos fecais seriam melhores parâmetros de monitoramento
microbiológico do processo de ozonização do que os coliformes totais ou
fecais.

Correlações entre os parâmetros físico-químicos e os parâmetros microbi-
ológicos também foram examinadas. Observou-se que a sobrevivência de coli-
fagos ajustou-se bem às porcentagens de remoção de DQO e surfactantes.
Estas correlações são apresentadas na figura 8. As linhas de melhores
ajustes foram: sobrevivência de colifagos = 57,30 x % de DQO

removido - 0,191
($r^2 = 0,7083$ e nível de significância = 1%)

sobrevivência de colifagos = % de surfactantes
removidos - 0,327
($r^2 = 0,5486$ e nível de significância = 10%)

Comparações entre custos, áreas necessárias e potência instalada exigidas
para os sistemas são mostradas nas tabelas 6,7 e 8, respectivamente. Para
populações entre 2500 e 50000 habitantes, os custos de investimento
para aeração prolongada foram mais baixos do que para o reator UASB mais
ozonização (para populações de 50000 habitantes os custos de investimen-
tos foram praticamente iguais. Acima desta capacidade foi observado que
há uma economia de escala e o reator UASB mais ozonização mostrou ter um
custo de investimento menor do que o sistema de aeração prolongada (fi-
guras 9 e 10). Ademais, o sistema composto por reator UASB mais ozoniza-
ção requereu menores áreas e menos potência instalada (Figuras
11 e 12). Deve-se ressaltar que embora os custos de investimento se-
jam comparáveis, a qualidade do efluente do reator UASB mais ozonização
é melhor do que a do efluente do processo de aeração prolongada. É rec-
nhecido que o processo de lodos ativados, assim como o de aeração prolon-
gada, não remove vírus e bactérias acima dos limites de 90-99%⁽⁹⁾; o re-
ator UASB mais ozonização, como dito anteriormente, produz um efluente
com uma qualidade microbiológica superior. Este efluente está saturado
com oxigênio dissolvido, enquanto que os níveis de oxigênio dissolvido
no efluente da aeração prolongada serão certamente menores do que os va-
lores observados no tanque de aeração (aproximadamente 2mg/l). Outra van-
tagem do reator UASB mais ozonização é a eficiência na remoção de surfac-
tantes (90%), que é mais alta do que valores observados para o proces-
so de lodos ativados.

4 - CONCLUSÕES

O estudo da ozonização do efluente de um reator UASB tratando esgoto doméstico, em duas colunas de contacto colocadas em série, apresentou as seguintes conclusões:

1. Nas condições operacionais de tempo de retenção hidráulica total de 30 minutos nas colunas de contacto e uma dose de aplicação média de 15,9 mg/l de ozônio, ocorreu uma boa remoção dos parâmetros físico-químicos (41% DQO, 49% DBO, 55% SST, 58% cor e 67% de surfactantes). Os microrganismos patogênicos e indicadores sobreviveram bem, mostrando que sob estas condições a desinfecção não foi bem sucedida;
2. Nas condições do segundo ensaio 50 minutos de tempo de retenção hidráulica total e uma dosagem média de ozônio aplicada de 16,7 mg/l, foi verificada uma melhor remoção dos parâmetros físico-químicos (56% DQO, 62% SST, 63% cor e 90% de surfactantes). Obteve-se também um efluente com uma alta qualidade microbiológica (Salmonella, ovos e larvas de helmintos e cistos de protozoários estavam ausentes; coliformes fecais = 84 NMP/100 ml, estreptococos fecais = 66 NMP/100 ml e colifagos = 24 UFP/100 ml). A desinfecção foi capaz de afetar a bactéria resistente Clostridium perfringens (97,42% de remoção e sobrevivência de 2070 NMP/100 ml no efluente final ozonizado). Foram observadas ainda relações entre as porcentagens de remoção de DQO, SST e surfactantes versus as doses de ozônio aplicadas (correspondentes a níveis de significância de 1%, 10% e 1% de acordo com o teste t de Student).

Ficou demonstrado não serem os coliformes totais indicadores microbiológicos adequados para a medida da eficiência da desinfecção por ozônio.

Foram encontradas boas relações para a sobrevivência de estreptococos fecais versus sobrevivência de colifagos (nível de significância de 2%); a relação entre a sobrevivência de C. perfringens e sobrevivência de colifagos foi significativa a nível de 10%. O aumento das doses de ozônio aplicadas afetaram negativamente a sobrevivência de colifagos e estreptococos fecais; as relações entre os logaritmos da sobrevivência de colifagos e estreptococos fecais versus as doses de ozônio aplicadas foram significantes em um nível de confiança de 0,1% e 1% respectivamente. Foi possível relacionar a porcentagem de remoção de DQO e a porcentagem de remoção de surfactantes versus a sobrevivência de colifagos (o nível de confiança das relações foram 1% e 10% respectivamente). Aparentemente, tanto a sobrevivência de colifagos como a porcentagem de remoção de DQO seriam parâmetros adequados para monitoramento do desempenho da ozonização de efluentes de reatores UASB tratando esgotos domésticos; isto simplificaria enormemente o monitoramento da

unidade de desinfecção. Recomenda-se que estudos mais extensos sejam realizados de modo a confirmarem estas relações.

3. Comparações entre os custos de investimento, áreas necessárias e potências instaladas exigidas para os processos de aeração prolongada, sistema de reator UASB e sistema de reator UASB mais ozonização foram obtidas para diferentes capacidades. O sistema reator UASB mais ozonização exigiu menores áreas e menos potência instalada. Considerando os custos de investimento, foi observado que o sistema reator UASB mais ozonização é competitivo com o processo de aeração prolongada, começando a ter vantagens em custo para populações iguais ou maiores que 50000 habitantes. Foi enfatizado que o efluente obtido através do sistema reator UASB mais ozonização teve uma qualidade superior quando comparado com o efluente do processo de aeração prolongada, levando-se em conta a sobrevivência de organismos patogênicos, níveis de oxigênio dissolvido e remoção de surfactantes. Para outros parâmetros físico-químicos, o desempenho de ambos os sistemas é comparável. Foi concluído que o sistema reator UASB/Ozonização é um processo viável para o tratamento de esgotos domésticos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. FEACHEM, R.G. et alii. Sanitation and disease-health aspects of excreta and wastewater management. Chichester, John Wiley & Sons, 1983.
2. STOVER, E.L. & JARNIS, R.W. Obtaining high-level wastewater disinfection with ozone. J. Water Pollut. Control Fed., 53 (1): 1637-1647, nov. 1981.
3. IBGE, Brasil. Censo demográfico famílias e domicílios. In: IX Recenseamento geral do Brasil - 1980. Rio de Janeiro, IBGE, 1983. v. 1 tomo 6. nº 1.
4. VIEIRA, S.M.M. & SOUZA, M.E. Development of technology for the use of the UASB reactor in domestic sewage treatment. Water Sci. Technol., 18 (12):109-121, 1986.
5. VIEIRA, S.M.M. Anaerobic treatment of domestic sewage in Brazil - research results and full-scale experience. In: HALL, E.R. & HOBSON, P.N. ed. Anaerobic digestion 1988. Oxford, Pergamon Press, 1988. p. 185-196 (Proceedings of the International Symposium on Anaerobic Digestion, 5. Bologna, 1988).
6. APHA-AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, United States. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington, D.C., 1985, 16th ed.

1. CETESB- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, Brasil.
Legislação - Controle da poluição ambiental. São Paulo,
Convênio CETESB/ASCETESB, 1986.
2. BERQUÓ, E.S.; SOUZA, J.M.P.; GOTLIEB, S.L.D. Bioestatística.
São Paulo, E.P.U., 1980.
3. FEACHEM, R.G. et alii. Health aspects of excreta and sullage
management - a state-of-the-art review. Washington, D.C.,
The World Bank, 1981 (Appropriate Technology for Water
Supply and Sanitation, 3).

Tabela 1 - Condições experimentais de ozonização

Grupo de testes	nº de testes	Vazão de efluente do Reator UASB	Tempo Total de contacto
1	5	600 l/h	30 minutos
2	8	360 l/h	50 minutos

Tabela 2 - Resultados médios do 1º grupo de testes de ozonização.

Parâmetro	Efluente do Reator	Efluente da 1ª Coluna	Remoção na 1ª coluna (%)	Efluente da 2ª coluna	Remoção na 2ª coluna (%)	Remoção Total (%)
Vazão (l/h)	600	600	-	600	-	-
Aplicação de ozônio (mg O ₃ /l)	-	10,6 (10,4-10,7)	-	5,3 (5,2-5,3)	-	-
Tempo de contacto (min.)	-	15	-	15	-	-
pH	6,3	6,8	-	7,1	-	-
DQO (mg/l)	126	81	36	75	8	41
DBO (mg/l)	42	83	45	21	8	49
SST (mg/l)	51	27	47	23	14	55
Cor (mg Pt/l)	26	18	31	11	39	58
Turbidez (NTU)	21	18	13	16	13	24
NKT (mg/l)	31	27	15	26	3	17
NO ₃ ⁻ -N (mg/l)	0,05	0,21	-	0,21	-	-
P-total (mg/l)	4,02	3,73	7	3,41	9	15
Sulfetos (mg/l)	N.D.	N.D.	-	N.D.	-	-
Surfactantes (mg/l)	4,63	1,93	58	1,52	21	67
Coliformes Totais (*)	1,2x10 ⁷	1,9x10 ⁶	83,68	5,5x10 ⁴	97,16	99,54
Coliformes Fecais (*)	1,5x10 ⁵	3,4x10 ⁵	78,88	1,1x10 ⁴	99,61	99,28
Streptococos Fecais (*)	9,8 10 ⁵	2,0x10 ⁵	79,94	4,9x10 ³	97,49	99,50
<i>C. perfringens</i> (*)	1,4x10 ⁵	5,2x10 ⁵	NR	7,8x10 ⁵	NR	NR
<i>Salmonella</i> (1)	presente em 75% das amostras	presente em 50% das amostras	33,33	presente em 33% das amostras	50,00	66,67
Colifagos (UFP/100 ml)	6,2x10 ⁴	5,4x10 ³	91,35	300	94,48	99,52
Ovos e larvas de helmintos (**)	1,8	0	100	0,2	-	88,89
Cistos de protozoários (**)	0	0	-	0	-	-

Média de 5 valores: (*) = NMP/100 ml
(**) = n/500 ml

N.D. = não detectado
(1) = média de 4 valores
NR = não removido

Tabela 3 - Resultados médios dos parâmetros físico-químicos do 2º grupo de testes de ozonização.

Parâmetro	UASB Efluente do Reator	Efluente da 1.ª coluna	Remoção na 1.ª coluna (%)	Efluente da 2.ª coluna	Remoção na 2.ª coluna (%)	Remoção Total (%)
Vazão (l/h)	360	360	-	360	-	-
Aplicação de ozônio (mg O ₃ /l)	-	11,1 (7,2-13,7)	-	5,6 (3,6-6,9)		
Tempo de Contacto (min.)	-	25	-	25	-	-
pH	6,4	7,0	-	7,5	-	-
DQO (mg/l)	120	65	46	53	19	56
DBO ₅ (mg/l)	41	22	47	20	10	53
SST (mg/l)	34	16	54	13	17	62
Cor (mg Pt/l)	50	19	61	19	3	63
Turbidez (NTU)	16	12	26	10	15	37
NKT (mg/l)	30	28	6	28	1	7
NO ₃ -N (mg/l)	0,05	0,31	-	0,94	-	-
P-Total (mg/l)	3,68	3,23	12	3,15	2	14
Sulfetos (mg/l)	N.D.	N.D.	-	N.D.	-	-
Surfactantes (mg/l)	5,30	0,69	87	0,53	22	90

N.D. = não detectado

Tabela 4 - Resultados médios dos parâmetros microbiológicos do 2º grupo de testes de ozonização.

Parâmetro	UASB Efluente do Reator	Efluente da 1.ª Coluna	Remoção na 1.ª coluna (%)	Efluente da 2.ª coluna	Remoção na 2.ª coluna (%)	Remoção total (%)
Vazão (l/h)	360	360	-	360	-	-
Aplicação de ozônio (mg O ₃ /l)	-	11,1 (7,2-13,7)	-	5,6 (3,6-6,9)	-	-
Tempo de contacto (min.)	-	25	-	25	-	-
Coliformes totais (NMP/100 ml)	2,0x10 ⁷	4,2x10 ⁴	99,79	1,6x10 ⁴	60,93	99,92
Coliformes fecais (NMP/100 ml)	3,5x10 ⁶	840	99,98	84	89,96	99,998
Estreptococos fecais (NMP/100 ml)	9,6x10 ⁵	2427	99,75	66	97,29	99,993
C. perfringens (NMP/100 ml)	8,0x10 ⁴	1,8x10 ⁴	77,93	2070	88,33	97,42
Salmonella	presente em 85,71% de amostras	ausente	100,00	ausente	-	100,00
Colifações (UFP/100 ml)	6,4x10 ⁴	370	99,34	24	93,57	99,96
Ovos e larvas de helmintos (n/500 ml)	1,25	0	100,00	0	-	100,00
Cistos de protozoários (n/500 ml)	0,125	0	100,00	0	-	100,00

NMP = número mais provável

UFP = unidade formadora de placa

Tabela 5 - Valores de coeficientes de correlação (r^2) para a relação entre os parâmetros microbiológicos, no efluente final ozonizado (TRH = 50 min, 16,7 mg O₃ aplicados/l).

	Coliformes Totais	Coliformes Fecais	Estreptococos fecais	Clostridium perfringens	Colifagos
Coliformes Totais	-				
Coliformes Fecais	0,0571	-			
Estreptococos Fecais	0,1258	0,1927	-		
Clostridium perfringens	0,0328	0,0541	0,0719	-	
Colifagos	0,0137	0,0670	0,8183	0,4891	-

Tabela 6 - Comparação entre os custos de investimento entre aeração prolongada reator UASB e reator UASB + ozonização.

População Atendida (hab)	Custos de Investimento					
	US\$			US\$/Capita		
	Aeração Prolongada	UASB + Ozonização	UASB	Aeração Prolongada	UASB + Ozonização	UASB
2500	148028	330741	140809	59,21	132,30	56,32
5000	285314	375913	193089	57,06	75,18	38,62
15000	474035	588631	313566	31,60	39,24	20,90
30000	904030	965389	489528	30,13	32,18	16,32
50000	1504257	1516626	876376	30,09	30,33	17,53
90000	2799741	2711677	1455897	31,11	30,13	16,18
150000	4276487	3836012	2447618	28,51	25,57	16,32

Tabela 7 - Comparação entre as áreas necessárias para sistemas de aeração prolongada e reatores UASB seguidos de ozonização.

População Atendida (hab)	Área necessária (m ²)	
	Aeração Prolongada	Reator UASB seguido de ozonização
2500	157	80
5000	360	140
15000	760	300
30000	1430	560
50000	2520	920
90000	4130	1350
150000	7980	2600

Tabela 8 - Comparação entre as potências instaladas necessárias para sistemas de aeração prolongada e reatores UASB seguidos de ozonização.

População atendida (hab.)	Potência instalada necessária (HP)	
	Aeração Prolongada	Reator UASB seguido de ozonização
2500	15	8,5
5000	30	16,0
15000	80	48,0
30000	160	70,0
50000	300	120,0
90000	480	200,0
150000	840	350,0

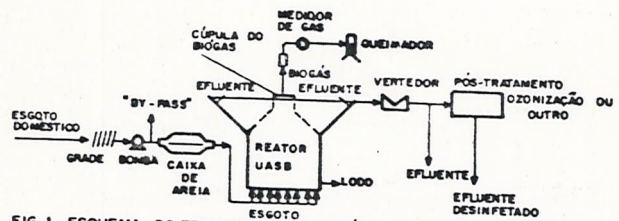


FIG.1 - ESQUEMA DO TRATAMENTO ANAERÓBIO DE ESGOTO DOMÉSTICO COM REATOR UASB

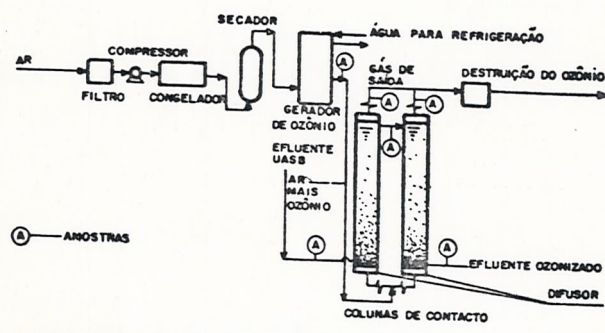


FIG.2 - ESQUEMA DA UNIDADE PILOTO DE OZONIZAÇÃO

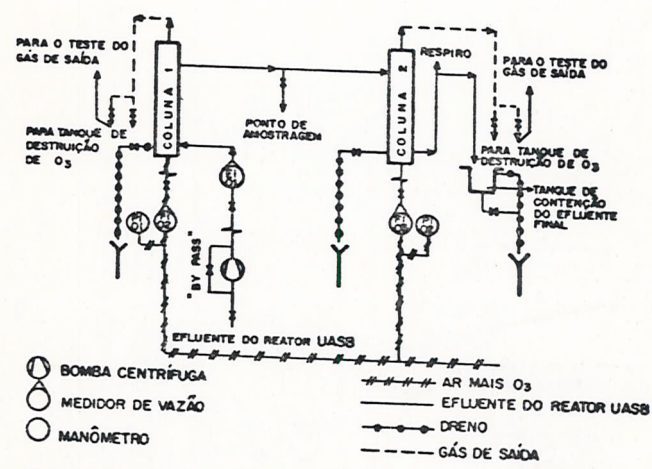


FIG.3 - DETALHES DAS COLUNAS DE CONTACTO

pH

DQO (mg/l)

REMOÇÃO DE SS (%)

FIG.5

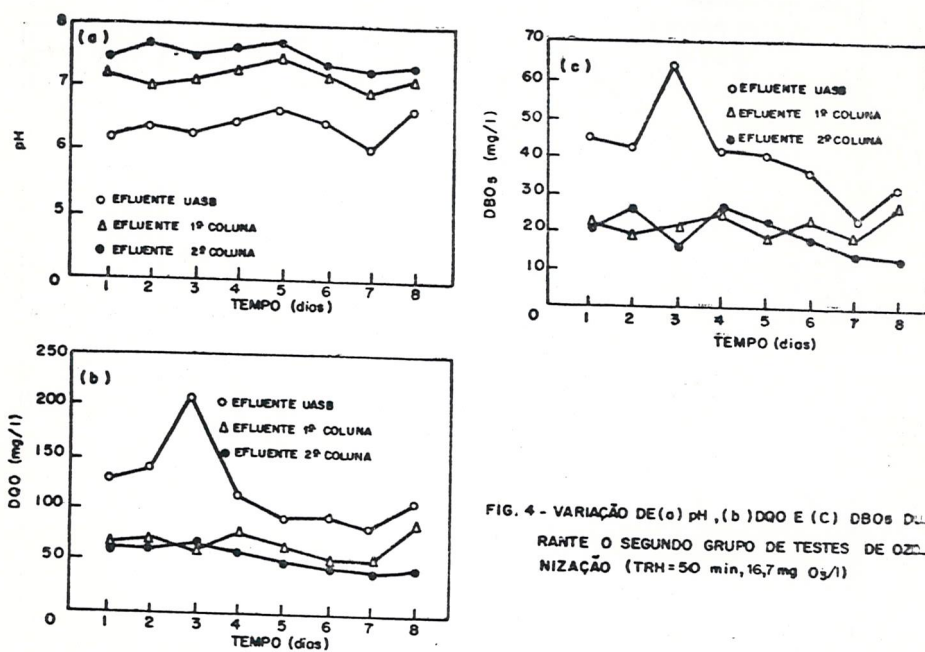


FIG. 4 - VARIACÃO DE (a) pH, (b) DQO E (c) DBO5 DURANTE O SEGUNDO GRUPO DE TESTES DE OZONIZAÇÃO (TRH=50 min, 16,7 mg O₃/l)

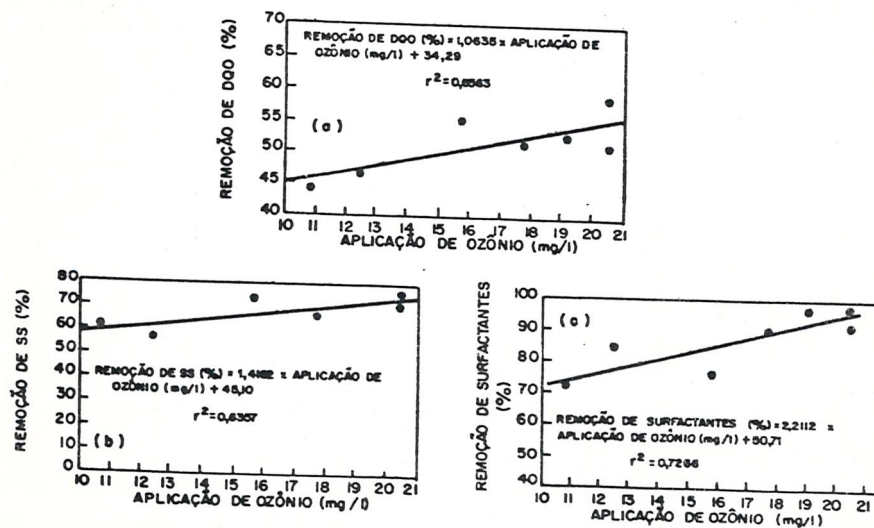


FIG. 5 - CORRELAÇÃO ENTRE (a) REMOÇÃO DE DQO, (b) REMOÇÃO DE SS, (c) REMOÇÃO DE SURFACTANTES E APLICAÇÃO DE OZÔNIO NO SEGUNDO GRUPO DE TESTE DE OZONIZAÇÃO (TRH=50 min, 16,7 mg O₃/l)

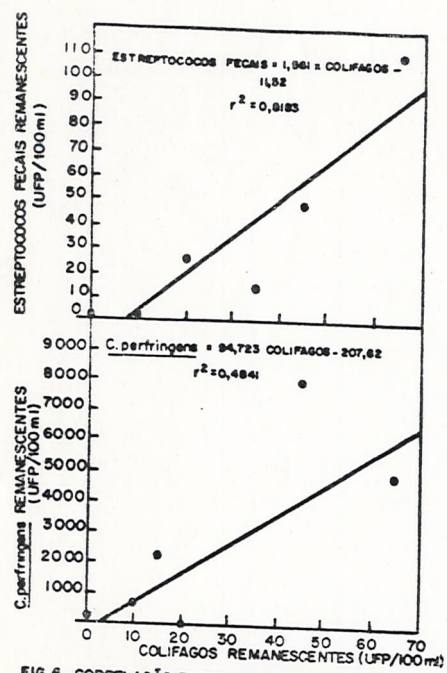


FIG. 6 - CORRELAÇÃO ENTRE REMANESCENTES DE (a) ESTREPTOCOCOS FECAIS x COLIFAGOS E (b) ESTREPTOCOCOS FECAIS x COLIFAGOS, NO EFLUENTE FINAL OZONIZADO (TRH=50 min, 16,7 mg O₃/l)

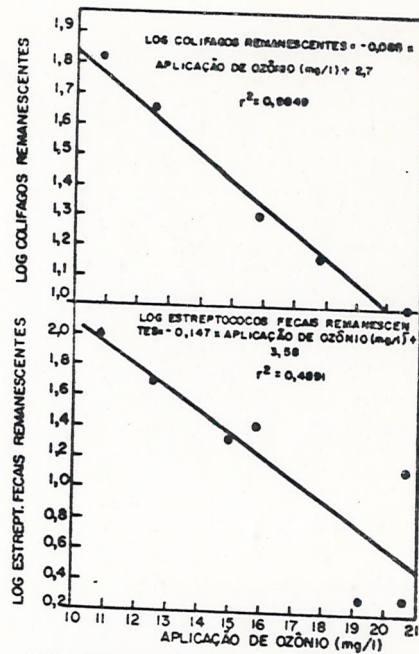


FIG. 7 - CORRELAÇÃO ENTRE (a) LOG COLIFAGOS x APLICAÇÃO DE OZÔNIO E (b) LOG ESTREPTOCOCOS FECAIS REMANESCENTES x APLICAÇÃO DE OZÔNIO (TRH=50 min, 16,7 mg O₃/l)

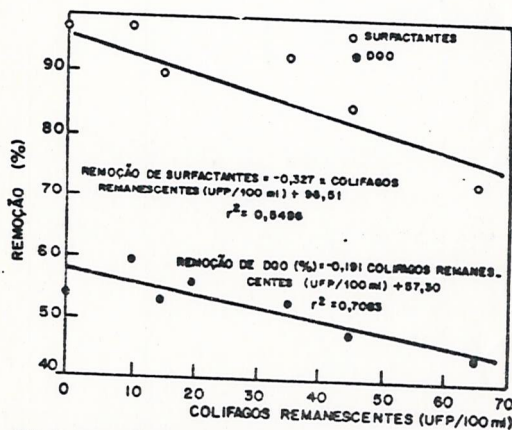


FIG. 8 - REMOÇÃO DE SURFACTANTES E DQO EM FUNÇÃO DE COLIFAGOS REMANESCENTES (TRH=50 min, 16,7 mg O₃/l)

ÁREA NECESSÁRIA (m²)

FIG.

219

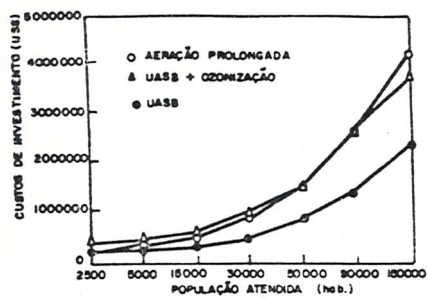


FIG. 9 - COMPARAÇÃO ENTRE OS CUSTOS DE INVESTIMENTO PARA SISTEMAS DE AERAÇÃO PROLONGADA, REATOR UASB E REATOR UASB SEGUIDO DE OZONIZAÇÃO

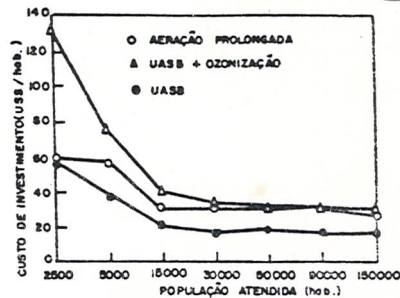


FIG. 10 - COMPARAÇÃO ENTRE OS CUSTOS DE INVESTIMENTO PER CAPITA PARA SISTEMAS DE AERAÇÃO PROLONGADA, REATOR UASB E REATOR UASB SEGUIDO DE OZONIZAÇÃO

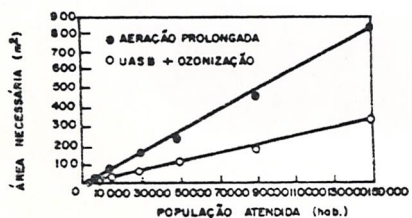


FIG. 11 - COMPARAÇÃO ENTRE AS ÁREAS NECESSÁRIAS PARA SISTEMAS DE AERAÇÃO PROLONGADA E REATOR UASB SEGUIDO DE OZONIZAÇÃO

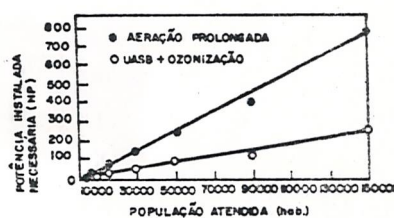


FIG. 12 - COMPARAÇÃO ENTRE AS POTÊNCIAS INSTALADAS NECESSÁRIAS PARA SISTEMAS DE AERAÇÃO PROLONGADA E REATOR UASB SEGUIDO DE OZONIZAÇÃO