



Relatório de Difusão

Grupo:

Eduardo Borges de Lima

Guilherme Freire

Kenia Souza

Maykell Dias Medeiros

Victor Carvalho Gomes

Professora:

Tânia Suaiden Klein, Ph.D.

20 de Maio de 2019

Conteúdo

1	Introdução	1
2	Descrição Teórica do Sistema	1
2.1	Etapas de Sedimentação e o teste da proveta	2
2.2	Balanco de Massa	3
2.3	Método de Kynch	6
2.4	Método de Biscaia Jr.	8
2.5	Fatores de Correção	9
3	Objetivo	10
4	Materiais e Métodos	10
4.1	Materiais	10
4.2	Métodos	11
5	Resultados e Discussão	11
5.1	Propriedades físico-químicas	11
5.2	Determinação da concentração e densidade de CaCO_3 na suspensão	12
5.2.1	Cálculos	12
5.3	Teste de Proveta	13
5.3.1	Altura inicial da proveta	13
5.3.2	Curva de sedimentação (altura da proveta x tempo)	14

5.3.3	Calculo das vazões para dimensionamento do sedimentador	15
5.3.4	Método de Kynch	16
5.3.5	Método de Biscaia Jr.	21
5.3.6	Comparação entre os métodos	22
6	Conclusões	23
	Bibliografia	24

1 | Introdução

A sedimentação consiste principalmente na separação de uma suspensão de um sólido disperso num líquido por diferença de densidade, com o auxílio do campo gravitacional. Os equipamentos industriais usados para esta finalidade são conhecidos genericamente como sedimentadores, sendo que, dependendo da finalidade, estes podem ser chamados de clarificadores, quando se deseja um líquido límpido, ou espessadores, quando o sólido retido é o produto de interesse (Peçanha, 2014, Unicamp, 2019). Geometricamente, o sedimentador é um tanque cilíndrico com base cônica, na qual entra uma corrente de alimentação (A) e saem duas correntes, o passante (P) e o retido (R). Operacionalmente, este equipamento pode ser utilizado em processos contínuos ou em batelada (Peçanha, 2014, Unicamp, 2019). Dentre as mais comuns aplicações estão: a remoção de areia e sólidos grosseiros em tratamento de água, na indústria de mineração para separação da lama de minérios, no tratamento de efluentes na indústria têxtil e de papel e celulose, entre outros. Nesta prática, partiu-se de uma suspensão de carbonato de cálcio a qual foi homogeneizada por agitação e colocada numa proveta, com a qual se observou a sedimentação gradual dos sólidos. A partir do que foi observado, tem-se como objetivo projetar um sedimentador em escala industrial.

2 | Descrição Teórica do Sistema

Para se projetar um sedimentador industrial é preciso determinar a área e a altura deste, com base no valor de concentração da alimentação e a concentração desejada na saída do sedimentador. Para isso, é necessário realizar testes de proveta para determinar alguns parâmetros em escala de laboratório.

Durante os testes de proveta, utiliza-se uma suspensão com as mesmas condições de temperatura e pH que são encontradas no processo industrial. O teste de proveta permite obter a curva de posição da interface em função do tempo. A partir dessa curva, são obtidos parâmetros *cinéticos* que permitem estimar a área e altura do sedimentador industrial.

2.1 Etapas de Sedimentação e o teste da proveta

Durante o processo de sedimentação, quatro zonas são formadas e nos testes de proveta realizados em escala de bancada, elas não são muito bem definidas. A fim de entender melhor como ocorre o mecanismo da sedimentação e como ela ocorre ao passar do tempo, pode-se analisar a Figura 2.1.

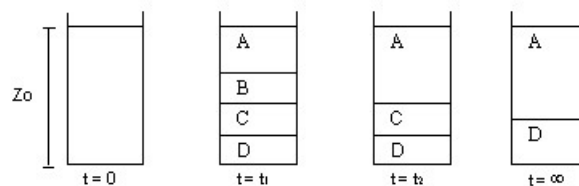


Figura 2.1: Mecanismo de sedimentação.

No início da decantação ($t = 0$), a suspensão encontra-se a uma altura Z_0 e sua concentração é uniforme. Pouco tempo depois ($t = t_1$) é possível distinguir quatro zonas distintas. São elas:

- A - Líquido Clarificado: esta camada pode ficar turva durante certo tempo devido à presença de partículas mais finas que permanecem em suspensão;
- B - Região de Concentração constante ou concentração inicial: tem-se a sedimentação livre, isto é, desconsideram-se os efeitos de concentração, como se as partículas sedimentassem de forma isolada;
- C - Região de Concentração Variável: nesta região a concentração da suspensão aumenta gradativamente, variando da concentração inicial até a concentração da suspensão espessada, e já se observa o efeito da concentração;
- D - Região de Lama (compactação): à medida que ocorre a sedimentação a espessura desta região aumenta.

À medida que a sedimentação ocorre, as regiões A e D tornam-se mais importantes e as regiões B e C tendem a desaparecer. A velocidade de sedimentação aumenta na região de clarificado (aceleração) e, a partir deste ponto, permanece constante até o final da região B. A

velocidade tende a diminuir (desaceleração) em seguida até alcançar o ponto crítico de sedimentação, momento em que a região B desaparece (McCabe et al., 2004).

Esse comportamento pode ser observado na Figura 2.2.

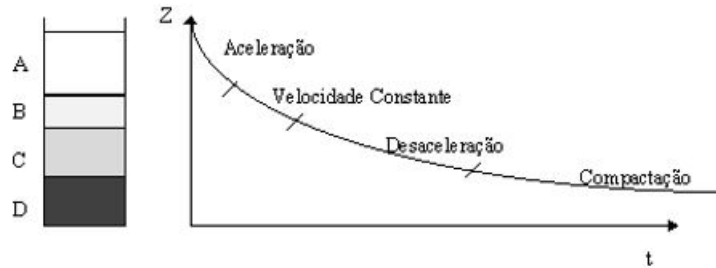


Figura 2.2: Processo de Sedimentação.

O ponto crítico pode ser determinado, pois enquanto a região B, de concentração igual à inicial, ainda existe, a velocidade de sedimentação é constante e, assim, a variação da altura da interface com o tempo é linear. Porém, ao B desaparecer, a velocidade de sedimentação começa a variar, devido ao fato da concentração também ser variável. Conforme a concentração aumentar, a velocidade de sedimentação diminui, como ilustrado na Figura 2.3.

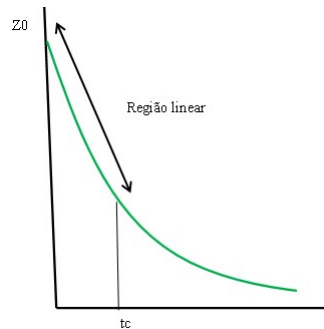


Figura 2.3: Determinação gráfica do tempo crítico (t_C).

2.2 Balanço de Massa

Um sedimentador, com suas respectivas correntes e concentrações, é representado no esquema da Figura 2.4.

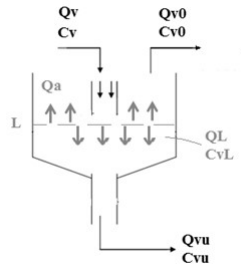


Figura 2.4: Esquema de um sedimentador e suas variáveis.

Em que:

- Q – Vazão da alimentação
- C_v – Concentração volumétrica de sólidos na alimentação
- Q_o – Vazão volumétrica do overflow (líquido clarificado)
- C_{vo} – Concentração volumétrica de sólidos no overflow
- Q_u – Vazão volumétrica do underflow (sólidos concentrados, “lama”)
- C_{vu} – Concentração volumétrica de sólidos no underflow
- Q_a – Vazão volumétrica de líquido límpido no nível L em sentido ascendente
- Q_L – Vazão volumétrica no nível L em sentido descendente
- C_{vL} – Concentração de sólidos no nível L em sentido descendente

Para se iniciar o balanço de massa, considera-se que a concentração de sólidos na corrente de líquido clarificado é igual à zero. Logo, a vazão ascendente consiste apenas de líquido clarificado ($C_{v0} = 0$). Portanto, temos o seguinte balanço de massa para os sólidos:

$$\rho_s \times Q \times C_v = \rho_s \times Q_u \times C_{vu} = \rho_s \times Q_L \times C_{vL} \quad (2.1)$$

Sendo ρ_s a densidade das partículas sólidas. Portanto:

$$Q_u = Q \times \frac{C_v}{C_{vu}} \quad (2.2)$$

Já para o líquido, temos o seguinte balanço de massa, no nível L:

$$\rho \times Q_L \times (1 - C_{vL}) = \rho \times Q_a + \rho \times Q_u \times (1 - C_{vu}) \quad (2.3)$$

Sendo ρ a densidade do líquido. Assim,

$$Q_u = \frac{Q_L \times C_{vL}}{C_{vu}} \quad (2.4)$$

$$Q_L \times (1 - C_{vL}) = Q_a + \frac{Q_L \times C_{vL}}{C_{vu}} \times (1 - C_{vu}) \quad (2.5)$$

$$Q_a = Q_L - Q_L \times C_{vL} - \frac{Q_L \times C_{vL}}{C_{vu}} + Q_L \times C_{vL} \quad (2.6)$$

$$Q_L \times C_{vL} = Q \times C_v \quad (2.7)$$

$$Q_a = Q_L - \frac{Q_L \times C_{vL}}{C_{vu}} = Q_L \times C_{vL} \times \left(\frac{1}{C_{vL}} - \frac{1}{C_{vu}} \right) \quad (2.8)$$

$$Q_a = Q \times C_v \times \left(\frac{1}{C_{vL}} - \frac{1}{C_{vu}} \right) \quad (2.9)$$

$$\frac{Q_a}{A} = \frac{Q \times C_v}{A} \times \left(\frac{1}{C_{vL}} - \frac{1}{C_{vu}} \right) \quad (2.10)$$

A hipótese do método de Coe e Clevenger se baseia na sedimentação das partículas. Este método foi o primeiro a ser desenvolvido e é a fundamentação dos demais. Ele parte da ideia de que todas as partículas alimentadas devem seguir para zona de espessado. Caso isto não ocorra, acarretará no acúmulo de partículas, devido ao arraste, numa dada região chamada de zona limite.

Para tanto, tomando como base que $C_{V0} = 0$, a velocidade de ascensão do líquido deve

ser menor que a velocidade de sedimentação das partículas, evitando, assim, que elas sejam arrastadas no sentido ascendente. Portanto, deve-se ter:

$$\frac{Q_a}{A} \leq v \quad (2.11)$$

Onde: $\frac{Q_a}{A}$ = velocidade de ascensão do fluido e v = velocidade de sedimentação das partículas.

No limite, tem-se:

$$\frac{Q_a}{A} = v \quad (2.12)$$

Assim:

$$\frac{Q \times C_v}{A} \times \left(\frac{1}{C_v L} - \frac{1}{C_v u} \right) = v \quad (2.13)$$

Chegamos, então, à fórmula da área mínima:

$$A = \frac{Q \times C_v}{v} \times \left(\frac{1}{C_v L} - \frac{1}{C_v u} \right) \quad (2.14)$$

2.3 Método de Kynch

Kynch desenvolveu um método de dimensionamento de sedimentadores que necessita de apenas um ensaio experimental, diferentemente do método de Cloe e Clevenger, que exige inúmeros experimentos.

O ensaio é iniciado com uma concentração uniforme C_0 . Supondo que, numa determinada seção do decantador, onde a concentração possui um valor C , a capacidade do equipamento passa por um mínimo e chega até um máximo quando o sistema está em operação, é nesse momento que uma zona característica começará a se formar nessa seção (Foust, 1982).

Se a seção transversal S for insuficiente, ocorrerá acúmulo de sólidos e a zona limite será

deslocada para mais perto da saída de clarificado. Mas se a área for suficiente, em regime permanente, os sólidos que entram no sistema também saem.

O procedimento proposto por Kynch requer apenas um ensaio de decantação que forneça a curva de decantação (Z em função de t), através do qual se traçam tangentes em diversos pontos da curva e determinam-se os valores de t , Z e Z_i . Com esses valores (t , Z e Z_i), utiliza-se a expressão do método de Coe e Clevenger para obter as áreas da seção transversal.

O valor máximo de área obtida corresponderá à área mínima que o decantador poderá ter.

O método gráfico pode ser verificado na Figura 2.5.

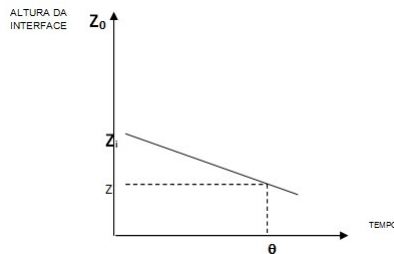


Figura 2.5: Exemplo de resultado do método de Kynch.

A reta tangente pode ser obtida após o cálculo de cada derivada, para cada altura da interface de sedimentação z , correspondente a um tempo de sedimentação t , utilizando as fórmulas a seguir:

$$z = \frac{dz}{dt}t + z_i \quad z_i = z - \frac{dz}{dt}t \quad (2.15)$$

Assim, a concentração de sólidos em um nível L qualquer C_{vL} pode ser calculada, a partir dos valores de z_i correspondentes a cada altura da interface z , através da seguinte relação:

$$C_{vL} = C_v \times \frac{Z_0}{Z_i} \quad (2.16)$$

Finalmente, calcula-se a área mínima do sedimentador pela equação obtida pelo balanço de massa realizado acima:

$$A_{\min} = \frac{Q \times C_v}{v} \times \left(\frac{1}{C_{vL}} - \frac{1}{C_{vU}} \right) \quad (2.17)$$

No final do experimento, tem-se um conjunto de áreas mínimas calculadas, que podem ser organizadas em uma tabela como a representada abaixo:

t	z	$\left(\frac{dz}{dt}\right)$	zi	C_{vL}	A
t1	z1	$\left(\frac{dz}{dt}\right)_1$	zi1	CvL1	A1
t2	z2	$\left(\frac{dz}{dt}\right)_2$	zi2	CvL2	A2
...
tn	zn	$\left(\frac{dz}{dt}\right)_n$	zin	CvLn	An

Tabela 2.1: Organização dos dados no método de Kynch.

Dentre todas as áreas mínimas calculadas pelo método de Kynch, a de maior valor deve ser utilizada como base de cálculo da área de projeto.

2.4 Método de Biscaia Jr.

Esse método é relativamente mais simples do que o método de Kynch. No método de Biscaia Jr., assume-se que a curva da altura da interface em função do tempo pode ser representada por uma função composta, sendo a primeira parte da curva linear e a segunda exponencial.

Z_{\min} tem seu valor determinado a partir da seguinte relação:

$$Z_{\min} = z_0 * \frac{C_{vO}}{C_{vU}} \quad (2.18)$$

E com o valor de z_{\min} , através do gráfico da Figura 5.2, obtém-se o valor de t_{\min} .

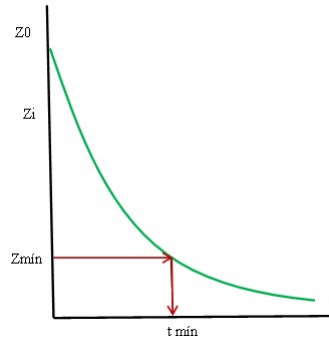


Figura 2.6: Representação gráfica do método de Biscaia Jr.

Com o valor $t_{mín}$ obtido, pode-se então determinar $A_{mín}$:

$$A_{mín} = Q \times \frac{t_{mín}}{z_0} \quad (2.19)$$

2.5 Fatores de Correção

A área determinada por ambos os métodos é a área mínima que o sedimentador deve ter para que se tenha a sedimentação desejada. Porém, é necessário o ajuste de alguns parâmetros para reproduzir as condições operacionais de um sedimentador industrial mais fielmente.

$$A_{proj} = A_{mín} \times f_1 \times f_2 \quad (2.20)$$

O fator f_1 considera efeitos de pH, temperatura, diâmetro dos flocos e concentração das partículas. Esse fator é especialmente importante em locais onde há grande variação de temperatura.

$$1,10 \leq f_1 \leq 1,25 \quad (2.21)$$

Já o fator f_2 é função do diâmetro das partículas e considera a turbulência causada pela alimentação da suspensão no sedimentador. Como a velocidade nos tubos de alimentação é muito maior que a velocidade dentro do sedimentador, há geração de uma zona de turbulência na região de alimentação, dificultando a sedimentação. O fator de segurança visa amortecer o

efeito da zona de turbulência através do aumento do diâmetro.

$$1,10\text{m} < D_{\min} < 1,25\text{m} \quad 1,2 \leq f_2 \leq 1,5 \quad (2.22)$$

$$D_{\min} \leq 5\text{m} \quad f_2 = 1,5 \quad (2.23)$$

$$D_{\min} \geq 30\text{m} \quad f_2 = 1,2 \quad (2.24)$$

3 | Objetivo

O experimento tem como objetivo determinar o dimensionamento de um sedimentador a partir dos dados coletados em um teste de proveta para a suspensão de $CaCO_3$, utilizando os métodos de Kynch e Biscaia Jr. e fazer comparações com os valores obtidos.

O sedimentador industrial deverá operar com uma suspensão de carbonato de cálcio, de aproximadamente 3,9% em peso de $CaCO_3$, para obtenção de uma lama de concentração de sólidos 2 vezes superior à da alimentação.

4 | Materiais e Métodos

4.1 Materiais

- Suspensão de carbonato de cálcio;
- 1 Proveta graduada de 2L;
- 3 Vidros de relógio;
- Pipeta;

- Bastão de Vidro;
- Balança analítica digital;
- Cronômetro;
- Tira de papel milimetrado;
- Estufa.

4.2 Métodos

Realizou-se o teste de proveta usando 2 L da suspensão de carbonato de cálcio. Para determinar a concentração real da suspensão, antes do início do teste, colocou-se 3 amostras em vidros de relógios secos previamente pesados. Após a adição da suspensão, os vidros foram novamente pesados. As amostras foram à estufa por, aproximadamente, 100°C até peso constante e então novamente os vidros foram pesados.

O teste de proveta iniciou assim que os 2L de solução estavam bem homogeneizados na proveta, com o auxílio do bastão de vidro, iniciando o cronômetro. A sedimentação iniciou e foi possível observar a formação de 2 fases, uma mais opaca com alto teor de sólidos e uma clarificada. A interface foi monitorada e o tempo anotado a cada decréscimo da mesma em 0,5 cm de altura. Com os pontos, foi possível plotar o gráfico $Z \times t$.

5 | Resultados e Discussão

5.1 Propriedades físico-químicas

- Densidade da água (ρ) : $1 \frac{g}{cm^3}$
- Densidade do carbonato de cálcio (ρ_S) : $2,711 \frac{g}{cm^3}$ (a 25°C)
- Viscosidade da água (μ) : $0,01 \frac{g \cdot cm}{s}$

5.2 Determinação da concentração e densidade de CaCO_3 na suspensão

Para determinação das concentrações mássica e volumétrica, utilizaram-se os dados da Tabela 5.1.

Numeração	M1: Vidro de relógio vazio (g)	M2: Vidro de relógio com suspensão inicial (g)	M3: Vidro de relógio com suspensão seca (g)
S1	36,0549	39,6448	39,1954
S2	44,723	48,1705	44,8572
S3	36,0498	39,6998	36,1928

Tabela 5.1: Tabela com as massas em cada etapa do procedimento.

A partir dos resultados experimentais, os cálculos realizados foram: H_2O e CaCO_3 foram determinados do seguinte modo:

- Massa de H_2O : $M_2 - M_3$
- Massa de CaCO_3 : $M_3 - M_1$

5.2.1 Cálculos

Determinar a concentração mássica significa efetuar a seguinte razão:

$$C_m = \frac{\text{massa de sólido (CaCO}_3\text{)}}{\text{massa de suspensão}} = \frac{\text{massa de sólido (CaCO}_3\text{)}}{\text{massa de água} + \text{massa de CaCO}_3} \quad (5.1)$$

Numeração	Massa Úmida g	Massa Seca g	% Sólidos
S1	3,5899	0,1405	0,0391
S2	3,4475	0,1342	0,0389
S3	3,6500	0,143	0,0392

Tabela 5.2: Concentração de sólidos nas alíquotas coletadas.

Para os demais cálculos foi utilizada a média das concentrações obtidas através das alíquotas coletadas da suspensão de alimentação do teste de proveta. O valor médio calculado foi igual a 3,91 % p de sólidos.

5.3 Teste de Proveta

5.3.1 Altura inicial da proveta

Sabendo-se que a $\text{Área} = \frac{\pi D^2}{4}$ e $\text{Volume} = \text{Área} \cdot Z_0$, temos:

Diâmetro da proveta (cm)	8,1
Área da seção transversal da proveta (cm²)	51,53
Volume inicial (cm³ = mL)	2000
Altura inicial de líquido (cm)	38,81

Tabela 5.3: Dados do sistema montado para o teste de proveta.

5.3.2 Curva de sedimentação (altura da proveta x tempo)

Uma vez iniciada a sedimentação, o grupo anotou o tempo para a suspensão sedimentar a cada 0,5 cm, obtendo a seguinte curva:

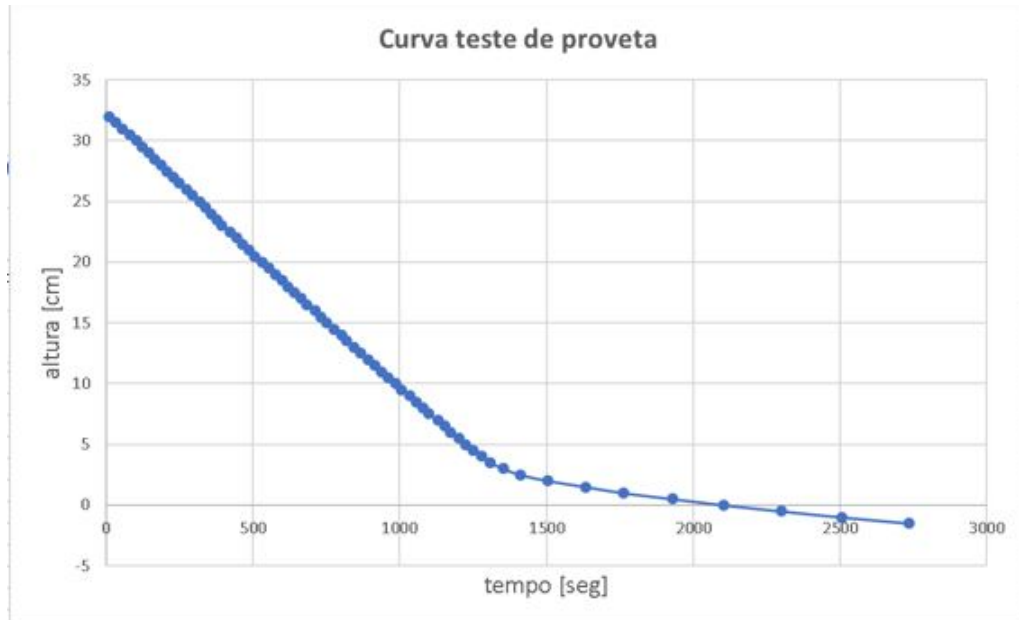


Figura 5.1: Curva obtida para os dados de sedimentação.

Diante da curva apresentada, efetuaram-se dois ajustes, um linear, inicialmente, e um exponencial. Considerou-se adequado, uma vez que os coeficientes de correlação estão próximos a 1. Com as equações ajustadas, utilizaram-se os métodos para determinação da área do sedimentador.

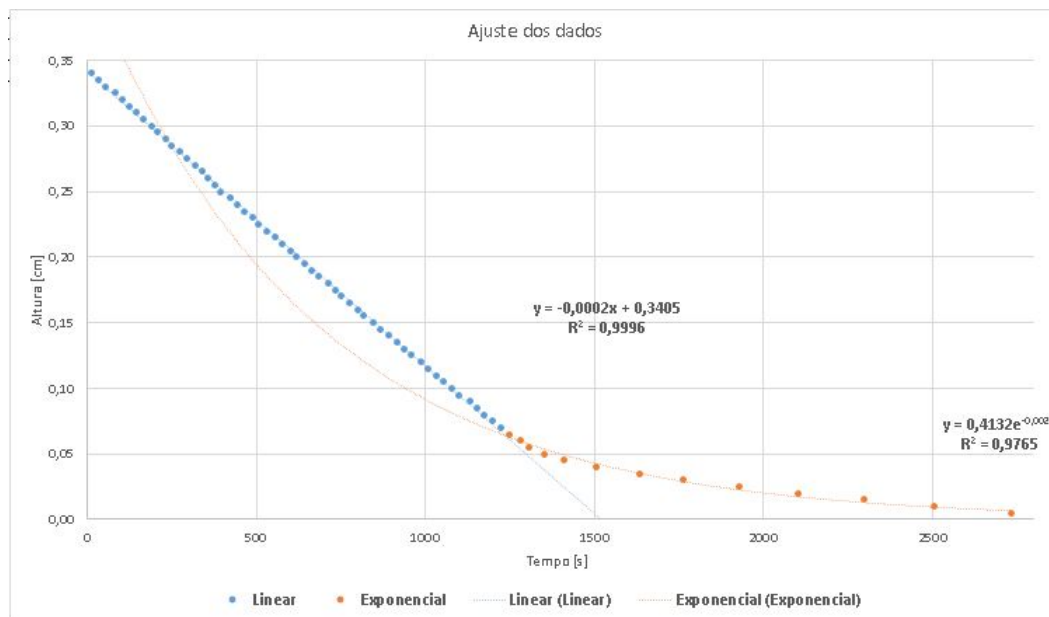


Figura 5.2: Curva obtida para os dados de sedimentação.

5.3.3 Cálculo das vazões para dimensionamento do sedimentador

Com base nos seguintes dados para uma operação industrial, projetou-se um sedimentador industrial com base no teste de proveta.

- Vazão da unidade industrial: 36 ton/h;
- Concentração desejada de carbonato de cálcio na lama: 5% em peso;
- Concentração do carbonato de cálcio na alimentação: 2,5 %.
- Concentração do carbonato de cálcio na alimentação: 3,9 %.

Vazões volumétrica, vazão mássica e concentração de sólidos da suspensão utilizada na alimentação do teste de proveta podem ser observadas na Tabela 5.4, para o retido na Tabela 5.5 e o passante na Tabela 5.6

	Dens (kg/m³)	CA (%)	QA (kg/h)	QA m³/h	CA (kg/m³)
CaCO3	2730	3,9%	1406,9091	0,52	40,07
H2O	1000	96,1%	34593,091	34,59	985,32
TOTAL		100,0%	36000	35,11	1.025,39

Tabela 5.4: Vazões e concentração na alimentação do sedimentador que será projetado.

	Dens (kg/m³)	CR (%)	QR (kg/h)	QR m³/h	CR (kg/m³)
CaCO3	2730	15,6%	1406,9091	0,52	173,51
H2O	1000	84,4%	7593,0909	7,59	936,44
TOTAL		100,0%	9000	8,11	1.109,95

Tabela 5.5: Vazões e concentração no retido do sedimentador que será projetado.

	Dens (kg/m³)	CP	QP kg/h	QP m³/h	CP kg/m³
CaCO3	2730	0,00%	0,00	0,00	0,00
H2O	1000	100,00%	27.000,00	27,00	1.000,00
TOTAL		100,00%	27.000,00	27,00	1.000,00

Tabela 5.6: Vazões e concentração no passante do sedimentador que será projetado.

5.3.4 Método de Kynch

Segundo o método de Kynch, a área mínima do sedimentador pode ser calculada pela equação abaixo:

$$\frac{Q_L C_L}{S} = \frac{v_L}{\left(\frac{1}{C_L} - \frac{1}{C_R} \right) \frac{\rho_P}{\rho_P}} \quad (5.2)$$

Resumo das informações sobre vazão e concentração obtidos pelo teste de proveta.

Corrente	Q <i>m³/h</i>	C <i>kg/m³</i>	Dens <i>kg/m³</i>
A	35,11	40,07	1.025,39
R	8,11	173,51	1.109,95
P	27,00	0	1.000,00

Tabela 5.7: Resumo das vazões e concentrações do sedimentador que será projetado.

Utilizando os dados da Tabela 5.7, calculou-se a densidade média através da Equação 5.3.

$$< \rho > = \frac{\rho_A C_R - \rho_R C_A}{C_R - C_A} \quad (5.3)$$

C0	40,07	kg/m³
z0	0,34	m
<dens>	1000	kg/m³

Tabela 5.8: Densidade média.

Tabela com os valores calculados para área

$$\frac{Q_L C_L}{S} = \frac{v_L}{\left(\frac{1}{C_L} - \frac{1}{C_R} \right) \frac{<\rho'>}{\rho_P}} \quad (5.4)$$

tL s	Geral	Derivada	vL m/s	ziL m	CL kg/m³	QL CL/S	A m²
10	0,340	-4,45E-04	4,45E-04	0,344	3,96E+01	0,02281	17,13
31	0,335	-4,36E-04	4,36E-04	0,349	3,91E+01	0,02200	17,76
54	0,330	-4,26E-04	4,26E-04	0,353	3,86E+01	0,02115	18,48
80	0,325	-4,15E-04	4,15E-04	0,358	3,80E+01	0,02022	19,33
102	0,320	-4,06E-04	4,06E-04	0,361	3,77E+01	0,01956	19,98
123	0,315	-3,98E-04	3,98E-04	0,364	3,74E+01	0,01898	20,59
145	0,310	-3,89E-04	3,89E-04	0,366	3,72E+01	0,01841	21,23
163	0,305	-3,82E-04	3,82E-04	0,367	3,71E+01	0,01803	21,68
188	0,300	-3,73E-04	3,73E-04	0,370	3,68E+01	0,01742	22,44
206	0,295	-3,66E-04	3,66E-04	0,370	3,68E+01	0,01708	22,87
230	0,290	-3,57E-04	3,57E-04	0,372	3,66E+01	0,01658	23,57
249	0,285	-3,51E-04	3,51E-04	0,372	3,66E+01	0,01626	24,04
273	0,280	-3,42E-04	3,42E-04	0,373	3,65E+01	0,01581	24,72
293	0,275	-3,35E-04	3,35E-04	0,373	3,65E+01	0,01551	25,20
319	0,270	-3,27E-04	3,27E-04	0,374	3,64E+01	0,01506	25,95
338	0,265	-3,21E-04	3,21E-04	0,373	3,65E+01	0,01482	26,37
357	0,260	-3,15E-04	3,15E-04	0,372	3,66E+01	0,01459	26,78
376	0,255	-3,09E-04	3,09E-04	0,371	3,67E+01	0,01438	27,18

Tabela 5.9

394	0,250	-3,03E-04	3,03E-04	0,369	3,69E+01	0,01420	27,52
421	0,245	-2,95E-04	2,95E-04	0,369	3,69E+01	0,01383	28,25
444	0,240	-2,88E-04	2,88E-04	0,368	3,70E+01	0,01357	28,79
465	0,235	-2,82E-04	2,82E-04	0,366	3,72E+01	0,01337	29,23
487	0,230	-2,76E-04	2,76E-04	0,365	3,74E+01	0,01316	29,69
506	0,225	-2,71E-04	2,71E-04	0,362	3,76E+01	0,01302	30,01
530	0,220	-2,65E-04	2,65E-04	0,360	3,78E+01	0,01280	30,53
554	0,215	-2,58E-04	2,58E-04	0,358	3,80E+01	0,01259	31,04
576	0,210	-2,53E-04	2,53E-04	0,356	3,83E+01	0,01243	31,44
599	0,205	-2,47E-04	2,47E-04	0,353	3,86E+01	0,01226	31,87
619	0,200	-2,42E-04	2,42E-04	0,350	3,89E+01	0,01216	32,14
642	0,195	-2,37E-04	2,37E-04	0,347	3,93E+01	0,01201	32,53
664	0,190	-2,32E-04	2,32E-04	0,344	3,96E+01	0,01189	32,86
682	0,185	-2,27E-04	2,27E-04	0,340	4,01E+01	0,01184	32,99
712	0,180	-2,21E-04	2,21E-04	0,337	4,04E+01	0,01163	33,61
732	0,175	-2,16E-04	2,16E-04	0,333	4,09E+01	0,01157	33,79
752	0,170	-2,12E-04	2,12E-04	0,329	4,14E+01	0,01151	33,95
775	0,165	-2,07E-04	2,07E-04	0,326	4,19E+01	0,01143	34,20
801	0,160	-2,02E-04	2,02E-04	0,322	4,24E+01	0,01131	34,55
818	0,155	-1,98E-04	1,98E-04	0,317	4,29E+01	0,01132	34,52
845	0,150	-1,93E-04	1,93E-04	0,313	4,35E+01	0,01121	34,85
868	0,145	-1,89E-04	1,89E-04	0,309	4,41E+01	0,01117	35,00
892	0,140	-1,84E-04	1,84E-04	0,304	4,48E+01	0,01112	35,15
915	0,135	-1,80E-04	1,80E-04	0,300	4,54E+01	0,01109	35,24
938	0,130	-1,76E-04	1,76E-04	0,295	4,62E+01	0,01107	35,29

Tabela 5.10

959	0,125	-1,72E-04	1,72E-04	0,290	4,69E+01	0,01109	35,24
985	0,120	-1,68E-04	1,68E-04	0,285	4,77E+01	0,01106	35,34
1006	0,115	-1,64E-04	1,64E-04	0,280	4,86E+01	0,01110	35,22
1033	0,110	-1,60E-04	1,60E-04	0,275	4,95E+01	0,01108	35,27
1055	0,105	-1,57E-04	1,57E-04	0,270	5,04E+01	0,01113	35,11
1079	0,100	-1,53E-04	1,53E-04	0,265	5,14E+01	0,01117	34,98
1100	0,095	-1,50E-04	1,50E-04	0,260	5,25E+01	0,01126	34,71
1130	0,090	-1,45E-04	1,45E-04	0,254	5,36E+01	0,01127	34,68
1152	0,085	-1,42E-04	1,42E-04	0,249	5,48E+01	0,01138	34,35
1174	0,080	-1,39E-04	1,39E-04	0,243	5,60E+01	0,01150	33,98
1200	0,075	-1,35E-04	1,35E-04	0,238	5,74E+01	0,01161	33,67
1225	0,070	-1,32E-04	1,32E-04	0,232	5,88E+01	0,01174	33,29
1250	0,065	-1,29E-04	1,29E-04	0,226	6,03E+01	0,01190	32,84
1280	0,060	-1,25E-04	1,25E-04	0,220	6,19E+01	0,01204	32,47
1308	0,055	-1,22E-04	1,22E-04	0,214	6,37E+01	0,01222	31,97
1352	0,050	-1,16E-04	1,16E-04	0,207	6,57E+01	0,01231	31,75
1410	0,045	-1,10E-04	1,10E-04	0,200	6,82E+01	0,01233	31,69
1504	0,040	-9,99E-05	9,99E-05	0,190	7,16E+01	0,01218	32,08
1633	0,035	-8,78E-05	8,78E-05	0,178	7,64E+01	0,01198	32,63
1762	0,030	-7,72E-05	7,72E-05	0,166	8,21E+01	0,01202	32,51
1931	0,025	-6,52E-05	6,52E-05	0,151	9,03E+01	0,01227	31,84
2105	0,020	-5,48E-05	5,48E-05	0,135	1,01E+02	0,01314	29,74
2299	0,015	-4,51E-05	4,51E-05	0,119	1,15E+02	0,01528	25,57
2508	0,010	-3,66E-05	3,66E-05	0,102	1,34E+02	0,02140	18,26
2736	0,005	-2,92E-05	2,92E-05	0,085	1,61E+02	0,06366	6,14

Tabela 5.11

Fatores de correção

mín (>0)	A m²	D m	D ft	f1	f2	A corr. m²
1,11E-02	35,34	6,71	22,01	1,18	1,30	53,98

Tabela 5.12

5.3.5 Método de Biscaia Jr.

Determinação de $Z_{\text{mín}}$ e $t_{\text{mín}}$

$$Z_{\text{mín}} = Z_0 * \frac{C_A}{C_R} \quad (5.5)$$

CA kg/m³	40,07
CR kg/m³	173,51
z0 (m)	0,34
z mín (m)	0,08

Tabela 5.13

De posse do valor de $Z_{\text{mín}}$, podemos calcular o valor de $t_{\text{mín}}$ através da equação obtida pelo ajuste linear.

a	0,3405
b	-0,0002
z mín (m)	0,08
t mín (s)	1.309,88

Tabela 5.14

Determinação de $A_{\text{mín}}$

$$A_{\text{mín}} = Q * \frac{t_{\text{mín}}}{Z_0} \quad (5.6)$$

t mín	0,36	h
z0	0,34	m
QA	35,11	m³/h
S calc	37,57	m²
D calc	6,92	m

Tabela 5.15

Fatores de correção

D(ft)	22,69
f1	1,175
f2	1,3
A Proj. (m²)	57,39

Tabela 5.16

5.3.6 Comparação entre os métodos

Método	Kynch	Biscaia Jr.	Variação do Kynch em relação ao Biscaia Jr. (%)
Amín (m²)	35,34	37,57	5,947%
Área de projeto (m²)	53,98	57,39	5,947%

Tabela 5.17: Comparação entre os valores obtidos pelos métodos de Kynch e Biscaia Jr.

6 | Conclusões

Bibliografia

Foust, A. S. Princípios Das Operações Unitárias. *LTC* **1982**,

Peçanha, R. Sistemas Particulados: Operações unitárias envolvendo partículas e fluídos. *Elsevier* **2014**,

McCabe, W.; Smith, J.; Harriott, P. Unit Operations of Chemical Engineering. *McGraw Hill - CHEMICAL ENGINEERING SERIES* **2004**,

Unicamp, Operações Unitárias I. 2019; https://www.ggte.unicamp.br/ocw/sites/ocw/files/cursos/CienciasExatas/EQ651/apostilas/Capitulo_V.pdf., Acessado: 2019-05-14.