

# CAPÍTULO 8

## DIRETRIZES BÁSICAS PARA PROJETOS DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE EFLuentes DE INDÚSTRIAS DE LATICÍNIOS COM PROCESSO DE LODo ATIVADO E OXIGÊNIO PURO



<https://doi.org/10.22533/at.ed.200112515048>

*Data de aceite: 17/06/2025*

### Mônica Silva dos Santos

UFRRJ, Instituto de Tecnologia

Seropédica – RJ

<http://lattes.cnpq.br/1852078165564103>

### Andressa Blasi Paiva

UFRRJ, Instituto de Tecnologia

Seropédica – RJ

<http://lattes.cnpq.br/3481412327383896>

### Yago Kauã Genuel da Costa Souza

UFRRJ, Instituto de Tecnologia

Seropédica – RJ

<http://lattes.cnpq.br/5259797020482631>

### Henrique Vieira de Mendonça

UFRRJ, Instituto de Tecnologia

Seropédica – RJ

<http://lattes.cnpq.br/8897355054570578>

**RESUMO:** O presente estudo apresenta diretrizes básicas para o dimensionamento de estações de tratamento de efluentes oriundos de indústrias de laticínios, com ênfase na aplicação do processo de lodo ativado com oxigênio puro. A metodologia adotada baseou-se em parâmetros operacionais e referências normativas para o dimensionamento das unidades preliminares, reator biológico e decantador

secundário. Os resultados demonstram viabilidade técnica da proposta, com desempenho satisfatório na remoção de carga orgânica e conformidade com os padrões ambientais vigentes.

**PALAVRAS-CHAVE:** DBO, DQO, controle de poluição, agroindústria.

### BASIC GUIDELINES FOR WASTEWATER TREATMENT PLANT PROJECTS FOR DAIRY INDUSTRIES USING THE ACTIVATED SLUDGE PROCESS AND PURE OXYGEN

**ABSTRACT:** This study presents guidelines for the design of wastewater treatment plants for dairy industries, with emphasis on the application of the activated sludge process with pure oxygen. The methodology was based on operational parameters and normative references for the sizing of preliminary treatment units, biological reactor, and secondary clarifier. The results indicate the technical feasibility of the proposed system, demonstrating satisfactory performance in organic load removal and compliance with current environmental standards.

**KEYWORDS:** BOD, COD, pollution control, agroindustry.

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria de laticínios vivencia um crescimento acelerado em virtude ao aumento populacional global, ocasionando em uma maior demanda por leite e seus derivados (ABYAR et. al., 2024). A água residuária de Laticínios (ARL) é gerada nos processos industriais de lavagem de equipamentos, pisos, acessórios, caminhões e eventuais perdas e derramamentos (ABYAR et. al., 2024). Segundo o mesmo autor, aproximadamente 50-80% do volume total de água residuária consumida pela indústria torna-se água residuária.

Na ARL estão contidos uma ampla gama de poluentes, como sólidos, matéria orgânicos, óleos e graxas (O e G), bem como nitrogênio total ( $N_T$ ) e fósforo total ( $P_T$ ). São efluentes com elevada Demanda química oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e carbono orgânico total (COT), quando comparado com esgoto.

No tratamento de águas residuárias, são empregados dois tipos distintos de processos. O primeiro, de natureza físico ou química, envolve a utilização de gradeamento, desarenação, peneiramento, decantação, muitas vezes precedida por coagulação e flocação. A segunda etapa do tratamento do material solúvel deve ser biológica, para remoção da matéria orgânica solúvel biodegradável, geralmente utilizando sistemas como lodos ativados por aeração prolongada, lagoas aeradas e filtros biológicos (NUNES, 2010; AL-QODAH et. al., 2024).

O processo de lodo ativado passou por modificações desde a sua concepção no início do século XX, visando o aprimoramento de sua eficiência (ORHON, 2015). O aumento da demanda por sistemas compactos e de alta eficiência, principalmente em áreas urbanas povoadas, resultou em inovações, como o uso de oxigênio puro no processo de aeração. Essa abordagem apresentou vantagens significativas, como maior taxa de transferência de oxigênio, redução no volume e aumento na eficiência da remoção de matéria orgânica e nutrientes (WILCOX & MCWHIRTER, 1971; BENEFIELD, 1975). Apesar do aumento dos custos operacionais, o emprego de oxigênio puro mostra-se viável sob o ponto de vista técnico e econômico em determinadas aplicações, nas quais a eficiência energética e o desempenho do processo constituem prioridades (NEERACKAL et al., 2020; SHAMMAS & WANG, 2009).

A utilização do oxigênio puro no tratamento de águas residuárias vem sendo estudado como uma estratégia para a remoção de matéria orgânica e nutrientes. O emprego de oxigênio puro diferentemente da aeração convencional com ar atmosférico, proporciona uma taxa de transferência de oxigênio significativamente superior, favorecendo o metabolismo microbiano, acelerando a degradação dos poluentes e o potencial oxidativo do meio (SKOUTERIS et al., 2020). Este método permite a operação de reatores mais compactos devido à alta carga volumétrica suportada, além de favorecer a estabilidade do sistema em condições de alta demanda bioquímica de oxigênio (HE et al., 2021).

A demanda por sistemas adequados de tratamento de efluentes industriais motivou a concepção e execução deste guia básico, considerando a necessidade de destinação correta e tratamento eficiente das águas residuárias geradas pelas atividades da indústria.

## 2. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do projeto, foram considerados os dados apresentados na Tabela 1.

INDICADOR	QUANTIDADE	UNIDADE DE MEDIDA
DBO <sub>7</sub>	2000	mg/L
DQO	5000	mg/L
N <sub>T</sub>	60	mg/L
P <sub>T</sub>	25	mg/L
O e G	200	mg/L
Vazão mínima	60	m <sup>3</sup> /dia
Vazão média	180	m <sup>3</sup> /dia
Vazão máxima	300	m <sup>3</sup> /dia

**Tabela 1.** Dados preliminares para o dimensionamento da estação de tratamento.

**Fonte:** Autores (2025).

O dimensionamento das etapas de tratamento baseou-se nas equações propostas por NUNES (2008), CHUA et al., (2000), METCALF & EDDY (2013), VON SPERLING (2007), METCALF & EDDY (2016) e NUNES (2010).

### 2.1. Gradeamento

Foi adotada uma grade manual com espaçamento entre barras (a) de 20 mm e espessura da barra (t) de 9,52 mm, classificada como grade fina. O dimensionamento considerou uma velocidade de passagem de 0,60 m/s entre as barras e a vazão máxima, conforme recomendado por NUNES (2010), cuja metodologia fundamenta as equações utilizadas. A seguir, apresenta-se o memorial de cálculo referente à grade.

**A eficiência de remoção (E) da grade é dada pela equação 1:**

$$E = \frac{a}{t+a} \quad \text{Equação 1}$$

Em que, a – espaçamento entre barras em mm; t – espessura da barra em mm.

**A área útil da grade (A<sub>útil</sub>) é calculada pela equação 2:**

$$A_{útil} = \frac{Q_{máx}}{V} \quad \text{Equação 2}$$

Em que,  $Q_{\max}$  – vazão máxima de projeto em  $\text{m}^3/\text{s}$ ;  $V$  – velocidade de escoamento do esfluente em  $\text{m/s}$ , (entre 0,4 e 0,75  $\text{m/s}$ ). Foi adotada a velocidade de passagem de 0,6  $\text{m/s}$ .

**Área total da grade (S) é calculada por meio da equação 3:**

$$S = A_{\text{útil}} \times \frac{a+t}{a} \quad \text{Equação 3}$$

Em que,  $A_{\text{útil}}$  – área útil da grade em  $\text{m}^2$ ;  $a$  – espaçamento entre barras em  $\text{m}$ ;  $t$  – espessura da barra em  $\text{m}$ .

**Cálculo para a determinação da altura (H) por meio da equação 4 e da largura (B) pela equação 5:**

$$H = \sqrt{\frac{S}{2}} \quad \text{Equação 4}$$

$$B = 2 \times H \quad \text{Equação 5}$$

Em que,  $S$  – área total da grade em  $\text{m}^2$ .

**Cálculo da velocidade máxima ( $V_{\max}$ ) pela equação 6:**

$$V_{\max} = \frac{Q_{\max}}{A_{\text{útil}}} \quad \text{Equação 6}$$

Em que,  $Q_{\max}$  – vazão máxima em  $\text{m}^3/\text{s}$ ;  $A_{\text{útil}}$  – área útil em  $\text{m}^2$ .

**Velocidade de escoamento do esfluente a montante da grade ( $V_0$ ) pela equação 7:**

$$V_0 = V \times E \quad \text{Equação 7}$$

Em que,  $V$  – velocidade de passagem em  $\text{m/s}$ ;  $E$  – eficiência de remoção.

**Velocidade de escoamento entre as barras ( $V'$ ) pela equação 8:**

$$V' = 2 \times V \quad \text{Equação 8}$$

Em que,  $V$  – velocidade de passagem em  $\text{m/s}$ .

**A perda de carga ( $h_f$ ) pela equação 9:**

$$h_f = 1,43 \times \frac{V'^2 - V_0^2}{2 \times g} \quad \text{Equação 9}$$

Em que,  $V'$  – velocidade de escoamento em  $\text{m/s}$ ;  $V_0$  – velocidade de escoamento do afluente a montante da grade em  $\text{m/s}$ ;  $g$  – aceleração da gravidade, 9,8  $\text{m/s}^2$ .

**O número de barras da grade (N) pela equação 10:**

$$N = \frac{B-t}{a+t} \quad \text{Equação 10}$$

Em que, B – largura das barras em m; t – espessura das barras em m; a – espaçamento entre barras em m.

### Cálculo do rebaixo (hv) pela equação 11

$$h_v = h_{máx} + h_f + D + H$$

Equação 11

Em que,  $h_{máx}$  – altura máxima, que foi adotado o valor de 0,06 m;  $h_f$  – perda de carga; D – diâmetro, que foi adotado o valor de 0,75 m; H – altura em m.

### Comprimento final das barras (C) pela equação 12:

$$C = \frac{h_v}{\operatorname{sen} 45^\circ}$$

Equação 12

Em que,  $h_v$  – rebaixo em m.

## 2.2. Desarenador

Para evitar acúmulo de materiais inertes nos reatores biológicos, foi adotado um desarenador prismático de operação manual:  $Q_{máx} = 300 \text{ m}^3/\text{dia}$ , velocidade horizontal do escoamento ( $V_h$ ) de 0,40 m/s (entre 0,15 a 0,40) e altura útil da caixa de areia (h) de 0,2 m. As equações utilizadas para o dimensionamento são apresentadas a seguir:

### Comprimento do desarenador (L) pela equação 13:

$$L = 22,5 \times h$$

Equação 13

Em que, h – altura da caixa de areia em m.

### Largura do desarenador (B) pela equação 14:

$$B = \frac{Q}{h \times V_h}$$

Equação 14

Em que, Q – vazão do efluente em  $\text{m}^3/\text{dia}$ ; h – altura da caixa de areia em m;  $V_h$  – velocidade horizontal do fluxo em m/s.

## 2.3. Medidor de vazão – calha parshall

Para a vazão máxima de projeto de  $300 \text{ m}^3/\text{dia}$ , foi escolhida a calha Parshall ideal utilizando o catálogo do medidor Parshall Incontrol.

## 2.4. Caixa de gordura

alguns sistemas preliminares incluem itens extras para remoção de O e G presentes na efluente água residuária, como é o caso da caixa de gorduras. Esta etapa é essencial para a proteção dos equipamentos subsequentes e para eficiência do tratamento, evita incrustações nas tubulações e abate cargas orgânicas desnecessárias ao tratamento biológico.

O dimensionamento da caixa de gordura considerou uma vazão ( $Q_{\text{máx}}$ ) = 300 m<sup>3</sup>/dia (12,5 m<sup>3</sup>/h), tempo de retenção hidráulica (TRH) de 4 h – dentro da faixa recomendada de 1 a 5 h – e altura útil (h) de 1,5 m, conforme NUNES (2010).

**Cálculo da eficiência (Ef) pela equação 15:**

$$Ef(30\%) = DBO_7 - (0,3 \times DBO_7) = S0$$

Equação 15

Em que, DBO – demanda bioquímica de oxigênio em mg/L. O coeficiente 0,3 equivale a 30% de remoção de DBO considerando remoção de gorduras e sólidos orgânicos sedimentados na caixa.

**Cálculo do volume da caixa de gordura (V) pela equação 16:**

$$V = Q_{\text{máx}} \times TRH$$

Equação 16

Em que,  $Q_{\text{máx}}$  – vazão máxima em m<sup>3</sup>/h; TRH – tempo de retenção hidráulica em h.

**Cálculo da área da caixa de gordura (A) pela equação 17:**

$$A = \frac{V}{h}$$

Equação 17

Em que, V – volume da caixa de gordura em m<sup>3</sup>; h – altura em m.

**Cálculo da largura da caixa de gordura (L) pela equação 18:**

$$L = \sqrt{\frac{A}{2}}$$

Equação 18

Em que, A – área da caixa de gordura em m<sup>2</sup>.

**Cálculo do comprimento da caixa de gordura (C) pela equação 19:**

$$C = 2 \times L$$

Equação 19

Em que, L – largura da caixa de gordura em m.

## 2.5. Lodo ativado com oxigênio – tanque de oxigenação

O dimensionamento do sistema de lodo ativado com oxigênio puro considerou uma vazão (Q) de 300 m<sup>3</sup>/dia, DBO<sub>7</sub> no efluente (S) de 1400 mg/L, relação F/M de 0,2 (dentro da faixa de 0,1 a 0,4 KgDBO<sub>7</sub>/kg SSVTO·dia), concentração de sólidos suspensos voláteis no tanque de oxigenação (SSVTO) de 4000 mg/L (4 g/m<sup>3</sup>) dentro da faixa de 3000 a 6000 mg/L, fator de consumo de oxigênio (Y) de 2,5 kgO<sub>2</sub>/kgDBO, eficiência de transferência de oxigênio (E) de 85% e eficiência de remoção (Ef) de 98%. Os cálculos foram realizados com base nas referências de CHUA et al. (2000), METCALF & EDDY (2013), VON SPERLING (2007) e NUNES (2010).

### Cálculo da DBO de saída do tanque de aeração ( $S_{eflu}$ ) em mg/L:

$$S_{eflu} = S_{aflu} - (S_{aflu} \times Ef)$$

Equação 20

Em que,  $S_{aflu}$  – DBO<sub>7</sub> afluente ao tanque de oxigenação em mg/L (vem da caixa de gorduras); Ef – eficiência de remoção (98% adotada entre 95 e 98 %).

**Remoção de carga orgânica no tanque de oxigenação (CO<sub>r</sub>) em KgDBO<sub>7</sub>/dia pela equação 21:**

$$CO_r = Q \times (S_{aflu} - S_{eflu}) \times 10^{-3}$$

Equação 21

Em que,  $S_{aflu}$  – DBO<sub>7</sub> afluente ao tanque de aeração em mg/L;  $S_{eflu}$  – DBO<sub>7</sub> no efluente em mg/L (após o tanque de aeração, considerando a remoção da biomassa); Q – vazão média em m<sup>3</sup>/dia; 10<sup>-3</sup> – indica o fator de conversão de unidade (converter de mg/L para kg/m<sup>3</sup>).

**Cálculo do volume do reator (V) em m<sup>3</sup> pela equação 22:**

$$V = \frac{CO_r}{F/M \times SSVTO}$$

Equação 22

Em que, Q – vazão média m<sup>3</sup>/dia;  $S_{aflu}$  – DBO<sub>7</sub> no afluente em mg/L;  $S_{eflu}$  – DBO no efluente em mg/L; SSVTO – sólidos suspensos voláteis no tanque de oxigenação em KgSSVTO/m<sup>3</sup> e FM – KgDBO<sub>7</sub>/kgSSVTO·dia.

**Regra do F/M:**

**1) Baixa taxa (Carga orgânica baixa em relação à massa de microrganismos):** 0,05 – 0,15 kg DBO/kg SSV·dia

**2) Taxa média (Equilíbrio entre carga orgânica e biomassa):** 0,2 – 0,5 kg DBO/kg SSV·dia

**3) Alta taxa (Muita carga orgânica para pouco microrganismo):** 0,6 – 1,0 kg DBO/kg SSV·dia

Para uma ETE de **indústria de laticínios**, geralmente recomenda-se operar em **taxa média (0,2 – 0,4 kg DBO<sub>7</sub>/kg SVS·dia)**, garantindo boa remoção de matéria orgânica e estabilidade do sistema.

**Demandas diárias de oxigênio (O<sub>2</sub>) em kgO<sub>2</sub>/dia:**

$$O_2 = Y \times (CO_r)$$

Equação 23

Em que, Y – fator de consumo de oxigênio (faixa entre 0,90 a 2,5 kgO<sub>2</sub>/kgDBO); CO<sub>r</sub> – remoção de carga orgânica em kg/dia pelo tanque de oxigenação.

**Cálculo da vazão de oxigênio puro (oxigênio necessário) (O<sub>2n</sub>) em kgO<sub>2</sub>/dia pela equação 24:**

$$O_{2n} = \frac{O_2}{E}$$

Equação 24

Em que,  $O_2$  – demanda de oxigênio em  $\text{kgO}_2/\text{dia}$ ; E – eficiência de transferência de oxigênio, valor adotado de 85%\*.

\*Com difusores de bolha fina e boa homogeneização em reatores fechados:  
→ Eficiência pode chegar a 80% – 90%.

Converter a vazão de  $O_2$  diária para horária ( $Q_{O_2}$   $\text{kg/h}$ ), considerando uma operação continua por 24 horas:

$$Q_{O_2} = \frac{O_{2n}}{24}$$

Equação 25

Em que,  $O_{2n}$  – oxigênio necessário em  $\text{kgO}_2/\text{dia}$ .

Cálculo da potência necessária (P) em  $\text{kW}$  ao concentrador/compressor de oxigênio equação 26, usando 6  $\text{kgO}_2/\text{kWh}$ \*:

$$P = \left( \frac{Q_{O_2}}{\text{KgO}_2/\text{kWh}} \right) \times 1,36$$

Equação 26

Em que,  $Q_{O_2}$  – vazão de oxigênio diária.

\*Valores de consumo energético por oxigênio transferido:

Com ar atmosférico: 1,1–2,0  $\text{kg O}_2/\text{kWh}$

Com oxigênio puro: 4,5–7,5  $\text{kg O}_2/\text{kWh}$

Cálculo da massa de oxigênio a introduzir por dia (M) em  $\text{kgO}_2/\text{dia}$  pela equação 27:

$$M = \frac{O_{2\text{necessário}}}{e}$$

Equação 27

Em que,  $O_{2\text{necessário}}$  – oxigênio necessário em  $\text{kgO}_2/\text{dia}$ ; e – eficiência de transferência de oxigênio do difusor: 3% por metro de lâmina líquida, para 4,0 m de lâmina líquida a eficiência é de 12%.

Vazão de oxigênio ( $Q_{\text{oxigênio}}$ ) em  $\text{m}^3/\text{dia}$  pela equação 28:

$$Q_{\text{oxigênio}} = \frac{M}{1,326}$$

Equação 28

Em que, M – massa de oxigênio a introduzir por dia em  $\text{kgO}_2/\text{dia}$ ; 1,326 – massa específica do oxigênio em  $\text{kg/m}^3$ .

Estimativa do número de difusores (n) pela equação 29:

$$n = \frac{Q_{\text{oxigênio}}}{0,028}$$

Equação 29

Em que,  $Q_{\text{oxigênio}}$  – vazão de oxigênio em  $\text{m}^3/\text{min}$ ; 0,028 – vazão de oxigênio por difusor (haverá variações de acordo com o fabricante).

### **Dimensões do tanque:**

Adota-se o comprimento (C) igual a duas vezes a largura (L). pela equação 30. Foi adotado uma profundidade (H) igual a 5 m, conforme indicado por NUNES (2010).

### **Área do tanque (A) em m<sup>2</sup> pela equação 31:**

$$A = \frac{V}{H}$$

Equação 31

Largura do tanque (L) em m pela equação 32:

$$L = \sqrt{\frac{A}{2}}$$

Equação 32

Em que, V – volume do tanque em m<sup>3</sup>; H – altura em m; A – área do tanque em m<sup>2</sup>.

### **Dimensionamento das tubulações:**

Seguindo a Tabela 2 com os valores do tubo por vazão de ar, será adotado um diâmetro do tubo ( $\theta$ ), a tabela é adaptada dos trabalhos de Manual técnico de Ar comprimido e Gases (2004) e NUNES (2010).

Vazão de ar (m <sup>3</sup> /min)	Diâmetro interno recomendado (mm)	Vazão de ar (m <sup>3</sup> /min)	Diâmetro interno recomendado (mm)
0,5	25	30	200
1,0	35	50	250
2,0	50	70	300
5,0	80	200	400
10,0	110	320	500
20,0	150		

**Tabela 2.** Diâmetro dos tubos pela vazão de ar.

**Fonte:** Manual técnico de Ar comprimido e Gases (2004) e NUNES (2010).

### **Tubulação de descarga/Tubulação principal:**

A vazão de oxigênio por compressor ( $Q_{oxigénioc}$ ) será igual a vazão de oxigênio por tanque ( $Q_{oxigêniot}$ ), devido a escolha de utilizar apenas um compressor no dimensionamento.

$Q_{oxigénioc} = Q_{oxigêniot}$ . E conforme a tabela 2  $\Rightarrow \theta = 80$  mm.

### **Tubulação de distribuição:**

Será adotado um espaçamento entre tubos igual a 0,70 m para o cálculo do número de tubos (N) pela equação 33.

$$N = \frac{L}{0,70}$$

Equação 33

Em que, L – largura do tanque em m.

**Para calcular a vazão de oxigênio por tubo ( $Q_{oxigêniotp}$ ) em m<sup>3</sup>/min pela equação 34:**

$$Q_{oxigêniopt} = \frac{Q_{oxigênio}}{N}$$

Equação 34

Em que,  $Q_{oxigênio}$  - vazão de oxigênio por compressor em  $m^3/min$ ; N – número de difusores. E conforme a tabela 2  $\Rightarrow \theta = 25\text{ mm}$ .

**Número de difusores por tubo ( $N_t$ ) pela equação 35:**

$$N_t = \frac{n}{N}$$

Equação 35

Em que, n – estimativa do número de difusores; N – número de tubos.

**Espaçamento entre difusores ( $E_d$ ) em m pela equação 36:**

$$E_d = \frac{C}{N_t}$$

Equação 36

Em que, C – comprimento do tanque em m;  $N_t$  – número de difusores por tubo.

**Número real de difusores no tanque ( $N_d$ ) pela equação 37:**

$$N_d = N_t \times N$$

Equação 37

Em que,  $N_t$  – número de difusores por tubo; N – número de tubos.

## 2.6. Decantador secundário circular

Neste projeto, adotou-se a metodologia de NUNES (2010), considerando a vazão (Q) de  $300\text{ m}^3/\text{dia}$ , velocidade de escoamento superficial ( $V_{es}$ ) de  $24\text{ m}^3/m^2\text{ dia}$  e profundidade útil (H) de  $2,0\text{ m}$ .

**Diâmetro do decantador (D) pela equação 38:**

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times V_{es}}}$$

Equação 38

Em que, Q – vazão em  $\text{m}^3/\text{dia}$ ;  $V_{es}$  – velocidade de escoamento superficial em  $\text{m}^3/\text{m}^2\text{ dia}$ .

**Volume útil do decantador (V) pela equação 39:**

$$V = \frac{\pi \times D^2}{4} \times H$$

Equação 39

Em que, D – diâmetro do decantador em m; H – profundidade útil em m.

**Tempo de detenção hidráulica (t) pela equação 40:**

$$t = \frac{V}{Q}$$

Equação 40

Em que, V – volume do reator em  $\text{m}^3$ ; Q – vazão em  $\text{m}^3/\text{dia}$ .

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Gradeamento

A NBR 12209:2011 classifica as grades com base no espaçamento entre barras, conforme apresentado na Tabela 3, recomendando valores entre 10 e 100 mm para assegurar a manutenção do sistema e a escolha adequada do espaçamento para o tratamento. No estudo de NUNES (2008), destaca-se a importância da velocidade do escoamento, com valores recomendados entre 0,4 e 0,75 m/s. A inclinação das grades deve situar-se entre 30° e 60°, critério relevante na definição do tipo de grade, por facilitar a remoção de sólidos e otimizar a manutenção.

Classificação da Grade	Espaçamento (mm)	Seção da barra (mm)	Inclinação (°)
<b>Fina</b>	10 a 20	6,35 x 38,10 7,9 x 38,10 9,52 x 38,10	30 a 45
<b>Média</b>	20 a 40	7,94 x 50,8 9,52 x 38,10 9,52 x 50,8	30 a 45
<b>Grossa</b>	40 a 100	9,52 x 63,5 9,52 x 50,8 12,7 x 38,10 12,7 x 50,8	45 a 60

**Tabela 3.** Espaçamento entre barras.

**Fonte:** Adaptado de ABNT 12209:2011 e NUNES (2008) pelos autores, 2024.

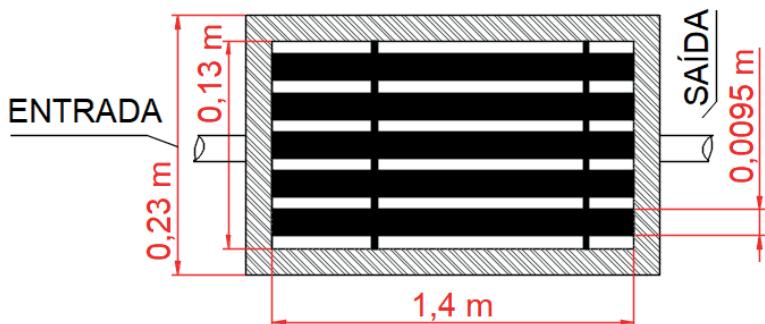
Adotou-se uma grade manual classificada como fina, com espaçamento entre barras (a) de 20 mm e espessura das barras (t) de 9,52 mm. Com base nessas especificações, foi realizado o dimensionamento apresentado na Tabela 4.

Parâmetro	Valor
<b>Eficiência de remoção</b>	68%
<b>Área útil da grade</b>	0,0058 m <sup>2</sup>
<b>Área total da grade</b>	0,0086 m <sup>2</sup>
<b>Largura total</b>	0,13 m
<b>Altura total da grade</b>	0,065 m
<b>Velocidade máxima</b>	0,6 m/s
<b>Velocidade de escoamento do efluente a montante</b>	0,4 m/s
<b>Velocidade de escoamento entre barras</b>	1,2 m/s
<b>Perda de carga</b>	0,09 m
<b>Número de barras</b>	5
<b>Rebaixo</b>	0,97 m
<b>Comprimento final das barras</b>	1,4 m

**Tabela 4.** Dimensionamento da grade.

**Fonte:** Autores (2025).

A Figura 1 apresenta o desenho esquemático da grade prevista para este projeto.



**Figura 1.** Representação esquemática da grade.

**Fonte:** Autores.

### 3.2. Desarenador

Para esta etapa do projeto, adotaram-se como referências a norma ABNT NBR 12209:2011 e as diretrizes técnicas de METCALF & EDDY (2016), que orientaram os critérios utilizados no dimensionamento do componente em questão. A aplicação conjunta dessas referências permitiu garantir conformidade normativa e embasamento técnico atualizado. Os resultados obtidos a partir desse procedimento estão consolidados na Tabela 5.

Parâmetro	Valor
Comprimento do desarenador	4,5 m
Largura do desarenador	0,3 m *

(\*) Adotou-se uma largura de 300 mm, compatível com as dimensões estabelecidas para o projeto.

**Tabela 5.** Dimensionamento do desarenador.

**Fonte:** Autores (2025).

A Figura 2 apresenta o desenho esquemático do desarenador previsto para este projeto. Para fins de implantação a unidade de desarenação deve ser duplicada em paralelo.



**Figura 2.** Representação esquemática do desarenador.

### 3.3. Medidor de vazão – calha parshall

Para a escolha da Calha Parshall, foi utilizado o catálogo do medidor Parshall Incontrol. Com base na vazão, selecionou-se a calha com as seguintes dimensões como mostra a Tabela 6. A escolha foi baseada nas vazões mínima ( $60 \text{ m}^3/\text{d}$  ou  $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ) e máxima ( $300 \text{ m}^3/\text{d}$  ou  $12,5 \text{ m}^3/\text{h}$ ).

Parâmetro	Valor
Largura da garganta (W)	2 pol
Largura da garganta (A)	414 mm
Dois terços da largura da garganta (2/3A)	276 mm
Largura da seção de entrada (B)	406 mm
Comprimento da seção de aproximação (C)	135 mm
Comprimento da garganta (D)	214 mm
Comprimento da seção de saída (E)	305 mm
Altura da parede lateral na garganta (T)	114 mm
Altura do fundo da garganta ao topo da parede lateral (G)	254 mm
Altura da crista (K)	22,2 mm
Altura da seção de aproximação (M)	305 mm
Largura total da calha (N)	42,9 mm
Distância entre a parede da calha e o ponto de medição (entrada) (P)	630 mm
Distância entre a parede da calha de medição (saída) (R)	201 mm

Tabela 6. Dimensões da Calha Parshall selecionada.

Fonte: Incontrol.

A Figura 3 apresenta o desenho esquemático da Calha Parshall.

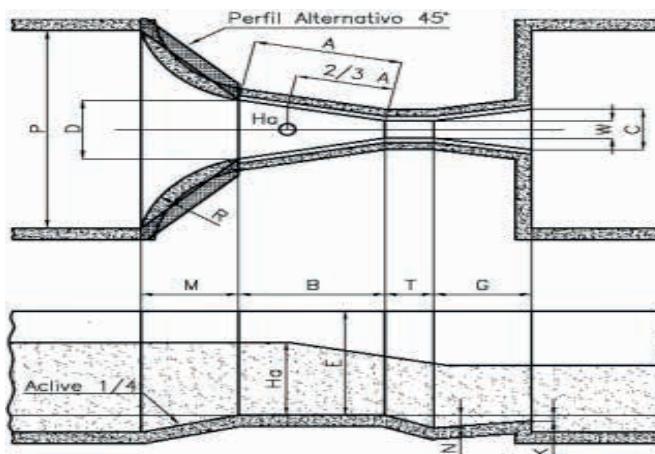


Figura 3. Representação esquemática da Calha Parshall pela norma ASTM 1941:1975.

Fonte: Catálogo Incontrol

### 3.4. Caixa de gordura

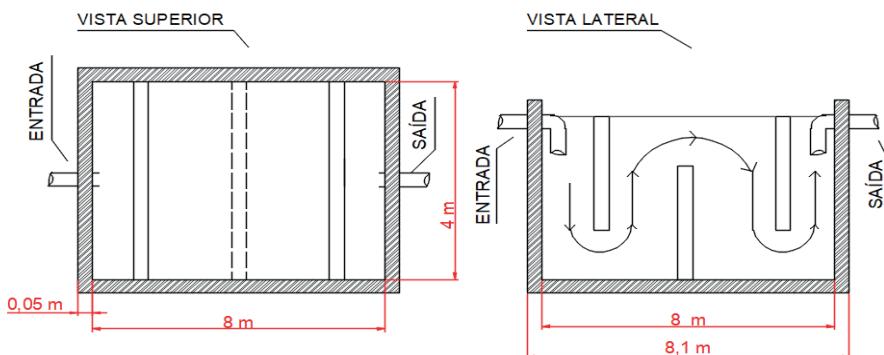
O dimensionamento da caixa de gordura considerou uma concentração de DBO de 3500 mg/L, tempo de retenção hidráulica (TRH) de 4 horas e altura útil de 1,5 m. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 7. O critério deste dimensionamento teve como base NUNES (2008).

Parâmetro	Valor
Eficiência de 30% na remoção de DBO	2450 mg/L (Saída da caixa)
Volume da caixa de gordura	50 m <sup>3</sup>
Área da caixa de gordura	33 m <sup>2</sup>
Largura da caixa de gordura	4 m
Comprimento da caixa de gordura	8 m

**Tabela 7.** Dimensionamento da caixa de gordura.

**Fonte:** Autores (2025).

A Figura 4 apresenta o desenho esquemático da caixa de gordura na vista superior e vista lateral.



**Figura 4.** Representação esquemática da caixa de gordura na vista superior e vista lateral.

**Fonte:** Autores.

### 3.5. Lodo ativado com oxigênio puro e gerador de oxigênio

Os resultados do dimensionamento do sistema de lodo ativado com oxigênio puro e gerador de oxigênio são apresentados na Tabela 8.

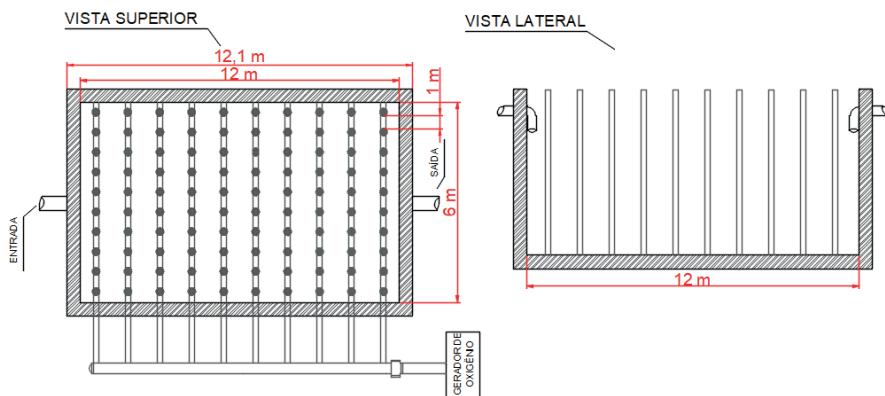
Parâmetro	Valor
DBO do afluente ( $S_{aflu}$ )	1.372 mg/L
Carga orgânica removida ( $CO_x$ )	247 KgDBO <sub>x</sub> /dia
Volume do reator (V)	310 m <sup>3</sup>
Demanda de oxigênio ( $O_2$ )	620 KgO <sub>2</sub> /dia

Vazão de O <sub>2</sub> (Q <sub>O<sub>2</sub></sub> )	36 KgO <sub>2</sub> /h
Potência necessária (P)	5,2 KW ou 7,5 CV
Massa de oxigênio a introduzir por dia (M)	5.167 KgO <sub>2</sub> /dia
Vazão de oxigênio (Q <sub>oxigênio</sub> )	3 m <sup>3</sup> /min
Estimativa do número de difusores (n)	107 difusores
Área do tanque (A)	62 m <sup>2</sup>
Largura do tanque (L)	6 m
Comprimento (C)	12 m
Número de tubos (N)	9 tubos
Vazão de oxigênio por tubo (Q <sub>O<sub>2pt</sub></sub> )	0,3 m <sup>3</sup> /min
Número de difusores por tubo (N <sub>t</sub> )	12 difusores
Espaçamento entre difusores (E <sub>d</sub> )	1,0 m
Número real de difusores no tanque (N <sub>d</sub> )	108 difusores

**Tabela 8.** Dimensionamento do lodo ativado com oxigênio puro e gerador de oxigênio.

**Fonte:** Autores (2025).

A Figura 5 apresenta o desenho esquemático do lodo ativado com oxigênio puro e gerador de oxigênio da vista superior e da vista lateral.



**Figura 5.** Representação do desenho esquemático do lodo ativado com oxigênio puro e gerador de oxigênio da vista superior e vista lateral.

**Fonte:** Autores.

### 3.6. Decantador secundário circular

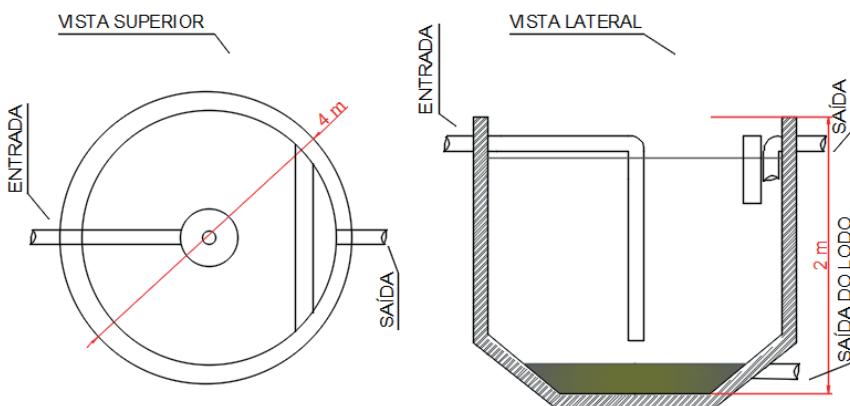
O dimensionamento do desarenador foi realizado com base em NUNES (2010), adotando-se uma velocidade de escoamento superficial ( $V_{es}$ ) de 24 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d, dentro da faixa indicada de 1,2 e 24 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. d e profundidade útil (H) de 2 m. A Tabela 9 apresenta os dados do dimensionamento do decantador secundário circular.

Parâmetro	Valor
Diâmetro do decantador	4 m
Volume útil do decantador	25 m <sup>3</sup>

**Tabela 9.** Dimensionamento do decantador secundário circular.

**Fonte:** Autores (2025).

A Figura 6 apresenta o desenho esquemático do decantador secundário circular da vista superior e da vista lateral.



**Figura 6.** Representação do desenho esquemático do decantador secundário circular da vista superior e da vista lateral.

**Fonte:** Autores.

#### 4. CONCLUSÃO

O desenvolvimento do sistema de lodos ativados com aplicação de oxigênio puro apresentou-se como uma alternativa eficiente e tecnicamente viável para o tratamento de efluentes de laticínios, atendendo aos parâmetros de qualidade exigidos pelas normas ambientais. O estudo abrangeu todas as etapas do processo, desde o pré-tratamento até a decantação secundária, evidenciando o desempenho satisfatório das unidades em relação às vazões e cargas orgânicas projetadas. A utilização de oxigênio puro, com ou sem o uso de geradores, destacou-se por sua capacidade de intensificar a degradação da matéria orgânica, contribuindo para a obtenção de um efluente final de melhor qualidade. Além de demonstrar conformidade técnica e ambiental, o trabalho teve como principal contribuição a formação acadêmica, ao oferecer um guia básico e prático de dimensionamento que pode ser replicado em atividades didáticas e projetos de engenharia, promovendo o aprendizado aplicado e o raciocínio crítico dos estudantes.

## 5. REFERÊNCIAS

ABYAR, H.; NAMROODI, S.; GHAREKHANI, Z.; HAJIMORADLOO, F.; (2024). **Avaliação do ciclo de vida e eficiência de biorreator de leite fixo usando plásticos triturados reciclados em comparação com biorreator convencional de lodo ativado para tratamento de água residiária de laticínios.** Jornal de Engenharia de Processos de Água. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.105676>

AI-QODA, Z.; AI-SHANNAG, M.; HUDAIB, B.; BANI-SALAMEH, W.; (2024). **Melhoria da eficiência do tratamento de águas residiárias de laticínios em sistema de eletrocoagulação -adsorção alimentado por energia solar, assistido por produtos químicos em lote.** Estudos de Caso em Engenharia Química e Ambiental. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100760>

BENEFIELD, L. D. **The effect of high purity oxygen on the activated sludge process.** Virginia Polytechnic Institute and State University, 1975.

CHUA, H.; Yu, P. H. F.; Sin, S. N.; et al. (2000). **Efeito da relação alimento: microrganismo no controle de espuma de lodo ativado.** Appl Biochem Biotechnol 84, 1127–1135. <https://doi.org/10.1385/ABAB:84-86:1-9:1127>

HE, J.-Y.; ZHANG, H.-L.; WANG, H.; HU, Y.-Q.; ZHANG, Y. **Characteristics of the extracellular products of pure oxygen aerated activated sludge in batch mode.** Water Science and Technology, v. 83, n. 8, p. 1946-1957, 2021. <https://doi.org/10.2166/wst.2021.099>

INCONTROL. Manual técnico: Calha Parshall – Medidor de vazão para canais abertos. [S.I.]: Incontrol, [2023]. Disponível em: [https://www.incontrol.ind.br/\\_files/ugd/ab9de1\\_16ad88e4022d4fd3b9eed408d2431685.pdf](https://www.incontrol.ind.br/_files/ugd/ab9de1_16ad88e4022d4fd3b9eed408d2431685.pdf). Acesso em: 21 abr. 2025.

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: treatment and resource recovery.** 5th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2013.

METCALF; EDDY. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos.** 5. ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda, 2016.

NEERACKAL, G. M.; SIVARAM, N. M.; KUMAR, M. **The use of pure oxygen for aeration in aerobic wastewater treatment: A review of its potential and limitations.** Bioresource Technology, v. 312, p. 123595, 2020. [10.1016/j.biortech.2020.123595](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123595).

NUNES, José Alves. **Tratamento físico-químico de águas residiárias industriais.** São Paulo: Editora J. Andrade, 2008.

NUNES, José Alves. **Tratamento biológico de águas residiárias.** São Paulo: Editora J. Andrade, 2010.

ORHON, D. **Evolution of the activated sludge process: the first 50 years.** Journal of Chemical Technology & Biotechnology, v. 90, n. 4, p. 608–640, 2015. <https://doi.org/10.1002/jctb.4565>.

SHAMMAS, N. K.; WANG, L. K. **Pure Oxygen Activated Sludge Process. In: Biological Treatment Processes.** Springer, 2009. p. 269–295. [10.1007/978-1-60327-156-1\\_7](https://doi.org/10.1007/978-1-60327-156-1_7).

SKOUTERIS, G.; RODRIGUEZ-GARCIA, G.; REINECKE, S. F.; HAMPEL, U. **The use of pure oxygen for aeration in aerobic wastewater treatment: A review of its potential and limitations.** Bioresource Technology, v. 312, p. 123595, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123595>.

SMITH, R. W. **Manual técnico de ar comprimido**. Cleveland: Parker Hannifin, 2011. Disponível em: <https://www.bvirtual.com.br/NossoAcervo/Publicacao/184000>.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2007.

WILCOX, E. A.; MCWHIRTER, J. R. **The “UNOX” system—Oxygen aeration in the activated sludge process**. Journal of the American Oil Chemists' Society, v. 48, p. 408A–415A, 1971. <https://doi.org/10.1007/BF02544548>.