

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE AERAÇÃO ALTERNATIVA PARA VALOS DE OXIDAÇÃO; DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE DO LODO MÍNIMA PARA A ESTABILIZAÇÃO DO LODO NOS VALOS PARA AS CONDIÇÕES BRASILEIRAS.

RELATÓRIO PARCIAL nº 2
JANEIRO 1982

ARQUIVO TECNICO

5311
V673d(RCET)
005688



11696



005688

ANEAMENTO AMBIENTAL

DTD
SUPERINTENDÊNCIA DE PESQUISA
CETESB

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL



DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE AERAÇÃO ALTERNATIVA PARA VALOS DE OXIDAÇÃO; DETERMINAÇÃO DA IDADE DO LODO MÍNIMA PARA A ESTABILIZAÇÃO DO LODO NOS VALOS PARA AS CONDIÇÕES BRASILEIRAS.

RELATÓRIO PARCIAL nº 2

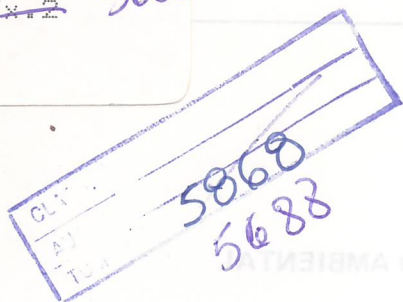
JANEIRO 1982

SOMA
SECRETARIA DE OBRAS
E DO MEIO AMBIENTE
Engº Walter Antunes

Governo
Paulo Maluf

São Paulo
trabalhando.

5311
V673d(RCET)
005868
~~Ext 2~~ 5688



DIRETORIA

Victor Didrich Leig
Diretor Presidente

Paulo Leite Julião
Diretor Vice-Presidente

Camal Abdon Salomão Rameh
Diretor de Engenharia e Ação Regional

Carlos Celso do Amaral e Silva
Diretor de Tecnologia e Desenvolvimento

José Rubens Rezende Gonçalves da Motta
Diretor Financeiro

Nelson Nefussi
Diretor de Engenharia do Ar e de Ação Metropolitana

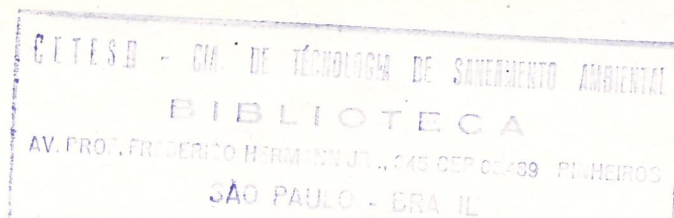
Paulo Lauro Junior
Diretor Administrativo

ÍNDICE

1.	<u>INTRODUÇÃO</u>	Pág. 01
2.	<u>CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROCESSO DE VALOS DE OXIDAÇÃO</u>	02
2.1.	<u>Teoria do Processo de Aeração Prolongada....</u>	03
2.2.	<u>O Valo.....</u>	05
2.2.1.	<u>Variações da Forma do Valo</u>	05
2.2.2.	<u>Dimensionamento dos Valos</u>	05
2.3.	<u>Tanque de Sedimentação</u>	12
2.3.1.	<u>Dimensionamento do Tanque de Sedimentação.</u>	13
2.4.	<u>Sistema de Aeração.....</u>	14
2.4.1.	<u>Aeradores Mecânicos de Superfície</u>	15
2.4.2.	<u>Aeradores de Ar Difuso</u>	16
2.4.3.	<u>Outras Considerações a Respeito do Sistema de Aeração</u>	20
2.5.	<u>Retorno do Lodo</u>	22
3.	<u>ESQUEMA DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE VALO DE OXIDAÇÃO COM AERAÇÃO MODIFICADA</u>	23
3.1.	<u>Sistema de Aeração</u>	23

	Pág.
3.2. <u>Condições de Operação</u>	25
3.2.1. Oxigênio Necessário	25
3.2.2. Ajuste da Taxa de Recirculação do Lodo....	27
3.2.3. Descarte de Lodo	27
4. <u>TESTES DE EFICIÊNCIA DO AERADOR</u>	30
4.1. <u>Determinação da Vazão de Recirculação da Bom ba e da Vazão de Ar Admitida pelo Sistema.</u>	33
4.2. <u>Resultados dos Testes de Eficiência do Aera dor</u>	35
4.3. <u>Medida da Velocidade do Líquido no Valo</u>	39
4.4. <u>Discussão dos Resultados</u>	40
5. <u>BIBLIOGRAFIA</u>	42

APRESENTAÇÃO



Este relatório é o segundo concernente à pesquisa "DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE AERAÇÃO ALTERNATIVO PARA VALOS DE OXIDAÇÃO; DETERMINAÇÃO DA IDADE DO LODO MÍNIMA PARA A ESTABILIZAÇÃO DO LODO NOS VALOS PARA AS CONDIÇÕES BRASILEIRAS" e apresenta todo o trabalho executado até janeiro de 1982.

Os sistemas de Valo de Oxidação, muito empregados no Brasil, podem se adequar melhor às nossas condições evitando gastos desnecessários. Estará sendo testado neste estudo um sistema de aeração diferente daqueles aqui utilizados até o momento.

Esta pesquisa foi iniciada em 1981, pela SPES-CETESB, dentro do Convênio DAEE-CETESB.

Responsáveis pelo Projeto

Bel. Quím. Sonia M.M. Vieira (Msc) Coordenadora e Principal Pesquisadora

Engº Pedro Alem Sobrinho (Msc, Dr.) - Supervisor

1. INTRODUÇÃO

No tratamento de águas residuárias de pequenas populações, o processo de valos de oxidação tem sido bastante empregado em nosso país, por se constituir numa solução eficiente além de simples e econômica. Esse sistema foi desenvolvido por Pasveer, na Holanda em 1956 e é baseado essencialmente nos princípios básicos de aeração prolongada. Desde então, esse processo tem sido estudado e atenção especial é dada ao sistema de aeração, procurando tornar o processo cada vez mais econômico e de fácil aplicação.

Entre os sistemas de aeração empregados destacam-se os aeradores mecânicos de superfície de eixo horizontal (tipo escova) e os de eixo vertical que também tem sido utilizados em valos de oxidação, no caso destes serem muito profundos.

O estudo que se pretende realizar é uma tentativa de tornar esse processo mais econômico, substituindo estes aeradores mecânicos de superfície, que são caros e recomendam muita manutenção, por um sistema de aeração composto de bomba centrífuga e sistema de sucção de ar acoplado à linha de recalque e determinar as condições de operação do processo adequadas ao nosso clima, de modo a evitar o superdimensionamento dos sistemas de aeração prolongada que se vem verificando no país.

Para avaliar sua eficiência de aeração e viabilidade econômica, esse sistema será testado num valo de oxidação que está sendo instalado na Estação Experimental do Caxingui.

2. CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROCESSO DE VALO DE OXIDAÇÃO

Os valos de oxidação funcionam essencialmente como os sistemas de aeração prolongada e seguem os mesmos princípios de projeto e operação que estes. O valo serve como um reator de aeração e o circuito contínuo acarreta um excelente sistema de mistura completa. Apresenta também vantagens por ser de simples escavação e construção econômica. Neste sistema, o esgoto bruto, após passar por gradeamento e caixa de areia entra para um valo de pouca profundidade onde o sistema de aeração mantém o líquido agitado e aerado. A profundidade do tanque é em geral de 1,0 m a 1,5 m e pode ser construído em alvenaria ou outro material que seja impermeável à água. Após o valo, pode haver um decantador secundário do qual o lodo decantado retorna para o valo e/ou é enviado para um leito de secagem, enquanto o sobrenadante clarificado é descartado. Em alguns casos, o próprio valo pode servir como decantador, interrompendo-se a aeração. A decantação secundária pode também ser realizada em compartimento adequadamente construído dentro do próprio valo⁽¹⁾.

2.1 Teoria do Processo de Aeração Prolongada

No processo de aeração prolongada, o material orgânico é biodegradado e é removido do sistema juntamente com a massa celular, através de decantação.

A estabilização do material orgânico ocorre em duas fases. Numa primeira etapa uma porção do material orgânico é oxidada liberando energia que é utilizada na formação do material celular através do material orgânico remanescente. Numa segunda fase, a de respiração endógena, as novas células formadas sofrem auto-oxidação produzindo CO_2 , H_2O e material biologicamente inerte⁽²⁾.

O grau de auto-oxidação atingido depende da quantidade de alimento disponível e do tempo que os microrganismos tem para metabolizar o material orgânico. Assim, se existe alimento em excesso, ou seja, a relação alimento/microrganismos é alta, a fase endógena praticamente não existe. Se ao contrário, existe escassez de alimento com a relação alimento/microrganismos baixa, a fase endógena predomina e a produção de lodo biológico é mínima.

Então é a relação alimento/microrganismos, ou seja, a relação entre a síntese e a respiração endógena, que distingue entre os vários tipos de processo biológico aeróbio, sendo que o mecanismo básico permanece o mesmo.

No sistema de lodo ativado de alta taxa (taxa de aplicação volumétrica de 1,6 g DBO/l.dia) a quantidade de lodo produzida é alta e seu consumo é pequeno. No sistema convencional de lodo ativado (0,6 a 0,8g DBO/l.dia) ocorre um equilíbrio entre o crescimento celular e seu consumo. No processo de aeração prolongada (0,2 a 0,5 g DBO/l.dia) o lodo produzido é mínimo e seu consumo teoricamente é total. Todo o

material celular produzido na primeira fase sofre auto-oxidação, permanecendo no sistema apenas os sólidos inertes. Isto não acontece na prática pois o tempo requerido para a oxidação total seria muito grande ⁽²⁾. Essa pequena quantidade de lodo produzida é bastante estável.

No sistema de valo de oxidação, a aeração prolongada é efetuada mantendo-se baixa carga orgânica da alimentação, grande quantidade de sólidos em suspensão e alto tempo de detenção. O excesso de lodo gerado é bastante estável além de ser produzido em pequena quantidade. Devido a essas características, esse lodo pode ser encaminhado a secagem ou destino final sem necessidade de prévia estabilização ⁽³⁾.

Processando-se um valo de oxidação com esgoto doméstico de concentração de matéria orgânica alimentada entre 200 e 250 mg/l de DBO e tempo de detenção hidráulico de 24 hs que é o normalmente empregado, obtém-se um efluente com 20 a 25 mg/l de DBO ⁽²⁾.

2.2. O Valo

A forma do valo é em geral oval e alongada com secção transversal trapezoidal, como indica a figura 1, podendo ter outras formas inclusive circular. O importante é que forme um circuito fechado. A profundidade atinge entre 0,9 m e 1,5 m sendo por isso um sistema de escavação fácil e econômico.

O valo deve ser preferencialmente recoberto de concreto ou outro material como asfalto, madeira, etc., para evitar problemas de erosão.

2.2.1. Variações da Forma do Valo

Variações da forma do valo foram desenvolvidas na Holanda e tem sido utilizadas na Europa desde 1968 ⁽⁴⁾ tendo sido designadas como tanque de aeração do processo "Carrousel". O sistema "Carrousel" aplica as vantagens dos conceitos de mistura completa e fluxo tubular a valos de oxidação de grande porte. A largura e profundidade do canal na secção do aerador, são aumentadas para se adequarem ao sistema de aeração que consiste de um aerador mecânico convencional de eixo vertical. A figura 2 mostra alguns esquemas do sistema "Carrousel".

2.2.2. Dimensionamento dos Valos

A dimensão dos valos de oxidação variam em função do seu volume, da sua forma em planta e da secção transversal escolhida.

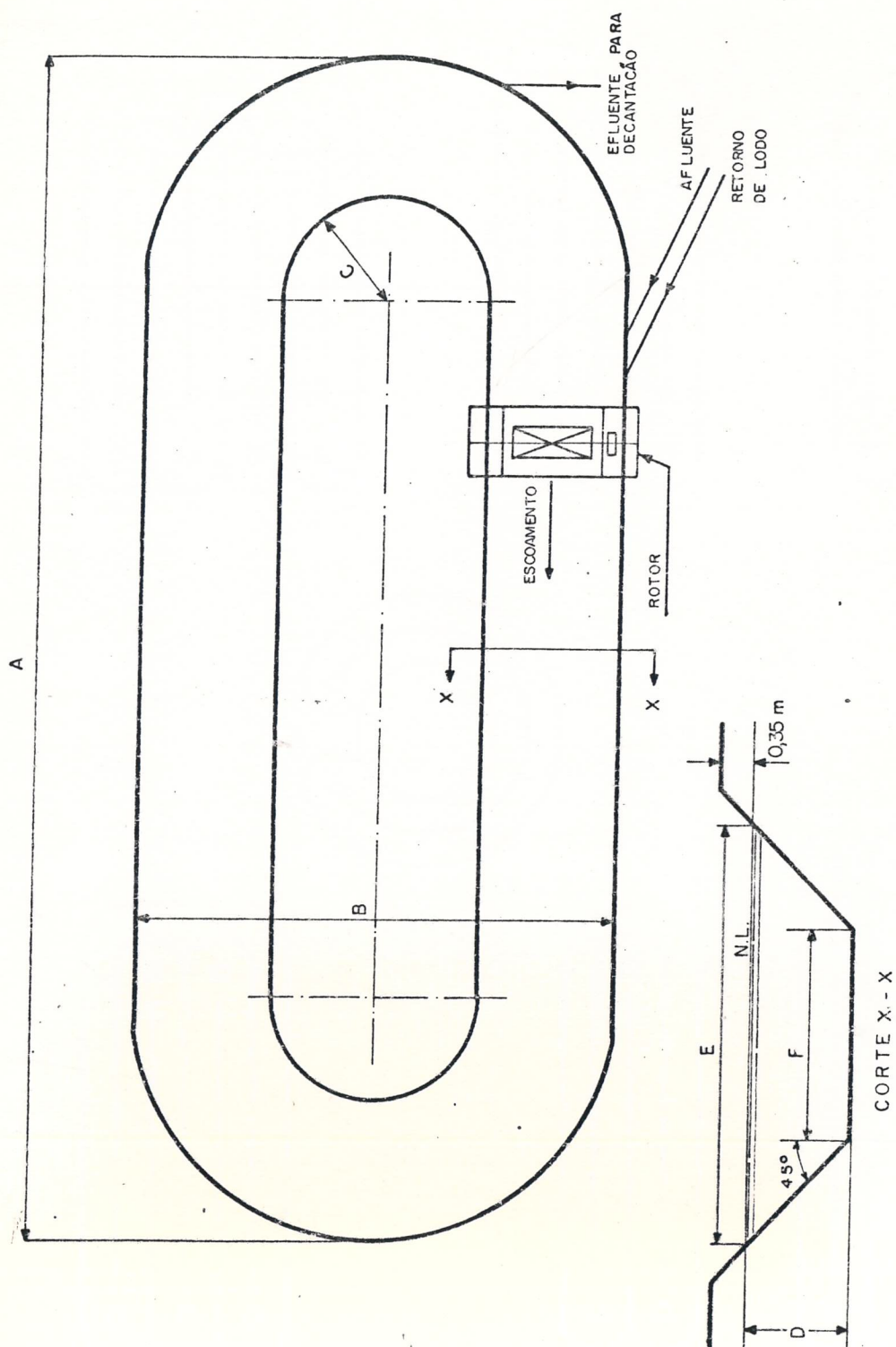


FIGURA 1 - DIMENSÕES DE UM VALO DE OXIDAÇÃO (ESQUEMÁTICO), RELATIVAS À TABELA 2.

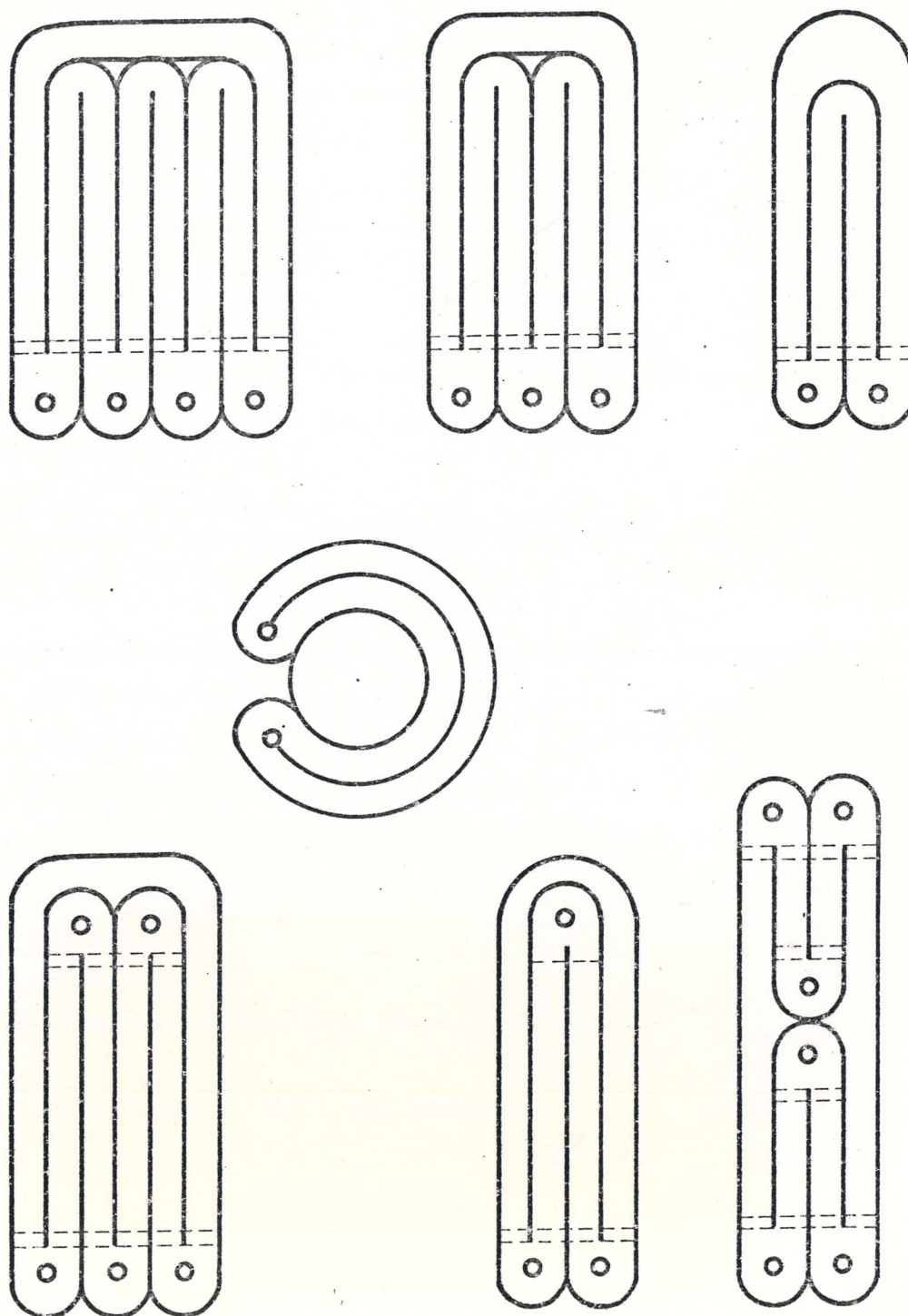


FIGURA 2: CONFIGURAÇÕES DE TANQUES DO SISTEMA "CARROUSEL"
(4)

As cargas geralmente adotadas no tratamento de esgoto do m_éstico são dadas na tabela 1⁽¹⁾. A eficiência de remoção de DBO atinge em geral 95 a 98%. Para estas cargas, o tempo de detenção para esgotos domésticos, vai variar de 0,7 a 1,5 dias. A carga orgânica aplicada por unidade de lodo é um melhor parâmetro para ser usado do que a carga volumétrica ou tempo de detenção.

TABELA 1 - Fatores de carga recomendados para sistemas de aeração prolongada ⁽¹⁾

Processo de aeração prolongada	Clima Temperado	Clima Quente
1. Carga Orgânica (kg DBO/kg SSTA.dia) [*]	0,05-0,10	0,10-0,15
2. Carga Orgânica (kg DBO/kg SSVTA.dia) ^{**}	0,10-0,20	0,2-0,3
3. Carga Volumétrica (kg DBO/100 m ³ de volume de aeração.dia)	20-40	40-60

* Admitindo SSTA de 4000mg/l

** Admitindo SSVTA como 50% do SSTA

A carga orgânica aplicada para tratamento de esgoto doméstico contendo decantador secundário a parte tem sido de 0,05. Essa carga orgânica ou fator de carga aplicado ao lodo é definido como a massa de substrato aplicada por unidade de massa de microrganismos num determinado período de tempo

$$\frac{F}{M} = \frac{Q_o S_o}{X V}$$

onde

$$\frac{F}{M} = \text{fator de carga aplicado ao lodo} \frac{\text{kg DBO}}{\text{kgSSVTA.dia}}$$

$$Q_o = \text{vazão de alimentação (m}^3/\text{dia)}$$

$$S_o = \text{concentração da DBO na alimentação (kg/m}^3\text{)}$$

$$X = \text{concentração de sólidos suspensos voláteis no tanque de aeração (kg/m}^3\text{)}$$

$$V = \text{volume do tanque (m}^3\text{)}$$

A concentração dos sólidos suspensos no tanque de aeração varia entre 3 e 6 kg/m³ sendo usual trabalhar-se com 4 kg/m³.

Este dimensionamento tem sido empregado para esgotos de baixa concentração orgânica desde 0,16 g/l de DBO até concentrações orgânicas altas de esgotos industriais de 0,64 g/l de DBO⁽⁵⁾.

Quando se trata de valos de oxidação pequenos, outras bases de dimensionamento devem ser adotadas, devido a alta velocidade do fluxo que se atinge. Estas altas velocidades podem causar problemas indesejáveis de ordem econômica devido às operações suplementares que se fazem necessárias.

Para estes casos de valos de pequeno porte com até $220 \text{ m}^3/\text{d}$ (ou $160 \text{ kg DBO}/\text{dia}$) foi construída uma tabela baseada no estudo de uma série de valos pequenos em operação e o cômputo dos resultados está mostrado na tabela 2 e na figura 1⁽⁵⁾.

Nesta tabela encontram-se sugeridas as dimensões do valo em função da carga de DBO aplicada diariamente ao sistema. Os valores foram obtidos para uma concentração de sólidos em suspensão no tanque de aeração (SSTA) da ordem de $4 \text{ kg}/\text{m}^3$.

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

TABELA 2 - Dimensões usuais para valos de oxidação

Carga Orgânica (kg DBO/dia)	Dimensões do Valo (m) ¹						Rotor ²		
	A	B	C	D	E	F	Comprimento (m)	Velocidade (r.p.m)	Potência (h.p.)
11,6	15,2	8,5	1,8	0,9	2,7	0,9	0,9	65 a	1,5
15,4	20,7	8,5	1,8	0,9	2,7	0,9	0,9	75 a	1,5
19,2	26,2	8,5	1,8	0,9	2,7	0,9	0,9	75 b	2,0
23,2	32,0	8,5	1,8	0,9	2,7	0,9	0,9	70	2,0
27,0	28,7	9,8	2,1	1,1	3,0	0,9	0,9	75	3,0
30,9	32,9	9,8	2,1	1,1	3,0	0,9	0,9	80	3,0
34,6	32,3	10,4	2,1	1,1	3,4	1,2	1,2	74	3,0
38,6	36,0	10,4	2,1	1,1	3,4	1,2	1,2	78	3,0
46,3	42,7	11,0	2,4	1,1	3,4	1,2	1,2	86	5,0
54,0	32,6	12,8	2,4	1,2	4,3	1,8	1,5	80	5,0
61,7	37,5	12,8	2,4	1,2	4,3	1,8	1,5	89	5,0
69,5	38,7	13,4	2,4	1,2	4,6	2,1	1,8	86	7,5
77,2	39,9	13,4	2,4	1,4	4,6	1,8	1,8	90	7,5
84,9	36,9	14,6	2,4	1,4	5,2	2,4	2,1	88	7,5
95,3	37,5	15,2	2,4	1,4	5,5	2,7	2,4	86	7,5
103,5	40,8	15,2	2,4	1,4	5,5	2,7	2,4	89	7,5
110,3	40,8	15,8	2,4	1,4	5,8	3,0	2,7	88	10,0
119,9	43,9	15,8	2,4	1,4	5,8	3,0	2,7	91	10,0
128,0	43,9	16,5	2,4	1,4	6,1	3,4	3,0	89	10,0
136,2	46,6	16,5	2,4	1,4	6,1	3,4	3,0	91	10,0
144,4	44,2	17,7	2,4	1,4	6,7	4,0	3,4	90	10,0
152,5	44,2	18,3	2,4	1,4	7,0	4,3	3,7	89	15,0
160,7	46,3	18,3	2,4	1,4	7,0	4,3	3,7	90	15,0

1. As dimensões são indicadas na figura 1
2. Todos os rotores são de 0,70 m de diâmetro, operando com imersão de 0,15 m exceto (a), com 0,10 m e (b), com 0,12 m.

2.3. Tanque de Sedimentação

Os valos de oxidação operam como um sistema fechado e os sólidos formados devem permanecer no processo. A operação deve ser tal que favoreça a formação de flocos de boa sedimentabilidade, possibilitando a separação dos sólidos do líquido para retorná-los ao tanque de aeração.

A alimentação deve ser introduzida logo antes do ponto de aeração, e a saída do líquido do tanque de aeração para o decantador deve estar na extremidade oposta à alimentação e aeração, propiciando circuitos longos para o líquido que está sendo introduzido no sistema. A jusante do ponto de aeração tem-se uma zona de turbulência e logo após uma zona de menor movimento onde pode-se observar os flocos do lodo, quando este é de boa qualidade.

Em geral, os problemas de má qualidade do efluente no sistema de valo de oxidação é devido a operação e projetos inadequados do tanque de sedimentação. Isso porque a maior parte da DBO do efluente é causada pela perda de sólidos suspensos nesse tanque. Essa perda pode ser aumentada pelas más características de decantação dos sólidos. Um lodo com boas características de sedimentação apresenta Índice Volumétrico de Lodo (IVL) entre 70 e 100 ml/g. Quando o oxigênio dissolvido no tanque de aeração é menor que 0,5 mg/l, organismos filamentosos tendem a florescer, gerando a condição de "intumescimento do lodo". O IVL aumenta e os sólidos tendem a ser carregados pelo efluente, aumentando a DBO. O aumento da aeração ou a redução da carga em DBO pode recuperar o sistema, e favorecer o crescimento de bactérias formadoras de flocos⁽¹⁾.

Por estas razões o tanque de sedimentação deve ser considerado como parte integral do sistema. Deve ser dimensionado para efetuar uma boa separação dos sólidos do líquido prove

niente do tanque de aeração e, propiciar o retorno dos sólidos sedimentados ao tanque de aeração.

2.3.1. Dimensionamento do Tanque de Sedimentação

A taxa de escoamento superficial para dimensionamento de tanques de sedimentação de processo de lodos ativados tem variado de 12 a 41 m³/m².dia, existindo exemplos de sistemas que operam nos limites dessa faixa sem dificuldades de produzir efluente de boa qualidade ⁽⁶⁾. No entanto deve-se considerar as características gerais de operação e a velocidade de decantação em cada caso.

O dimensionamento do tanque de sedimentação dos valos de oxidação tem sido baseado no seguinte valor médio para a taxa de escoamento superficial ⁽⁵⁾

$$25 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$$

Um tempo de detenção de 3 horas é necessário para manter a alta concentração de sólidos proveniente do valo no tanque de sedimentação.

Como normalmente o processo não possui decantador primário, é recomendável que o tanque de sedimentação contenha um removedor de espuma. Esta deve ser retornada ao tanque de aeração diariamente e quando estiver em excesso no valo deve ser removida do processo.

2.4. Sistema de Aeração

A maioria dos valos de oxidação tem a secção transversal em forma de trapézio relativamente pouco profunda, formando um circuito fechado. O valo funciona como um reator de aeração.

O líquido percorre o circuito fechado impulsionado através de aerador mecânico ou de bombeamento dispostos em um ou mais pontos do reator.

A função dos sistemas de aeração nos valos é (5):

- a) suprir a energia necessária para produzir mistura completa no conteúdo do valo
- b) fornecer o oxigênio necessário para a atividade biológica.

Os sistemas de aeração mais usados em valos de oxidação são os aeradores mecânicos de superfície tipo escova (ou de eixo vertical para valos mais profundos) e os ejetores de ar difuso (6).

Estes sistemas, além de aerar, bombeiam o líquido que percorre o circuito fechado.

A velocidade do líquido no canal é em geral mantida entre 0,25 e 0,35 m/s (6).

As eficiências de transferência de oxigênio desses aeradores são afetados pelas diversas variáveis do sistema como por exemplo o projeto do aerador, geometria do tanque, efeitos das paredes laterais do tanque e a relação entre o volume do tanque e o tamanho do aerador.

Alguns testes padrões são executados para se dimensionar adequadamente o sistema de aeração a um determinado projeto de valo. Assim, determina-se a quantidade de oxigênio máxima que pode

ser transferida pelo aerador, que é estabelecida pelos valores de saturação do líquido. Utiliza-se água limpa, elimina-se o oxigênio dissolvido e converte-se os dados obtidos para as condições padrão de 20°C e 760 mm de Hg. Estes testes são descritos no item "Testes de Eficiência do Aerador", pág. 30.

2.4.1. Aeradores Mecânicos de Superfície

Estes aeradores podem ser classificados em três tipos⁽⁶⁾:

- . de fluxo radial e baixa velocidade
- . de fluxo axial e alta velocidade
- . rotores horizontais tipo escova

As vantagens e desvantagens de cada um dependem de sua aplicação.

Esses aeradores em geral se adaptam bem a várias geometrias de tanques e particularmente favorecem grandes tanques onde se pode usar sistemas de aeração de alta potência.

Os aeradores mecânicos de superfície fornecem aeração pontual. A oxigenação da água se passa na vizinhança do aerador. O fluído, partindo do aerador no sentido radial, tem sua velocidade diminuída a medida que se distancia do mesmo. O oxigênio dissolvido do fluído é máximo nas proximidades logo após o aerador, onde a turbulência é máxima, diminuindo gradativamente através do circuito até atingir novamente o aerador.

Os aeradores de fluxo radial e baixa velocidade apresentam várias configurações, como é mostrado na figura 3. Os aeradores de fluxo axial e alta velocidade tem sido utilizados em lagoas de estabilização, pois se aplicados a lodos ativados, ocasionam problemas de ruptura dos flocos dificultando sua sedimentação.

Nos valos mais profundos do sistema "Carrousel" se utilizam aeradores mecânicos de eixo vertical (fluxo axial e alta velocidade).

Em valos de oxidação normais, os aeradores mecânicos mais usados são os rotores horizontais tipo escova, mostrado na figura 4. O mais comum é o tipo gaiola, constituído de 12 barras horizontais de a o onde se encontram p s de 5 a 15 cm de largura distanciadas de 5 cm, tendo 0,70 m de diâmetro operando com imersão de 6 a 25 cm (7).

O rotor é colocado no sentido transversal do valo, no plano horizontal   superfície do líquido formando um ângulo reto com a direção do fluxo.

A rotação do rotor deve estar entre 70 e 110 rpm para evitar a sedimentação dos sólidos e o alto consumo de energia elétrica (7).

Para se utilizar aeradores mecânicos de superfície para diversos processos de aeração e vários resíduos, é preciso conhecer sua capacidade de oxigenação e a potência requerida para essa aeração. Com boas condições de rendimento,   possível obter-se 3.090 g de oxigênio produzido por KW (5).

2.4.2. Aeradores de Ar Difuso

Os aeradores de ar difuso são classificados em (6):

Difusores de Bolha

Difusores tubulares

Difusores de jato (ou ejetores de ar difuso)

Nos valos de oxidação são utilizados os ejetores de ar difuso (figura 5).

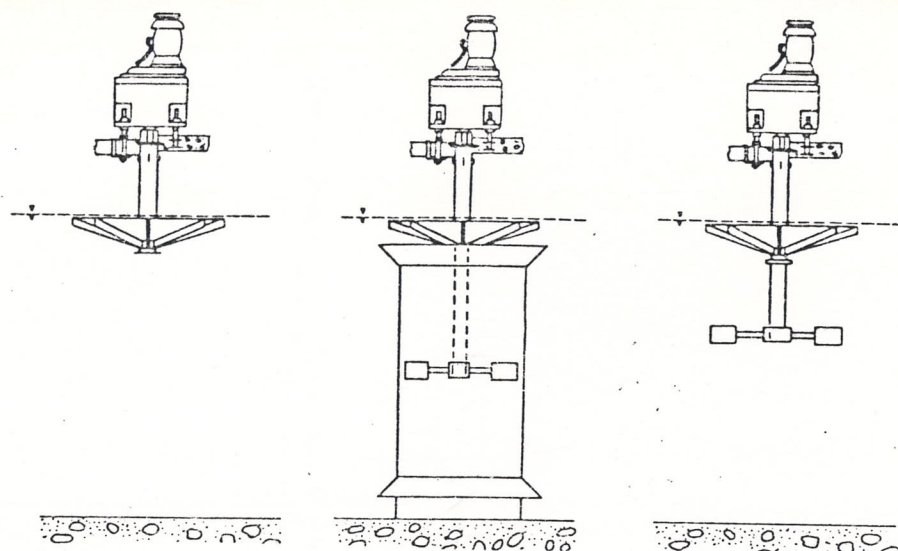


Figura 3 - Aeradores mecânicos de superfície de baixa velocidade⁽⁶⁾.

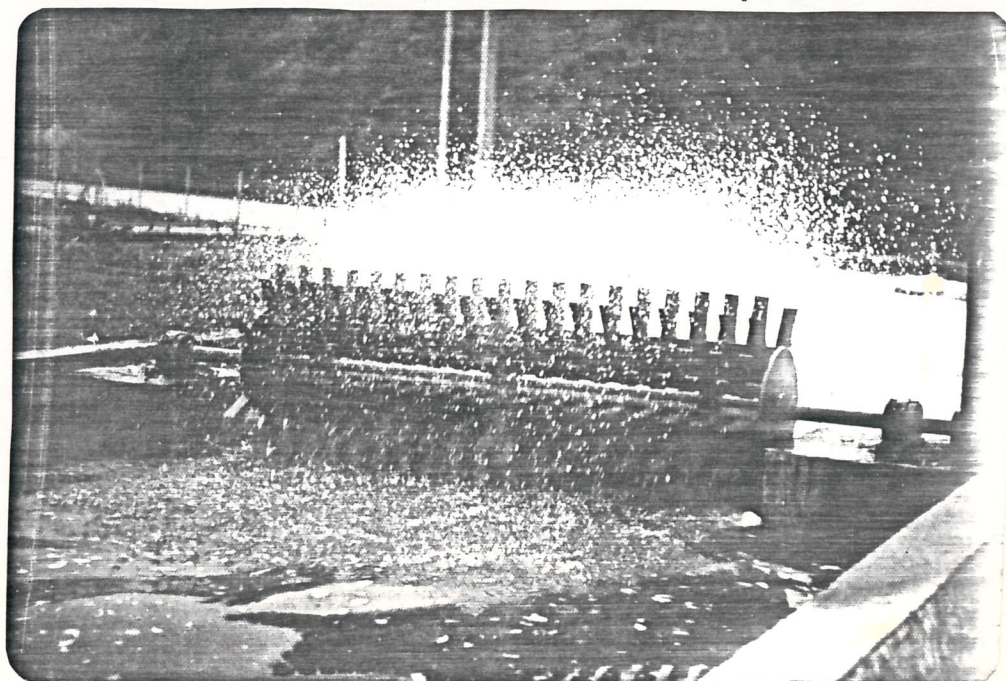


Figura 4 - Aerador mecânico de superfície: rotor tipo escova, utilizado em valos de oxidação.

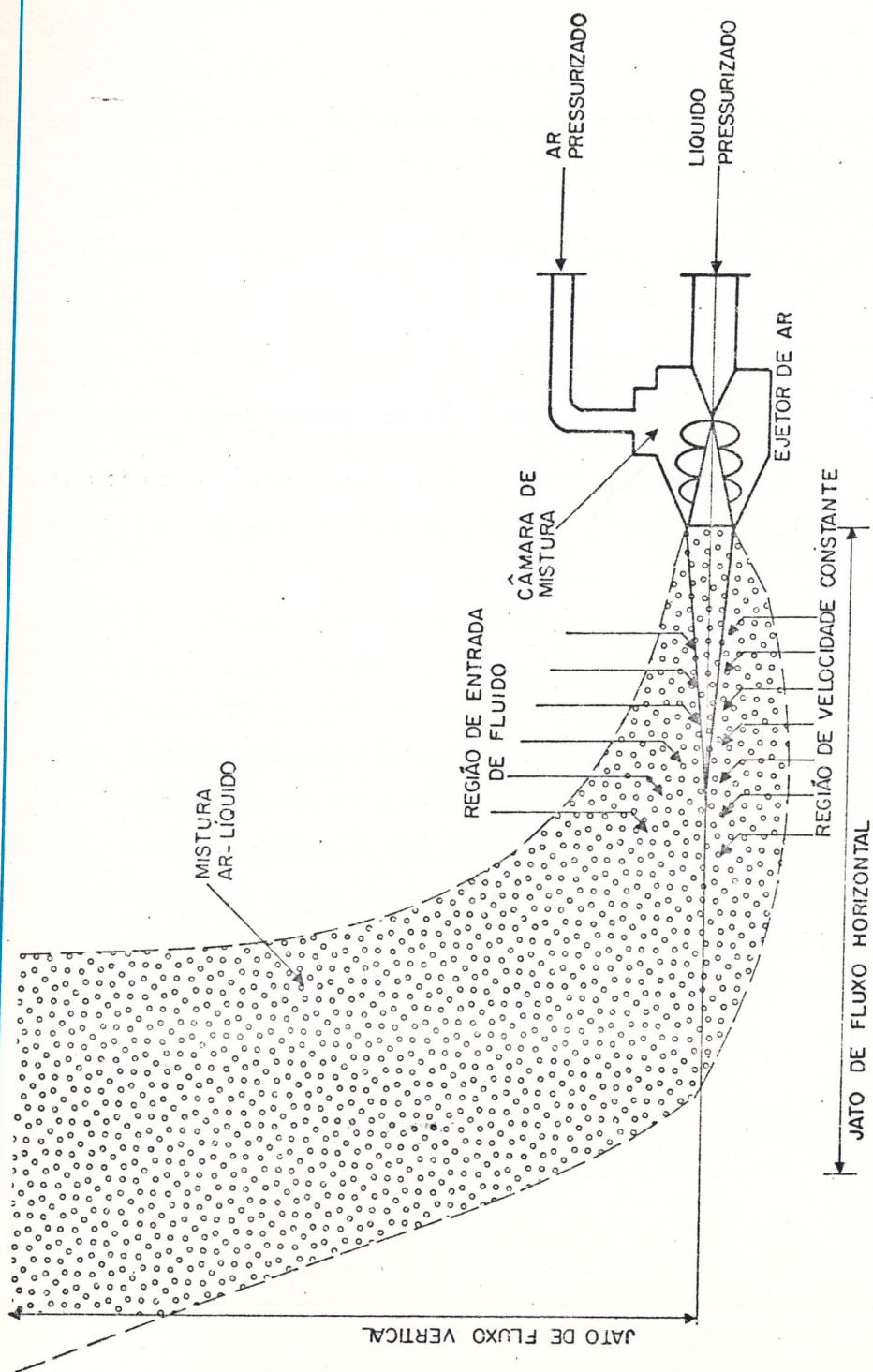


FIGURA 5 : EJETOR DE AR DIFUSO

Nesses sistemas o oxigênio é transferido ao mesmo tempo que se formam as bolhas depois que as bolhas deixam o difusor. A grande extensão da transferência ocorre depois que a bolha deixa o difusor, o que é evidenciado pelo aumento linear da eficiência de transferência x profundidade⁽⁶⁾.

Os fatores que afetam a transferência de oxigênio (% de oxigênio fornecida através do difusor e absorvida pelo líquido) são⁽⁶⁾:

1. tamanho das bolhas
2. velocidade do ar difuso
3. localização do difusor
4. velocidade do meio ao redor

Bolhas pequenas com grande área interfacial tem melhor eficiência de transferência. A transferência de oxigênio é função da transferência da massa através da interface do líquido. Para um dado volume de ar, um aumento no tamanho da bolha vai diminuir a quantidade de área superficial para a interface gás-líquido. Se o tamanho da bolha é dobrado, então a área interfacial é dividida à metade.

A tensão superficial, também é um fator importante pois tende a quebrar grandes bolhas.

Aumentando a velocidade do ar difuso pode-se tanto aumentar como diminuir a eficiência de transferência de oxigênio, dependendo do tipo de difusor usado. Para sistemas de bolhas finas, um aumento na velocidade do ar além da velocidade normal de operação, diminui a eficiência de transferência. Para um sistema de bolhas grossas, um aumento na velocidade do ar, aumenta a eficiência de transferência de oxigênio, por causa do aumento da quebra de grandes bolhas.

A disposição do difusor e a velocidade do meio ao redor, es
tão relacionados, nesses sistemas e tem efeito na transferên
cia de oxigênio.

Leary et al (6,8), mostraram que a transferência padrão de oxigênio varia entre 3,9 e 17,1 %, dependendo do tipo de sistema de difusão, da sua localização e da geometria do tanque.

Para os ejetores de ar difuso, West e Paulson (6,9), apresentaram dados que indicam que a eficiência do ejetor de ar de
pende da submergência e de outras considerações físicas. As velocidades de oxigenação dos ejetores variam de 0,4 até mais de 0,8 kg/MJ (1,1 a 2,3 kg O₂ transf/hp.h).

A transferência de oxigênio do ar de alimentação aos (ejetores) chega a atingir 10 a 15%, tendo sido encontrados valores tão altos quanto 37% (6).

Para evitar entupimentos do esguicho recomenda-se o trata
mento primário do resíduo ou algum pré-tratamento mais gros
seiro que elimine as fibras e outros materiais que possam prejudicar o funcionamento do ejetor de ar.

2.4.3. Outras Considerações a Respeito do Sistema de Aeração

Os valos de oxidação podem apresentar problemas de odores e de espirramento do líquido.

Odores podem ser causados pelo suprimento inadequado de oxi
gênio do sistema de aeração, ou devido a existência de sulfe
tos ou outros compostos voláteis na alimentação. No caso da

existência de compostos voláteis sugere-se que a alimentação seja distribuída por todo o tanque para minimizar a concentração presente no ponto de alimentação ⁽⁶⁾.

Os efeitos de espirramento, causados quando se utiliza aeradores mecânicos de superfície, podem ser minimizados com projetos geométricos bem executados.

2.5. Retorno de Lodo

CETESB - CIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

Todo o lodo sedimentado no decantador secundário retorna ao valo. A recirculação situa-se em torno de 100% da vazão de entrada e o mecanismo do retorno de lodo deve ser dimensionado para permitir no mínimo 100% do fluxo de alimentação.

O lodo em geral apresenta concentração de sólidos entre 1 e 2% e a vazão de recirculação é calculada em função desta concentração. Se por exemplo, os sólidos suspensos no tanque de aeração estão por volta de 6000 mg/l e a concentração dos sólidos no retorno está na faixa indicada acima, o retorno de lodo deve estar por volta de 67% da vazão de entrada⁽⁵⁾.

O valo é operado como um sistema fechado e ocorre um pequeno aumento dos sólidos suspensos devido ao crescimento celular. A medida que os sólidos suspensos se acumulam deve-se efetuar sua remoção do processo. Esta remoção deve ser efetuada quando os sólidos suspensos no tanque de aeração atingirem valores tão altos quanto 8000 mg/l ou quando o oxigênio dissolvido, logo a jusante do aerador cair a 0-0,5 mg/l. Este aumento pode ser percebido acompanhando-se o comportamento dos sólidos no tanque de sedimentação. Num período de 1 a 4 semanas, se o retorno de lodo estiver funcionando a contento, percebe-se a subida dos sólidos suspensos no tanque de sedimentação até o nível da saída do efluente⁽⁵⁾.

Para esgotos domésticos não sedimentados, a produção de lodo em excesso varia de 0,6 a 0,75 kg de lodo por kg de DBO removida⁽¹⁾.

3. ESQUEMA DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE VALO DE OXIDAÇÃO COM AERAÇÃO MODIFICADA

O sistema de valo de oxidação instalado na Estação Experimental do Caxingui, é composto de gradeamento, caixa de areia e vertedor Parshall, bomba de recalque do esgoto afluente para o valo, valo de oxidação, decantador secundário e sistema de aeração do valo, conforme mostra a figura 6.

3.1. Sistema de Aeração

O sistema de aeração é constituído por uma bomba centrífuga e um ejedor para sucção de ar do tipo "Ejetor de Ar Difuso" (10). Ao mesmo tempo que o sistema recircula o líquido no valo, introduz ar no sistema. A bomba possui as seguintes características:

Vazão recalcada	310 GPM ($70\text{m}^3/\text{h}$)
Altura manométrica	25 pés (7,6 mca)
Velocidade	1750 rpm
Corrente	14 ampêres
Potência	5 hp
Tensão	220 volts

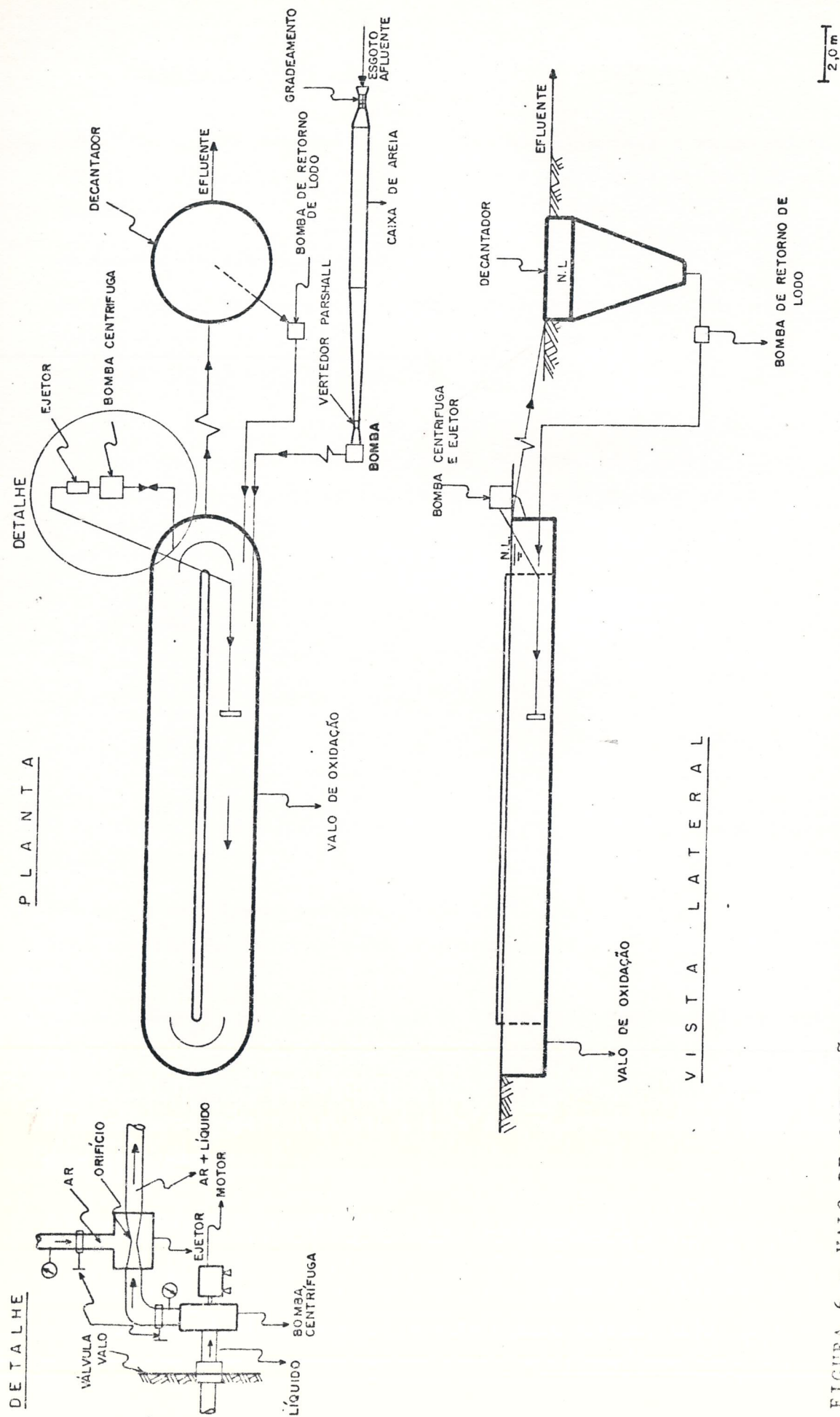


FIGURA 6 - VALO DE OXIDAÇÃO A SER UTILIZADO NOS TESTES COM O SISTEMA DE AERAÇÃO MODIFICADO.

3.2. Condições de Operação.

Para testar esse sistema de aeração, tem-se um valo e um decantador secundário, de dimensões definidas (figura 6) que será alimentado com esgoto doméstico.

Os dados iniciais do projeto são:

DBO do esgoto afluyente (So): 0,23 kg/m³

Volume do valo de oxidação (V) : 108 m³

Profundidade do valo de oxidação (h) : 1,5 m

Fixando-se a taxa de aplicação orgânica (F/M) em 0,05 kg DBO/kg SSTA. dia e o teor de sólidos suspensos (X) necessários como 4,0 kg SSTA/m³, é possível calcular a vazão de esgoto afluyente ao valo como segue:

$$\frac{F}{M} = \frac{Q_o \cdot S_o}{V \cdot X}$$

$$Q_o = \frac{F/M \cdot V \cdot X}{S_o}$$

$$Q_o = \frac{0,05 \cdot 108 \cdot 4,0}{0,23}$$

$$Q_o = 93,9 \text{ m}^3/\text{dia}$$

O decantador secundário disponível para esta operação tem as seguintes dimensões:

Volume do decantador secundário: 59,5 m³

Área superficial do decantador secundário: 25,5 m²

Com a vazão de 93,9 m³/d, a taxa de escoamento superficial no decantador secundário será de 3,7 m³/m². dia, que está fora da faixa normalmente empregada (12 a 41 m³/m²/d). Com a vazão de 282 m³/d (F/M = 0,15) a taxa de escoamento superficial vai a 11 m³/m². d, aproximando-se mais das condições indicadas.

3.2.1. Oxigênio Necessário

O oxigênio é necessário ao processo para degradar o substrato e produzir a energia requerida para a síntese celular e a respiração. Deve ser mantida uma quantidade residual mínima de 0,5 a 2,0 mg/l de OD para prevenir deficiências em oxigênio.

Para a determinação da quantidade de oxigênio necessária ao processo tem sido usada a seguinte relação⁽⁶⁾.

1 g de O_2 por g de DBO removido

Eckenfelder e O'Connor⁽⁶⁾ propuseram a seguinte equação para determinação do oxigênio requerido:

$$g\ O_2\ necess\u00e1rio/d = (A)\ (g\ DBO\ remov/d) + (B)\ (g\ SSTA) \quad (1)$$

onde A representa a quantidade de oxigênio requerida para a síntese e B é a quantidade de oxigênio requerida para a respiração end\u00f4gena. (SSTA = s\u00f3lidos suspensos no tanque de aeração).

Para as constantes A e B, Eckenfelder e O'Connor encontraram os seguintes valores:

$$A = 0,48\ mg\ O_2/mg\ DBO\ remov.$$

$$B = 0,08\ mg\ O_2/mg\ s\u00f3lidos.d$$

Pode-se calcular ent\u00e3o a quantidade de O_2 necess\u00e1rio pela equação acima. Para o sistema em quest\u00e3o tem-se:

$$Q_o = 93,9\ m^3/d$$

$$S_o = 0,23\ kg/m^3$$

$$93,9 \times 0,23 = 21,6\ kg\ DBO/d$$

supondo-se 95% de remoção de DBO tem-se:

$$20,5\ kg\ DBO\ remov/dia$$

Substituindo-se na equação (1) tem-se

$$O_2\ neces = (0,48 \times 19,4 + 0,08 \times 4 \times 108)$$

$$O_2\ neces = 43,9\ kg\ O_2/d$$

Utilizando-se a relação 1 g O₂/g DBO remov. obtêm-se:

$$O_2 \text{ nec.} = 20,5 \text{ kg } O_2/d$$

3.2.2. Ajuste da Taxa de Recirculação do Lodo

O balanço material dos sólidos suspensos em torno do decantador é efetuado, de acordo com as vazões e concentrações indicadas na figura 7, conforme é mostrado abaixo. O descarte de lodo é considerado desprezível.

$$X \cdot (1 + r) \cdot Q_o = X_r \cdot r \cdot Q_o + \frac{Q_d \cdot X_r}{0}$$

de onde se pode calcular:

$$r = \frac{X}{X_r - X}$$

Este é o cálculo teórico da taxa de recirculação. No tanque de sedimentação pode ocorrer desnitrificação, ocorrendo o aparecimento de sólidos com bolhas de gás no efluente do decantador. Neste caso aumenta-se a taxa de recirculação.

3.2.3. Descarte de Lodo

O descarte de lodo é efetuado de acordo com o tempo de detenção celular, cuja relação com a taxa de aplicação orgânica (F/M) varia com o tipo de resíduo e é função do tempo⁽⁶⁾.

$$\frac{1}{\theta_c} = Y \left(\frac{F}{M} \right) - K_d$$

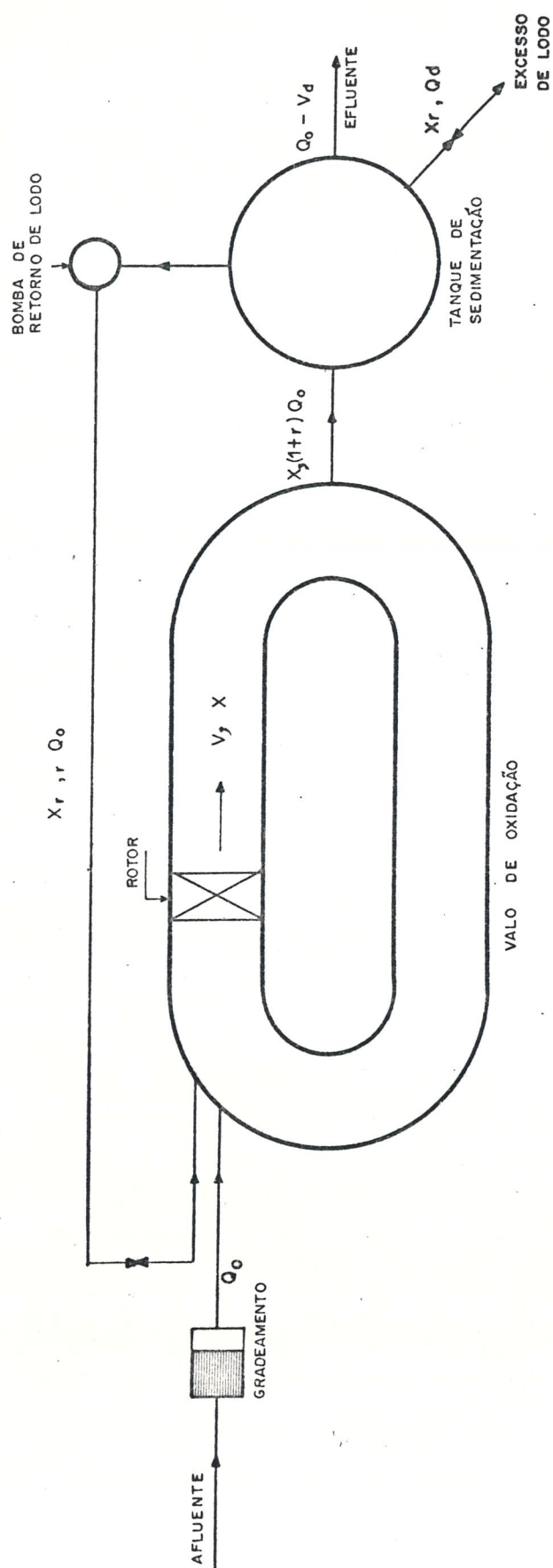


FIGURA 7 - ESQUEMA DO SISTEMA DE TRATAMENTO CONSTITUÍDO DE VALO DE OXIDAÇÃO

$$\left(\frac{F}{M}\right)_r = \frac{F}{M} \left(\frac{S_o - S_e}{S_e} \right)$$

onde

θ_c = tempo de detenção celular (dia^{-1})

Y = coeficiente de produção celular $\frac{\text{mg SSVTA prod.}}{\text{mg DBO cons.}}$

K_d = coeficiente de decaimento endógeno (dia^{-1})

S_o = concentração da DBO na alimentação (mg/ℓ)

S_e = concentração da DBO no efluente (mg/ℓ)

Para esgotos domésticos:

Y varia de 0,5 a 0,7 e K_d de 0,04 a 0,1. Essa variação depende do processo de tratamento, da eficiência de remoção de substrato, de θ_c e das características do esgoto.

Por definição, considerando-se desprezíveis os sólidos perdidos com o efluente final:

$$\theta_c = \frac{VX}{Q_d X_r}$$

onde

Q_d = vazão de descarte de lodo (m^3/d)

X_r = concentração de sólidos suspensos voláteis no retorno de lodo (kg/m^3)

Então, a vazão diária de descarte de lodo, é dada por:

$$Q_d = \frac{VX}{\theta_c X_r}$$

Na prática, nos processos de valos de oxidação, o descarte é efetuado periodicamente, como descrito no item 2.5, pág.

4. TESTES DE EFICIÊNCIA DO AERADOR

Para se conhecer a eficiência de um aerador são executados testes no tanque de aeração, nas condições normais de operação utilizando-se água limpa. Determina-se a quantidade de oxigênio que pode ser transferida pelo aerador pelos valores de saturação do líquido, e os valores são corrigidos para as condições padrão.

Como a concentração é função do tempo, então, pode-se escrever (11):

$$\frac{dC}{dt} = K_{La} (C_s - C_t) = K_{La} D_t \quad (2)$$

onde

$\frac{dC}{dt}$ é a velocidade de variação da concentração de oxigênio

K_{La} é o coeficiente de transferência

C_s é a concentração de saturação

C_t é a concentração de oxigênio em qualquer instante t

D_t é o déficit de oxigênio em qualquer instante t

É importante observar que K_{La} depende de muitas variáveis tais como, profundidade do difusor e velocidade do fluxo de ar. Se não ocorrem mudanças nas propriedades do aerador ou no tanque de aeração, o valor de K_{La} é fixo.

O teste consiste em reaerar água limpa desoxigenada, contida no tanque de aeração. A desoxigenação pode ser efetuada adicionando-se sulfito de sódio e um sal de cobalto como catalisador.

Mede-se então o oxigênio dissolvido com o aerador em funcionamento e através de gráficos de déficit de oxigênio em função do tempo em papel semi-log, obtém-se uma linha reta cuja inclinação é igual a K_{La} .

O déficit de oxigênio é a diferença entre a concentração de saturação para a água na temperatura de operação e concentração de OD no instante t .

Integrando-se a equação (2), obtém-se K_{La}

$$\log D_t = \frac{\log C_s}{2,3} - \frac{K_{La}}{2,3} t$$

que é a equação de uma reta.

$-\frac{K_{La}}{2,3}$ é a inclinação da reta (a), então

$$K_{La} = -2,3 a$$

A correção de K_{La} para 20°C pode ser feita usando-se a seguinte equação (11):

$$K_{La} (20^{\circ}\text{C}) = K_{La} (T) (1,024)^{20-T}$$

A contaminação também afeta a transferência de oxigênio. Ajustes para a qualidade da água podem ser feitas pela determinação experimental deste parâmetro

$$\alpha = \frac{K_{La} \text{ água de teste}}{K_{La} \text{ água pura}}$$

Quando o teste é efetuado com a água contaminada, determina-se em laboratório, o valor de K_{La} com água limpa e com a água contaminada do teste e o valor de α é utilizado no cálculo da transferência de oxigênio.

Desde que K_{La} foi determinado para o sistema, a eficiência de transferência de oxigênio (R) pode ser obtida para o aerador mecânico pelo uso da seguinte equação:

$$R = K_{La} (20^{\circ}\text{C}) \cdot W \cdot C_s \cdot \frac{1}{\alpha}$$

onde

R = taxa de transferência de O_2 (kgO_2/h)

$K_{La}(20^{\circ}\text{C})$ = coeficiente de transferência de O_2 a 20°C

W = massa de água no sistema (milhão de kg)

C_s = solubilidade de O_2 a 20°C

α = fator de correção devido a contaminação da água.

4.1. Determinações da Vazão de Recirculação da Bomba e da Vazão de Ar Admitida pelo Sistema

Foram instalados dois manômetros na bomba utilizada como sistema de aeração. Para levantamento da curva de vazão em função da pressão de recalque, foi usado o método de cubicagem. Os resultados obtidos são mostrados na tabela 2.

TABELA 2 - Vazão da Bomba em Função da Pressão de Recalque (P_r)

P_r (m.c.a)	Vazão (l/s)
14,5	11,93
15	8,92
16	6,83
17	3,97
18	2,33
19	0

Para determinação da vazão de ar admitida pelo sistema(Q) fez-se o levantamento da pressão exercida pelo fluido na garganta de um tubo convergente-divergente, instalado no tubo de admissão de ar e utilizou-se fórmulas teóricas de escoamento de fluidos compressíveis (12).

Resultado obtido para pressão da bomba = 14,5 m.c.a.:

Dados:

$$P_o = \text{Pressão de estagnação} = 9514 \text{ kgf/m}^2$$

$$P_g = \text{Pressão na garganta} = 9505 \text{ kgf/m}^2$$

$$A_g = \text{Área da garganta } (\emptyset = 1/2")$$

$$A_g = 1,26 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\frac{P_g}{P_o} = \frac{9505}{9514} = 0,99905$$

Na tabela de escoamento isoentrópico, $m = 0,05$ (nº de mach)

$$\text{Temperatura ambiente} = 25^{\circ}\text{C} = 298^{\circ}\text{K}$$

$$\text{Fator de compressibilidade} = k = 1,4$$

$$\text{Constante do ar} = 287 \text{ m}^2/\text{s}^2 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

$$C = \text{velocidade do som} = \sqrt{KRT} = \sqrt{287 \times 1,4 \times 298} = 346 \text{ m/s}$$

$$m = V/C, \text{portanto}$$

$$V = \text{Velocidade do fluido} = m.C = 0,05 \times 346 = 17,3 \text{ m/s}$$

$$Q = \rho V A_g$$

$$\rho = \rho_o = 0,12 \text{ utm/m}^3 \text{ (densidade do ar)}$$

$$Q = 0,12 \times 17,3 \times 1,26 \times 10^{-4} \text{ utm/seg}$$

$$1 \text{ hora} = 3600 \text{ segundos}$$

$$1 \text{ utm} = 9,8 \text{ kg}$$

$$Q = 0,12 \times 17,3 \times 1,26 \times 10^{-4} \times 3600 \times 9,8$$

$$Q = 9,22 \text{ kg/h}$$

4.2. Resultados dos Testes de Eficiência do Aerador

Os testes de aeração foram executados em duas condições diferentes de pressão de recalque da bomba: a 14,5 mca e a 16 mca.

Para cada teste foram utilizados 10,4 kg de sulfito de sódio e 904 g de cloreto de cobalto para 108 m³ de água.

O oxigênio dissolvido foi medido pelo método químico da Azida (13).

TABELA 3 - Teste 1: $P_r = 14,5 \text{ mca}$

$T_{\text{água}} = 23,5^\circ\text{C}$

$C_s = 7,9 \text{ mg/l}$

Tempo (min)	OD (mg/l)	Déficit OD (mg/l)
0	0	
19	0	
24	0,23	
29	0,37	
34	0,94	6,96
39	1,08	6,82
44	1,70	6,20
49	1,95	5,95
53	2,20	5,70
58	2,37	5,53
61	2,59	5,31
65	2,69	5,21
69	3,10	4,80
73	3,11	4,79
77	3,76	4,14
81	3,88	4,02
85	4,52	3,38
89	4,64	3,26

$r = 0,9744$

$a = -0,0058$

$$a = -0,0058$$

$$k_{La} = 2,3 \times 60 \times 0,0058$$

$$k_{La} = 0,8004 \text{ h}^{-1}$$

$$k_{La} (20^{\circ}\text{C}) = 0,8004 (1,024)^{20-23,5}$$

$$k_{La, (20^{\circ}\text{C})} = 0,7366 \text{ h}^{-1}$$

$$R = K_{La} (20^{\circ}\text{C}) \times W \times Cs$$

$$R_1 = 0,7366 \times 0,108 \times 9,2$$

$$R_1 = 0,73 \text{ kg O}_2/\text{h}$$

$$R_1 = 17,5 \text{ kgO}_2/\text{d}$$

TABELA 4 - Teste 2 : Pr = 16 mca

 $T_{\text{água}} = 24^{\circ}\text{C}$
 $C_s = 7,8 \text{ mg/l}$

Tempo (min)	OD (mg/l)	Déficit OD (mg/l)
0	0	
10	0	
18	0	
27	0	
35	0	
45	0,39	
55	0,90	6,92
65	1,46	6,36
75	1,87	5,95
80	2,00	5,82
85	2,31	5,51
90	2,32	5,50
95	2,76	5,06
100	3,03	4,79
105	3,03	4,79
110	3,17	4,65
115	3,20	4,62
120	3,61	4,21

 $r = 0,9905$
 $a = -0,0032$

$$K_{La_2} = 2,3 \times 60 \times 0,0032$$

$$k_{La_2} = 0,4366 (1024)^{20-24}$$

$$k_{La_2} = 0,3971$$

$$R_2 = 0,3971 \times 0,108 \times 9,2$$

$$R_2 = 0,39 \text{ kgO}_2/\text{h}$$

$$R_2 = 9,36 \text{ kg O}_2/\text{d}$$

4.3. Medida da Velocidade do Líquido no Valo

Determinou-se o tempo gasto para um pequeno pedaço de caule de aguapé percorrer 12 m, no valo de oxidação, em linha reta obtendo-se 1 min e 32 seg. Tem-se então a velocidade de 0,13 m/s para o líquido no valo de oxidação. A bomba centrífuga estava na condição de maior vazão e entrada de ar, com pressão de recalque de 14,5 mca.

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

4.4. Discussão dos Resultados

Comparando-se os resultados obtidos de K_{La} com resultados de outros sistemas de aeração, observa-se que os valores estão baixos. Obteve-se $K_{La}(20^{\circ}\text{C}) = 0,74 \text{ h}^{-1}$. Em sistemas providos de rotores tipo escova tem-se resultados de $K_{La}(20^{\circ}\text{C})$ que vão de 1,5 a $4,0 \text{ h}^{-1}$ (7). Em sistemas de aeração do tipo "aerador de ar difuso" aplicado a Lodos Ativados, West and Paulson, obtiveram $K_{La} = 3,4 \text{ h}^{-1}$ (9).

O valor de K_{La} depende de muitas variáveis do sistema e do tanque de aeração. O valor de K_{La} requerido depende da necessidade de oxigênio do processo, mas é importante atingir-se o melhor rendimento possível de transferência de oxigênio, nesse sistema, que está sendo instalado.

A quantidade de O_2 necessária ao sistema, determinada pela equação proposta por Eckenfelder e O'Connor indica $43,9 \text{ kgO}_2/\text{d}$. Este valor varia de acordo com as constantes A e B determinadas experimentalmente.

A quantidade de O_2 determinada pela relação $1 \text{ gO}_2/\text{g DBO remov.}$ indica $20,5 \text{ kg O}_2/\text{d}$.

Ambas as determinações indicam valores superiores à quantidade máxima de oxigênio fornecida pelo sistema que é de $17,5 \text{ kgO}_2/\text{d}$, nas condições testadas.

Também a velocidade do líquido no canal não mostrou resultado satisfatório. Obteve-se $0,13 \text{ m/s}$ enquanto que nos sistemas de valos de oxidação, em geral, mantêm-se velocidades de $0,25$ a $0,35 \text{ m/s}$.

Tentar-se-ã algumas modificações para se obter melhores resultados de K_{La} e portanto da quantidade de O_2 fornecida pelo sis

tema. Pode-se aumentar a entrada de ar e aumentar a vazão da bomba, eliminando-se os estrangulamentos que existem ainda neste sistema. Após essas modificações serão executados novos testes.

Foi determinada a vazão de ar admitida pelo sistema e obteve-se

$Q = 221 \text{ kg ar/dia (pág 34)}$ que corresponde a $46,5 \text{ kg O}_2/\text{dia}$

A eficiência de transferência de O_2 (R) obtida com o sistema nas condições mais favoráveis foi de $17,5 \text{ kg O}_2/\text{dia}$, o que dá uma transferência de O_2 do ar de alimentação ao meio líquido de 38 %, comparável aos valores mais altos indicados na literatura ⁽⁶⁾ (pág 20). No entanto, o valor de Q é de difícil determinação devido a imprecisões do método de medida. Então este resultado deve ser analisado com reservas.

5. BIBLIOGRAFIA

1. ARCIEVALLA, SORAB J. "Simple Waste Treatment Methods" Middle East Techn. University, Ankara, 1977.
2. PFEFFER, JOHN T. - "Extended Aeration" Water & Sewage Works. 207-14. june 1966.
3. DA-RIN, BENITO P. "Valos de Oxidação: Operação Contínua sem Decantador Final" 10^o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Manaus, 1979.
4. JACOBS, ALLAN. "A New Loop in Aeration Tank Design". Metcalf & Eddy Engineers, New York Pollution Control Association's Spring Meeting, 1974.
5. Water Supply and Waste Disposal Series. Vol. 6: Oxidation Ditch Sewage Waste Treatment Process. U.S. Department of Transportation, Staff Report 1972.
6. Wastewater Treatment Plant Design. Manual of Practice n^o8. A Joint Committee of the Waster Pollution Control Federation and the American Society of Civil Engineers. U.S.A. 1977.
7. GONDIM, José C.C. "Valos de Oxidação Aplicados a Esgotos Domésticos". São Paulo; CETESB, 1976. 137 p.
8. LEARY, R.D.; ERNEST, L.A. and KATZ, W.J. "Full Scale Oxygen Transfer Studies of Seven Diffuser Systems". J. Water Pollution Control Fed. 41(3) 459-73, 1969.
9. WEST, R.W. and PAULSON, W.L. "Jet Aeration in Activated Sludge Systems". J. Water Pollution Control Fed. 41(10) 1726-36, 1969.

10. Chemical Engineers' Handbook. Fifth Edition. Mc Graw-Hill Kogakusha, Ltd, 1973.
11. Tratamento de Água e Esgoto - Catálogo 4-77 B. FMC-Filsan. São Paulo.
12. SHAPIRO, Asher H. "The Dynamics and Thermodynamics of Compressible Fluid Flow".
13. Standard Methods for the Examination of Water and Waste water. American Public Health Association, Washington, U.S.A., 1975.

Date Acquired: 10/5/91

10/5/91



CETESB

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345 - Pinheiros
Fone: 210.1100 - Telex (011) 222-46 - CTS - BR
CEP 05459 — São Paulo - SP — Brasil