



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**



**PROJETO DE SEDIMENTADORES PARA A CONCENTRAÇÃO DO CARBONATO  
DE CÁLCIO UTILIZANDO ENSAIOS DE PROVETA**

**MIKAEL BARBARESCO LOURENÇO**

**UBERLÂNDIA - MG**

**2023**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**



**PROJETO DE SEDIMENTADORES PARA A CONCENTRAÇÃO DO CARBONATO  
DE CÁLCIO UTILIZANDO ENSAIOS DE PROVETA**

**MIKAEL BARBARESCO LOURENÇO**

Monografia de graduação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos necessários para a aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso do curso de Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Amâncio Malagoni

**UBERLÂNDIA - MG**

**2023**

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DE MONOGRAFIA DA DISCIPLINA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE MIKAEL BARBARESCO LOURENÇO  
APRESENTADA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, EM 30/11/2023.

BANCA EXAMINADORA:

---

Prof. Dr. Ricardo Amâncio Malagoni  
Orientador – FEQUI/UFU

---

Prof. Dr. Cláudio Roberto Duarte  
PPGEQ/UFU

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Yanne Novais Kyriakidis  
FEQUI/UFU

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	ii
LISTA DE TABELAS .....	v
LISTA DE SÍMBOLOS .....	vi
RESUMO .....	vii
ABSTRACT.....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
2.1. Sedimentação .....	3
2.2. Tipos de sedimentadores.....	4
2.3. Projeto de sedimentadores .....	6
2.4. Carbonato de cálcio.....	7
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	8
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	15
5. CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	19
5.1. Conclusão .....	19
5.2. Sugestões para trabalhos futuros.....	19
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	21
APÊNDICE A.....	23
ANEXO A.....	37

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Regiões de sedimentação.....	3
Figura 2 – Sedimentador contínuo do tipo espessador.....	5
Figura 3 – Sedimentador lamelado.....	6
Figura 4 – Curva de sedimentação com as regiões do processo representadas.....	7
Figura 5 - Proveta utilizada para os testes.....	8
Figura 6 – Unidade de sedimentação.....	9
Figura 7 – Vista externa (A) e interna (B) da caixa para controle da iluminação durante o experimento de sedimentação.....	9
Figura 8 – Curva de sedimentação com os parâmetros estabelecidos por Kynch.....	11
Figura 9 – Esquema de um sedimentador e as alturas das suas diferentes regiões.....	12
Figura 10 - Tempo de residência da região de compactação.....	13
Figura 11 – Curva de sedimentação obtida experimentalmente para suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 20 g/L e volume de 800 mL.....	15
Figura 12 - Curvas de sedimentação obtidas experimentalmente para suspensão de carbonato de cálcio com concentrações diferentes e volume constante de 800 mL.....	17
Figura 13 - Curva de sedimentação obtida experimentalmente para suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 25 g/L e volume de 1000 mL.....	18
Figura A.1 – Curva de sedimentação obtida no primeiro experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 15 g/L e volume de 600 mL.....	23
Figura A.2 – Curva de sedimentação obtida no segundo experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 15 g/L e volume de 600 mL.....	23
Figura A.3 – Curva de sedimentação obtida no terceiro experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 15 g/L e volume de 600 mL.....	24
Figura A.4 – Curva de sedimentação obtida no primeiro experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 15 g/L e volume de 800 mL.....	24
Figura A.5 – Curva de sedimentação obtida no segundo experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 15 g/L e volume de 800 mL.....	25
Figura A.6 – Curva de sedimentação obtida no terceiro experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 15 g/L e volume de 800 mL.....	25
Figura A.7 – Curva de sedimentação obtida no primeiro experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 15 g/L e volume de 1000 mL.....	26

Figura A.8 – Curva de sedimentação obtida no segundo experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 15 g/L e volume de 1000 mL.....	26
Figura A.9 – Curva de sedimentação obtida no terceiro experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 15 g/L e volume de 1000 mL.....	27
Figura A.10 – Curva de sedimentação obtida no primeiro experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 20 g/L e volume de 600 mL.....	27
Figura A.11 – Curva de sedimentação obtida no segundo experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 20 g/L e volume de 600 mL.....	28
Figura A.12 – Curva de sedimentação obtida no terceiro experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 20 g/L e volume de 600 mL.....	28
Figura A.13 – Curva de sedimentação obtida no primeiro experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 20 g/L e volume de 800 mL.....	29
Figura A.14 – Curva de sedimentação obtida no segundo experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 20 g/L e volume de 800 mL.....	29
Figura A.15 – Curva de sedimentação obtida no terceiro experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 20 g/L e volume de 800 mL.....	30
Figura A.16 – Curva de sedimentação obtida no primeiro experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 20 g/L e volume de 1000 mL.....	30
Figura A.17 – Curva de sedimentação obtida no segundo experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 20 g/L e volume de 1000 mL.....	31
Figura A.18 – Curva de sedimentação obtida no terceiro experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 20 g/L e volume de 1000 mL.....	31
Figura A.19 – Curva de sedimentação obtida no primeiro experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 25 g/L e volume de 600 mL.....	32
Figura A.20 – Curva de sedimentação obtida no segundo experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 25 g/L e volume de 600 mL.....	32
Figura A.21 – Curva de sedimentação obtida no terceiro experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 25 g/L e volume de 600 mL.....	33
Figura A.22 – Curva de sedimentação obtida no primeiro experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 25 g/L e volume de 800 mL.....	33
Figura A.23 – Curva de sedimentação obtida no segundo experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 25 g/L e volume de 800 mL.....	34
Figura A.24 – Curva de sedimentação obtida no terceiro experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 25 g/L e volume de 800 mL.....	34

Figura A.25 – Curva de sedimentação obtida no primeiro experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 25 g/L e volume de 1000 mL.....	35
Figura A.26 – Curva de sedimentação obtida no segundo experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 25 g/L e volume de 1000 mL.....	35
Figura A.27 – Curva de sedimentação obtida no terceiro experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 25 g/L e volume de 1000 mL.....	36

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Valores utilizados para o cálculo das dimensões de projeto do sedimentador.....	14
Tabela 2 - Valores de diâmetro e altura calculados utilizando diferentes volumes de suspensão para o projeto de sedimentadores operando em diferentes concentrações.....	15
Tabela 3 – Tempos de residência calculados utilizando diferentes volumes de suspensão para o projeto de sedimentadores operando em diferentes concentrações.....	16



**LISTA DE SÍMBOLOS**

$A$  – Área do sedimentador;

$C_a$  – Concentração mássica da alimentação;

$C_a^*$  – Concentração molar da alimentação;

$C_L$  – Concentração mássica da lama;

$D$  – Diâmetro do sedimentador;

$F$  – Vazão volumétrica de alimentação;

$H$  – Altura total do sedimentador;

$H_1$  – Altura das regiões clarificada e de concentração constante do sedimentador;

$H_2$  – Altura do fundo do sedimentador;

$H_c$  – Altura da região de compactação do sedimentador;

$m_s$  – Massa de sólido;

$t$  – Tempo de residência da região de compactação;

$V_s$  – Volume de sólido;

$z_0$  – Altura inicial da suspensão;

$z_{min}$  – Altura mínima que a suspensão ocuparia em determinada concentração;

$\theta_{min}$  – Tempo de sedimentação para atingir  $z_{min}$ ;

$\rho$  – Densidade do líquido;

$\rho_L$  – Densidade do lodo;

$\rho_s$  – Densidade do sólido.

## RESUMO

A operação de sedimentação possui diversas aplicações industriais, sendo um método de separação sólido-líquido muito utilizado em diversos processos, como em mineradoras e estações de tratamento de água. O mecanismo de separação do sedimentador consiste na atuação da gravidade sobre as partículas sólidas, sendo um equipamento considerado simples e de baixo custo operacional. Os sedimentadores convencionais podem ser dimensionados a partir de testes de proveta, prática que é realizada na disciplina de Laboratório de Engenharia Química II do Curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia. Com o objetivo de se realizar o dimensionamento de sedimentadores para a separação do carbonato de cálcio de uma suspensão com água e determinar quais condições são mais favoráveis para a realização da prática em laboratório, foram conduzidos experimentos de sedimentação por meio de ensaios de proveta, com o objetivo de comparar como as variáveis de projeto, volume de suspensão (600, 800 e 1000 mL) e concentração de sólidos (15, 20 e 25 g/L), afetam os resultados experimentais. Para o cálculo da altura e diâmetro dos sedimentadores, foi utilizada a metodologia de Kynch, a qual utiliza dados da curva de sedimentação, que neste trabalho foi obtida por captura de imagens ao longo do experimento. A partir dos dados experimentais obtidos, foi possível encontrar o diâmetro e a altura mínima que atendem aos parâmetros de projeto do sedimentador para cada uma das variáveis escolhidas, podendo-se concluir que o aumento da concentração aumenta os valores de altura e diâmetro necessários para o sedimentador. Por fim, determinou-se que a melhor condição para a realização do experimento foi na concentração de 20 g/L de carbonato de cálcio em 800 mL de suspensão.

**Palavras-chave:** Carbonato de cálcio, Kynch, Sedimentação, Teste de proveta.

## ABSTRACT

The sedimentation operation has several industrial applications, being a solid-liquid separation method widely used in various processes, such as in mining and water treatment. The separation mechanism of the sedimentation equipment consists of the action of gravity on the solid particles and is, therefore, a piece of equipment considered simple with a low operating cost. Conventional sedimentation equipments can be sized based on graduated cylinder tests, an experiment that is done in the in the discipline of Laboratory of Chemical Engineering II of the Federal University of Uberlândia. With the objective of sizing sedimentation equipments for the separation of calcium carbonate from a suspension with water and determining which conditions are most favorable for carrying out the practice in the laboratory, sedimentation experiments were conducted using graduated cylinders tests, with the objective of comparing how the design variables, suspension volume (600, 800 and 1000 mL) and solids concentration (15, 20 and 25 g/L), affect the experimental results. To calculate the height and diameter of the equipments, the Kynch methodology was used, which uses data from the sedimentation curve, obtained by capturing images throughout the experiment. From the experimental data obtained, it was possible to find the minimum diameter and height that meet the sedimentation equipment design parameters for each of the chosen variables, and it can be concluded that increasing the concentration increases the height and diameter values required for the equipment. Finally, it was determined that the best condition for carrying out the experiment was a concentration of 20 g/L of calcium carbonate in 800 mL of suspension.

**Key words:** Calcium carbonate, Graduated cylinder test, Kynch, Sedimentation.

## 1. INTRODUÇÃO

A separação sólido-líquido é uma operação de grande importância industrial, sendo aplicada em diversos processos. Um mecanismo de separação sólido-líquido bastante utilizado é a sedimentação, muito empregada para a concentração de material particulado e na purificação de correntes líquidas, sendo, dessa forma, comumente utilizada em mineradoras e estações de tratamento de água e outros efluentes (AROUCA, 2007).

A sedimentação utiliza a gravidade para realizar a concentração dos sólidos suspensos em um fluido a partir do assentamento desses no fundo do sedimentador. Por utilizar a ação da gravidade como mecanismo de separação, essa operação, quando comparada com outras, apresenta baixo custo operacional (ALMEIDA, 2020).

A operação de sedimentação é realizada em sedimentadores, os quais podem ser classificados de duas formas segundo suas finalidades. Os clarificadores têm como objetivo obter um clarificado com baixa concentração de sólidos e os espessadores tem como produto lamas com alta concentração de sólidos (AROUCA, 2007).

Um sedimentador convencional pode ser dimensionado por meio de testes laboratoriais. Para isso, utiliza-se ensaios de proveta para a obtenção do tempo de sedimentação das partículas sólidas, necessário para a construção da curva de sedimentação utilizada para se analisar a separação e realizar o dimensionamento com os dados de projeto desejados (FRANÇA e MASSARANI, 2018).

Segundo França e Casqueira (2007), o método de Kynch (1952) pode ser utilizado para encontrar a concentração e a velocidade de sedimentação a partir dos resultados dos testes de proveta e com esses dados obter as respostas de altura e diâmetro, necessárias para o projeto de um sedimentador. Porém, variáveis como a concentração inicial da suspensão influenciam diretamente nessas respostas de projeto.

Sabendo-se da importância desse tipo de separação, a disciplina de Laboratório de Engenharia Química II do Curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia apresenta uma prática de sedimentação em proveta, realizada em uma unidade localizada no Laboratório Didático 06 do Bloco 1K da UFU. Nessa unidade, a curva de sedimentação do carbonato de cálcio é obtida a partir da captura de imagens ao longo do experimento. No entanto, fatores como a iluminação do ambiente e volume de suspensão podem influenciar na captura dessas imagens. Por isso, foi instalada uma caixa provida de luz

artificial na qual a proveta foi posicionada com a finalidade de a luz não ser um fator que interfira nos resultados experimentais.

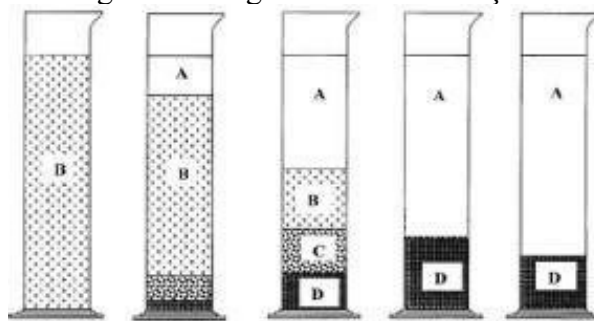
Diante do exposto, o experimento desenvolvido, descrito nesse trabalho, teve como objetivo o projeto de sedimentadores utilizando a unidade experimental da FEQUI com captura de imagens, testando diferentes volumes de suspensão (600, 800 e 1000 mL) e concentrações de carbonato de cálcio (15, 20 e 25 g/L), para se analisar como essas variáveis interferem no processo e avaliar qual nível delas é mais adequada para a realização da prática.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Sedimentação

A sedimentação tem como base a ação da força gravitacional atuando na partícula sólida e a resistência ao movimento na qual esta está sujeita devido ao meio na qual está contida e a diferença de suas densidades (FRANÇA e MASSARANI, 2018). Durante o teste de proveta há uma suspensão homogênea de concentração constante no início. À medida que as partículas vão se sedimentando, há a formação de quatro regiões, conforme mostrado na Figura 1: a de líquido clarificado (A); a de sedimentação livre, de concentração constante (B); a de transição, de concentração variável (C); e a de compactação (D) (ANDRADE e VALADÃO, 2017).

Figura 1 – Regiões de sedimentação.



Fonte: Foust (1982).

Segundo França e Massarani (2018), devem ser feitas algumas considerações nas diferentes regiões de sedimentação, devendo ser considerado que na região de líquido clarificado não se tem interação entre as partículas e são constantes as velocidades de sedimentação dos sólidos e a sua concentração, enquanto que na região de compactação a interação existe, provocando mudança de concentração e desaceleração das partículas.

Quanto maior a quantidade de sólidos em suspensão, menor será a velocidade de sedimentação, visto que a probabilidade de uma partícula ter a mesma trajetória que outra aumenta (FRANÇA e CASQUEIRA, 2007). Além disso, o tamanho e formato das partículas interferem na velocidade de sedimentação, já que partículas esféricas e de diâmetros maiores

possuem menor tempo de sedimentação que partículas irregulares de menor diâmetro (TORQUATO, 2008).

Em determinados processos, devido às características das partículas em suspensão, é necessária a realização de um pré-tratamento antes da sedimentação para que essa ocorra de forma mais rápida. Segundo Nunes (2008), a floculação é um processo que facilita a sedimentação devido à formação de flocos pela aglutinação das partículas com a utilização de um reagente químico em uma suspensão.

Além da importância dos sólidos em suspensão para o comportamento da sedimentação, o fluido de suspensão também é importante para esse processo, visto que essa operação ocorre com um comportamento diferente em fluidos não newtonianos, quando comparada a fluidos newtonianos (FAIM, 2020).

## 2.2. Tipos de sedimentadores

Quando o objetivo da sedimentação é a obtenção de um sobrenadante com poucas partículas sólidas, o sedimentador é classificado como clarificador. Se o objetivo é obter uma lama ou polpa mais concentrada, o sedimentador é classificado como espessador. Como a indústria trabalha com diversos processos em que se deseja a concentração de um produto, os espessadores são mais utilizados (SOUZA et al., 2015).

Segundo Wagner (2020), os clarificadores, embora similares aos espessadores, possuem diferenças em relação aos seus objetivos, visto que buscam alcançar parâmetros de clarificação desejados no *overflow*, admitindo-se certa variação na concentração da lama no *underflow* do equipamento, sendo muito utilizados para tratamento de efluentes.

Segundo Torquato (2008), os espessadores são essenciais para os processos industriais de separação sólido-líquido devido ao seu princípio de funcionamento ser considerado simples quando comparado com outras operações de separação, apesar de possuir a desvantagem de se necessitar uma grande área para a sua construção. Devido a sua capacidade de concentrar sólidos a partir de polpas diluídas, esse equipamento é bastante utilizado no tratamento de minérios.

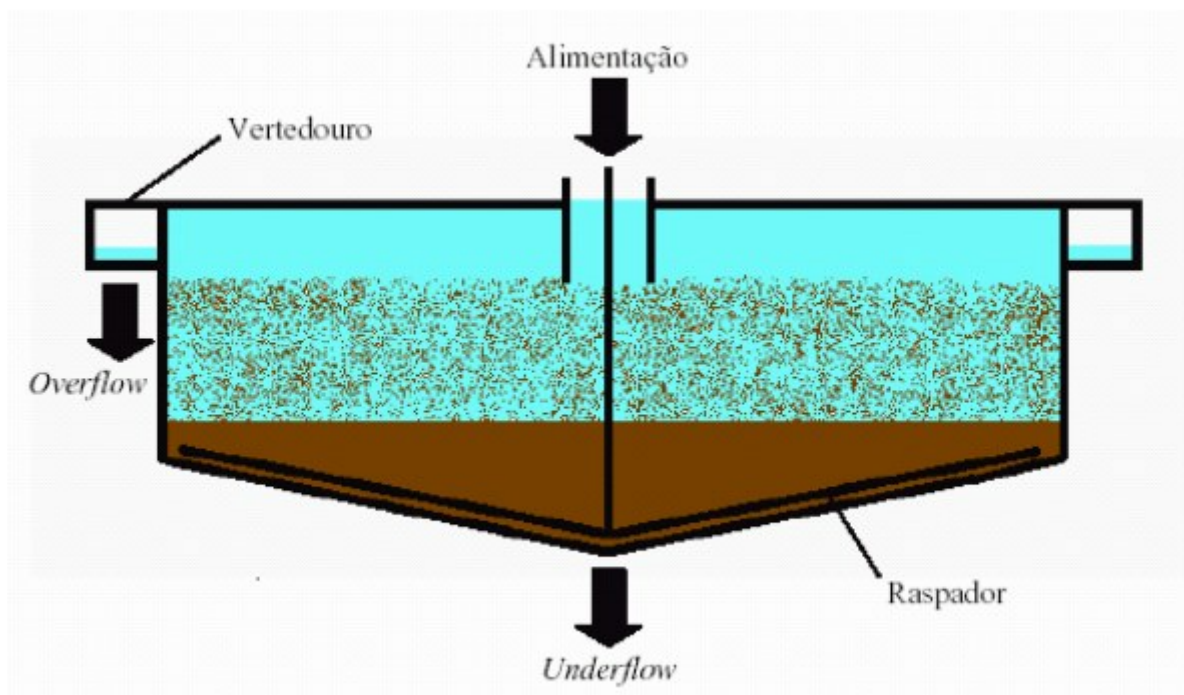
Os sedimentadores industriais do tipo espessadores são constituídos por uma parte cilíndrica e uma parte cônica no fundo, onde as partículas que se sedimentam são recolhidas. Essa lama mais concentrada constitui o *underflow* e o líquido clarificado constitui o *overflow* o qual transborda por meio de calhas e é bombeado para a reutilização da água. A alimentação

é geralmente realizada ao centro do sedimentador por meio de uma tubulação, podendo-se utilizar um alimentador para dividir a corrente em duas e diminuir a velocidade e turbulência. No alimentador também pode ser realizada a adição de substância flocculante, caso essa seja necessária para o processo. (GUIMARÃES, 2010).

Em sedimentadores contínuos, a altura desses equipamentos é importante, pois ela controla o tempo de sedimentação da partícula sólida dependendo da vazão de alimentação, sendo um parâmetro para a determinação da capacidade do equipamento (FRANÇA e MASSARANI, 2018).

O espessador DORR é um sedimentador contínuo que foi desenvolvido em 1905 que utiliza pás de raspagem no fundo do equipamento, como mostrado na Figura 2, para a coleta do material concentrado. Esse arraste é realizado por meio de uma rotação lenta para não interferir no meio de suspensão (GUIMARÃES, 2010).

Figura 2 – Sedimentador contínuo do tipo espessador.

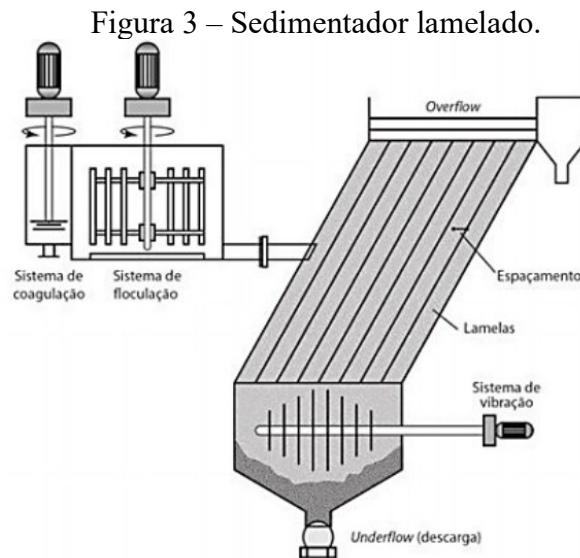


Fonte: Nunes (2008).

Outro tipo de sedimentador, segundo Cremasco (2012), é o sedimentador lamelado, representado na Figura 3, que apresenta um conjunto de lamelas que formam canais preferenciais em seus espaçamentos, por onde passa a suspensão. A lama mais concentrada é retirada no fundo do equipamento onde há um sistema de vibração no lugar dos raspadores



convencionais. A presença das lamelas melhora a região de compactação, no entanto, esse sedimentador é mais instável.



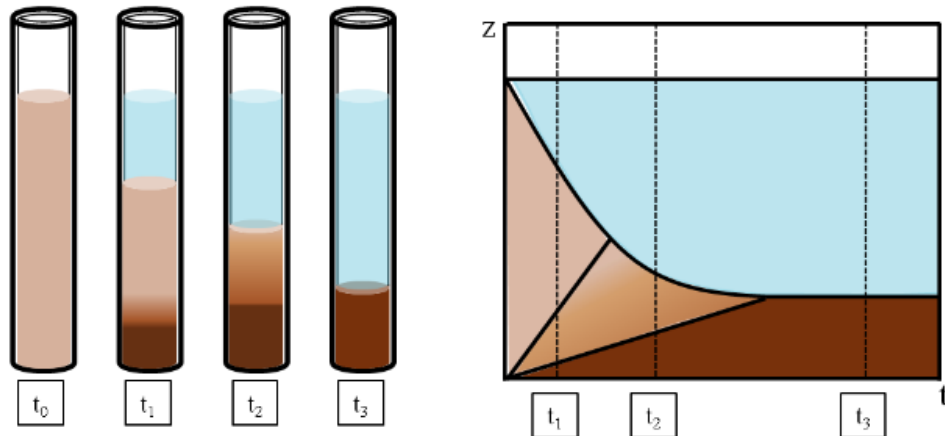
Fonte: Cremasco (2012).

Devido à grande importância da operação unitária de sedimentação tem-se um crescente interesse em se estudar sobre o processo, buscando formas de otimizá-lo. Para isso, é necessário que os sedimentadores sejam bem dimensionados para atenderem às demandas de operação. Com isso, deve-se calcular a área e a altura do equipamento para a realização do projeto de um sedimentador (TORQUATO, 2008).

### 2.3. Projeto de sedimentadores

Segundo Nunes (2008), Coe e Cleverger (1916) analisaram a sedimentação em provetas propondo a metodologia para o dimensionamento de sedimentadores por meio do experimento em batelada. Posteriormente, Kynch (1952) descreveu o processo de sedimentação em batelada de forma simplificada levando em consideração as regiões de líquido clarificado, de sedimentação livre e de compactação, conforme a Figura 4. Assim, com os dados para os experimentos em proveta pôde-se realizar o projeto para sedimentadores contínuos.

Figura 4 – Curva de sedimentação com as regiões do processo representadas.



Fonte: Moreira (2014).

Segundo Silva (2022), a curva de sedimentação pode ser construída a partir da leitura de imagens, obtidas ao longo do experimento, por um algoritmo. Dessa forma, a observação da sedimentação é facilitada com a criação de um programa que, a partir da filmagem do experimento, converte o vídeo em frames, os quais são convertidos para uma escala de cinza, podendo-se com isso transformar os pixels em centímetros para a construção da curva de sedimentação.

#### 2.4. Carbonato de cálcio

O carbonato de cálcio é um sólido de baixo custo e de fácil disponibilidade, sendo um bom material para a realização de práticas de sedimentação. Ele está presente em grandes quantidades em algumas rochas como a pedra calcária e possui diversas aplicações como na produção de medicamentos e na correção do pH do solo (AROUCA, 2007).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

Para os testes de sedimentação foi utilizado o carbonato de cálcio, da marca Vetec Química Fina Ltda., como material para sedimentação e água destilada como meio líquido. Para melhor visualização do processo, foram adicionadas 20 gotas de azul de metileno na água.

A unidade experimental, já em utilização na disciplina de Laboratório de Engenharia Química II, foi composta por uma proveta de 1000 mL na qual parte da suspensão foi inserida, após ser preparada para uma determinada concentração em um balão volumétrico de 1000 mL. A proveta teve parte de sua área lateral coberta por um papel escuro, para melhor visualização da sedimentação, e foi posicionada na parte interna de uma caixa de madeira, a qual foi fechada para o controle da iluminação promovida pela existência de uma lâmpada no seu interior. Após ajuste da posição, uma câmera foi colocada em um orifício da caixa com a finalidade de se obter as imagens necessárias para obtenção dos pontos de altura da sedimentação ao longo do tempo para a construção da curva de sedimentação. Os detalhes da proveta e da unidade experimental podem ser observados nas Figuras 5 a 7.

Figura 5 – Proveta utilizada para os testes.



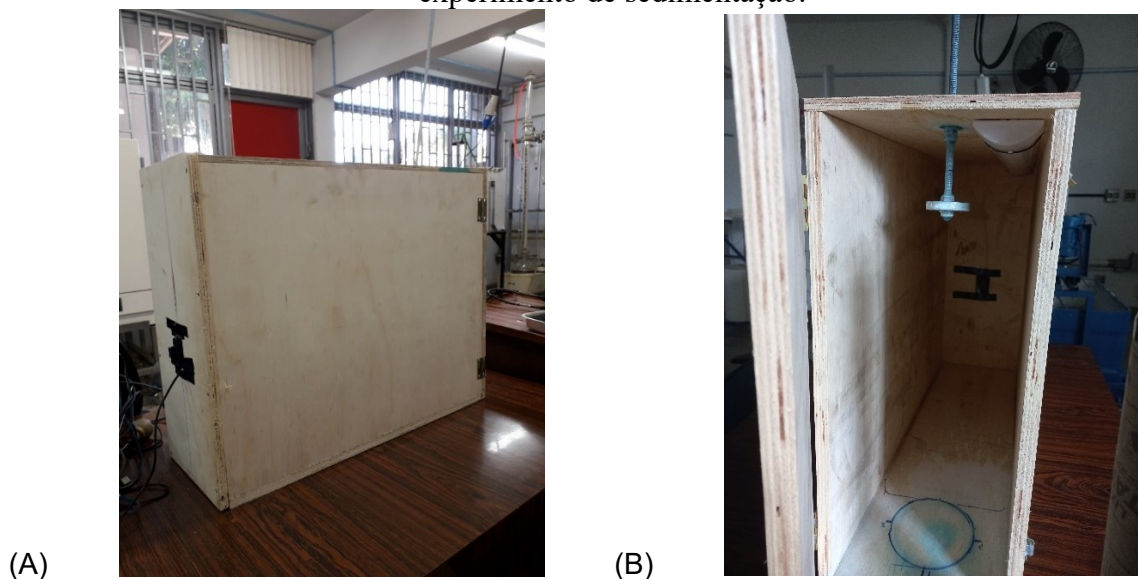
Fonte: O autor.

Figura 6 – Unidade experimental de sedimentação.



Fonte: O autor.

Figura 7 – Vista externa (A) e interna (B) da caixa para controle da iluminação durante o experimento de sedimentação.



Fonte: O autor.

Com a unidade pronta, a suspensão foi agitada, utilizando uma haste no topo da caixa e a gravação foi iniciada.

Por meio da filmagem, foi possível utilizar o programa apresentado no Anexo A, desenvolvido por Silva (2022), para a construção da curva de sedimentação necessária para a coleta de dados.

A partir dos dados obtidos pela curva de sedimentação, o projeto de um sedimentador do tipo Dorr-Oliver pôde ser realizado utilizando o método de Kynch (1952) apud França e Massarani (2018) para o cálculo das dimensões do equipamento.

A altura mínima da suspensão foi calculada pela Equação 1.

$$z_{min} = \frac{C_a z_0}{C_L} \quad (1)$$

sendo que:

$z_{min}$ : Altura mínima que a suspensão ocuparia em determinada concentração;

$C_a$ : Concentração mássica da alimentação;

$z_0$ : Altura inicial da suspensão;

$C_L$ : Concentração mássica da lama.

A razão mínima entre a vazão de alimentação e a área do sedimentador foi calculada pela Equação 2.

$$\left(\frac{F}{A}\right)_{min} = \frac{z_0}{\theta_{min}} \quad (2)$$

sendo que:

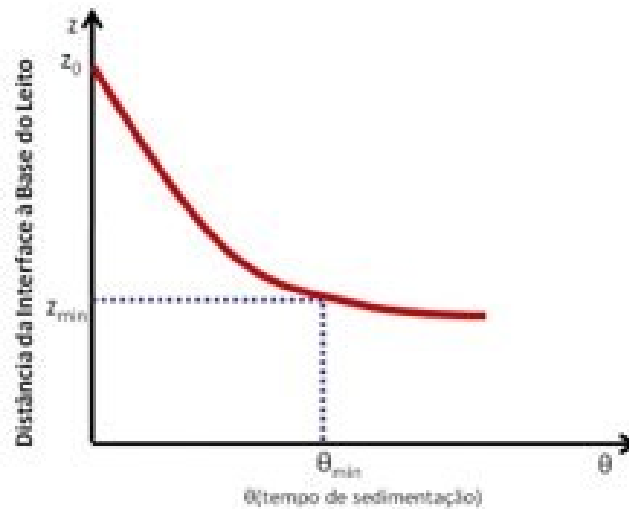
$F$ : Vazão volumétrica de alimentação;

$A$ : Área do sedimentador;

$\theta_{min}$ : Tempo de sedimentação para atingir  $z_{min}$ .

A Figura 8 apresenta um esquema de uma curva de sedimentação com os valores de  $z_{min}$  e  $\theta_{min}$  representados na curva.

Figura 8 – Curva de sedimentação com os parâmetros estabelecidos por Kynch.



Fonte: Barrozo (2022).

O diâmetro do sedimentador foi obtido substituindo o valor da área encontrada pela Equação 2, multiplicada por um fator de segurança de 10%, na Equação 3.

$$1,1A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (3)$$

sendo que:

$D$ : Diâmetro do sedimentador.

A altura total do sedimentador pôde ser calculada pela Equação 4, segundo Pavlov et al. (1981, apud FRANÇA e MASSARANI, 2018).

$$H = H_1 + H_2 + H_c \quad (4)$$

sendo que:

$H$ : Altura total do sedimentador;

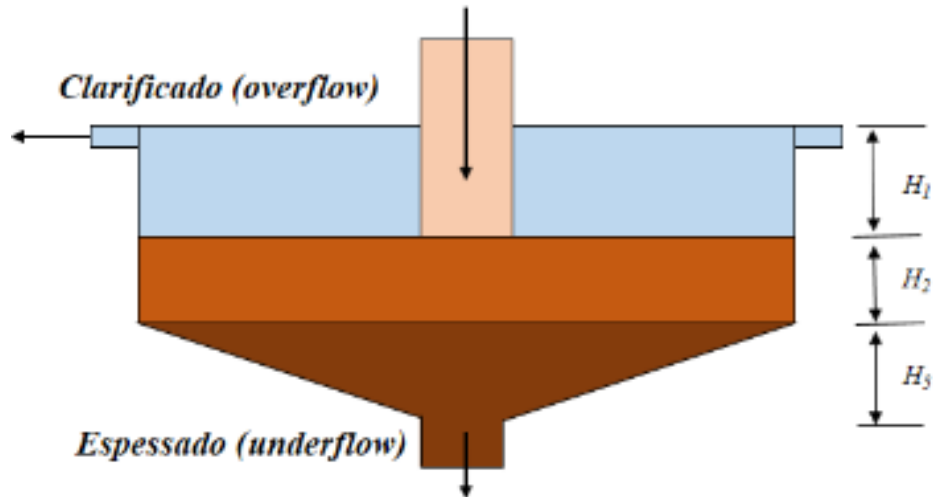
$H_1$ : Altura das regiões clarificada e de concentração constante do sedimentador;

$H_2$ : Altura do fundo do sedimentador;

$H_c$ : Altura da região de compactação do sedimentador;

Na figura 9 está apresentada a altura total do sedimentador com as alturas de cada região do equipamento.

Figura 9 – Esquema de um sedimentador e as alturas das suas diferentes regiões.



Fonte: Araújo et al. (2019)

A altura das regiões clarificada e de concentração constante foi adotada como 0,6 m. A altura do fundo do sedimentador pôde ser calculada pela Equação 5.

$$H_2 = 0,146R \quad (5)$$

sendo que:

$R$ : Raio do sedimentador.

A Equação 6 foi usada para calcular a altura da região de compactação.

$$H_c = \frac{4}{3} \frac{F C_a^* t}{A} \left( \frac{\rho_s - \rho}{\rho_L - \rho} \right) \quad (6)$$

sendo que:

$C_a^*$ : Concentração molar da alimentação;

$t$ : Tempo de residência da região de compactação

$\rho$ : Densidade do líquido;

$\rho_L$ : Densidade do lodo;

$\rho_s$ : Densidade do sólido.

A concentração molar de sólidos na alimentação pôde ser obtida pela Equação 7.

$$C_a^* = \frac{c_a}{\rho_s} \quad (7)$$

A densidade da lama foi calculada pela Equação 8.

$$\rho_L = \frac{(m_s + (V_s - \frac{m_s}{\rho_s})\rho)}{V_s} \quad (8)$$

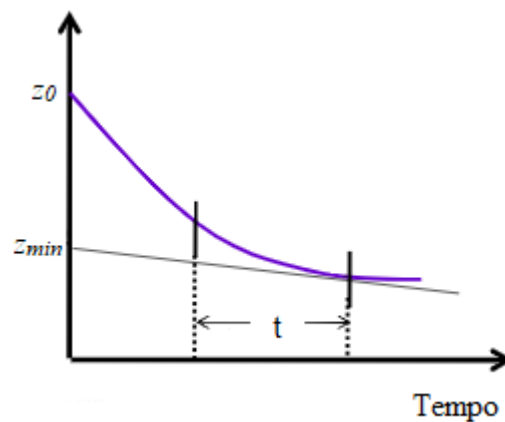
sendo que:

$m_s$ : Massa de sólido;

$V_s$ : Volume de sólido.

O tempo de residência da região de compactação pôde ser obtido a partir da curva de sedimentação, sendo a diferença entre o tempo no qual a reta que passa pelo  $z_{min}$  tangencia a curva de sedimentação e o tempo em que a velocidade de sedimentação da partícula deixa de ser constante, conforme a Figura 10.

Figura 10 – Tempo de residência da região de compactação.



Fonte: Adaptada de Barrozo (2022).



Para a obtenção dos resultados, foram utilizados alguns valores pré-definidos, os quais são os mesmos utilizados na disciplina de Laboratório de Engenharia Química II. A Tabela 1 apresenta os valores utilizados de concentração mássica de lama, densidade do sólido e vazão de alimentação da suspensão.

Tabela 1 - Valores utilizados para o cálculo das dimensões de projeto do sedimentador.

$C_L$ (g/mL)	$F$ (m <sup>3</sup> /h)	$\rho_s$ (g/mL)
0,10	30,00	2,46

O procedimento foi realizado em triplicata e repetido para diferentes valores de concentração de sólido (15, 20 e 25 g/L) e de volume de suspensão (600, 800 e 1000 mL). Como o tempo de sedimentação depende da concentração da suspensão, o tempo de filmagem dos experimentos foi de 25 minutos para a concentração de 15 g/L, 30 minutos para a concentração de 20 g/L e 45 minutos para a concentração de 25 g/L.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

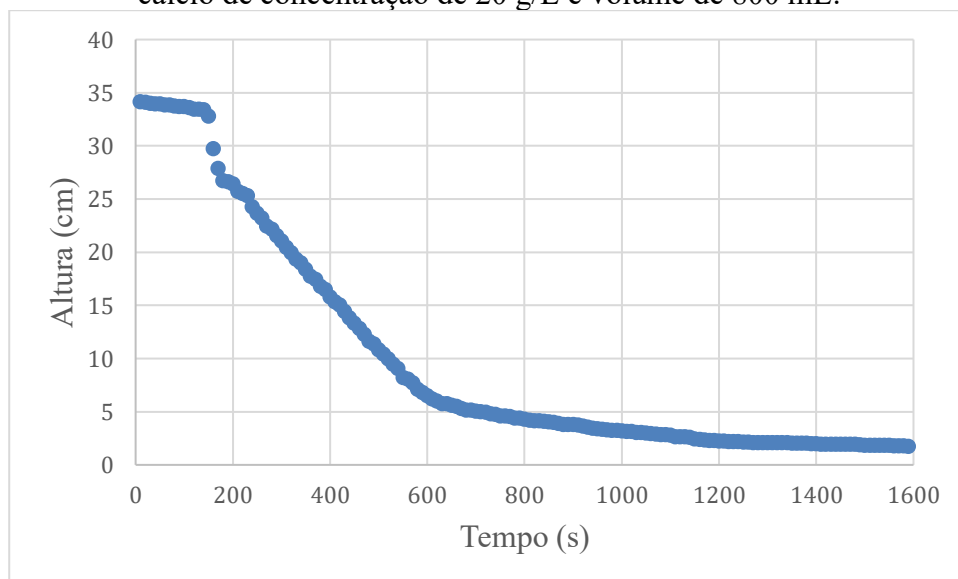
Os valores médios das dimensões, diâmetro e altura dos sedimentadores, e seus respectivos desvios padrões ( $\sigma$ ) obtidos experimentalmente para a suspensão de carbonato de cálcio e água em diferentes concentrações e volumes são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores de diâmetro e altura calculados utilizando diferentes volumes de suspensão para o projeto de sedimentadores operando em diferentes concentrações.

$C$ (g/L)	15			20			25		
$V$ (mL)	600	800	1000	600	800	1000	600	800	1000
$D$ (m)	4,04	4,19	5,65	5,06	4,51	5,71	6,66	7,36	7,26
$\sigma_D$ (m)	0,072	0,049	0,16	0,55	0,13	0,29	0,61	0,60	0,071
$H$ (m)	0,91	0,94	1,05	1,02	1,00	1,07	1,17	1,23	1,24
$\sigma_H$ (m)	0,0092	0,015	0,0091	0,040	0,030	0,024	0,038	0,033	0,013

A partir dos valores calculados, foi possível encontrar as dimensões de projeto dos sedimentadores desejados utilizando as curvas de sedimentação obtidas experimentalmente. A Figura 11 apresenta a curva de sedimentação obtida para um dos experimentos realizados com 800 mL de suspensão com 20 g/L de carbonato de cálcio. As demais curvas obtidas se encontram no Apêndice A.

Figura 11 – Curva de sedimentação obtida experimentalmente para suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 20 g/L e volume de 800 mL.



Pela análise dos resultados apresentados na Tabela 1, foi possível perceber que o desvio entre os valores encontrados para a suspensão de concentração de 15 g/L foi menor

do que os demais, podendo-se inferir que a reprodutibilidade desses experimentos nessa concentração é melhor. No entanto, isso pode estar relacionado com o fato de que a homogeneização após o assentamento das partículas sólidas é mais difícil em concentrações maiores, fator que pode afetar a distribuição uniforme das partículas em suspensão no início do experimento. O maior desvio foi observado no terceiro experimento das triplicatas, indicando que a dificuldade de homogeneização pode ter sido um fator importante.

Conforme a Tabela 1, com o aumento da concentração, o tamanho do diâmetro e da altura necessários para o sedimentador aumentou, o que era esperado, pois, com o aumento da concentração, a interação entre as partículas diminui a velocidade terminal das mesmas e aumenta o tempo necessário para a sedimentação, sendo necessário um diâmetro e altura maiores para diminuir esse efeito, atendendo ao tempo do processo, considerando a capacidade do sedimentador.

Outro comportamento observado foi o aumento do tempo de sedimentação com o aumento do volume da suspensão. A Tabela 3 apresenta os valores de tempo de residência na região de compactação dos experimentos realizados e os seus desvios padrões.

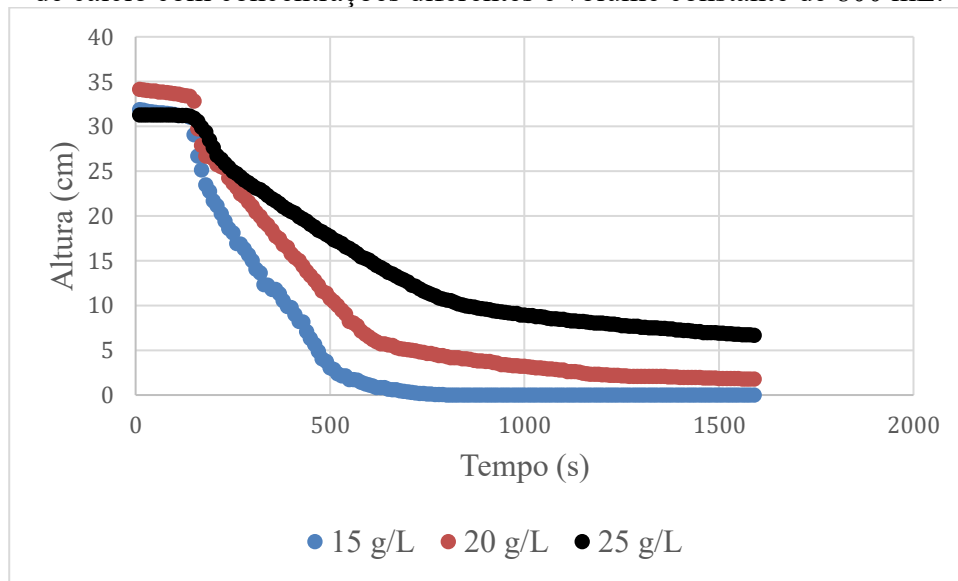
Tabela 3 – Tempos de residência calculados utilizando diferentes volumes de suspensão para o projeto de sedimentadores operando em diferentes concentrações.

<b>C (g/L)</b>	15			20			25		
<b>V (mL)</b>	600	800	1000	600	800	1000	600	800	1000
<b>t (min)</b>	2,42	4,48	10,55	7,28	9,15	11,28	17,16	23,54	28,61
<b><math>\sigma</math> (min)</b>	0,62	1,73	0,44	2,41	3,02	1,67	1,83	1,05	2,61

Durante a realização do experimento foram encontradas algumas dificuldades para a obtenção das imagens para os experimentos com o volume de suspensão de 1000 mL, devido à proximidade da lâmpada com o topo da proveta, gerando reflexo na região da altura inicial.

Também, foi possível perceber que para os experimentos com menor concentração, houve maiores erros na captura de imagens, visto que alguns experimentos tiveram que ser repetidos devido ao fato de que as imagens não puderam ser lidas corretamente. Isso pode estar relacionado com o fato de que as zonas de sedimentação são mais visíveis com uma concentração maior de sólidos, como mostrado na Figura 12.

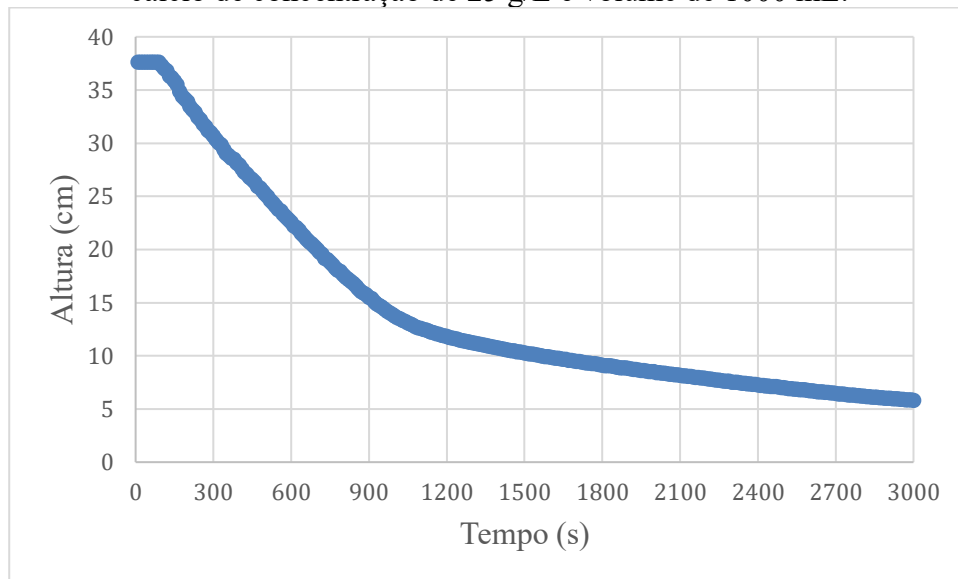
Figura 12: Curvas de sedimentação obtidas experimentalmente para suspensão de carbonato de cálcio com concentrações diferentes e volume constante de 800 mL.



A partir dos resultados obtidos pelos experimentos realizados e tendo em consideração as aulas da disciplina de Laboratório de Engenharia Química II, pôde-se avaliar que a utilização de uma suspensão de 25 g/L de carbonato de cálcio em água não é aconselhável, devido a fatores como o grande tempo de sedimentação, que dificulta a realização da prática que ocorre em tempo limitado, e a dificuldade de se obter uma mistura homogênea. Além disso, evita-se o desperdício desnecessário do material do laboratório.

A utilização de uma suspensão de volume de 1000 mL também não foi aconselhável para a prática devido às dificuldades de posicionar a proveta de forma a não gerar reflexos que possam atrapalhar a captura das imagens para a obtenção dos dados. Além disso, a utilização da proveta em sua capacidade máxima pode provocar o derramamento de parte da suspensão durante o experimento. O tempo também foi um fator importante quando se utilizou esse volume, já que uma maior quantidade de suspensão levou a um maior tempo de sedimentação e uma difícil leitura do tempo de residência na região de compactação, devido aos valores obtidos de altura não terem chegado a um valor constante ao final do experimento, como mostrado na Figura 13, indicando que mesmo esperando um tempo maior que os outros experimentos, a compactação dos sedimentos ainda não havia sido totalmente finalizada.

Figura 13: Curva de sedimentação obtida experimentalmente para suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 25 g/L e volume de 1000 mL.



No entanto, trabalhar com experimentos com concentração maior teve vantagens como a maior facilidade de se coletar os dados experimentais devido à melhor visualização da sedimentação e da determinação do tempo de residência da região de compactação devido ao maior tempo de sedimentação que facilita a leitura desse valor no gráfico, fator que também foi observado nos experimentos com volumes maiores.

Dessa forma, a utilização de uma suspensão de 20 g/L de carbonato de cálcio de volume de 800 mL foi considerada a melhor opção para a realização dos experimentos em laboratório para a realização de projetos de sedimentadores, visto que nessas condições uma menor quantidade de problemas foi observada na realização dos experimentos, além de ter possibilitado uma coleta e análise mais fácil dos dados. Nessas condições o sedimentador desejado precisou de uma altura total de 1,00 m e diâmetro de 4,51 m e o tempo experimental total para se alcançar uma altura constante na proveta foi de 20 minutos.

## **5. CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

### **5.1. Conclusão**

A partir dos experimentos conduzidos e das análises dos dados coletados apresentados neste trabalho, foi possível realizar o dimensionamento de sedimentadores operando com três diferentes concentrações de carbonato de cálcio em suspensão com água (15, 20 e 25 g/L) utilizando o teste em batelada em uma proveta contendo diferentes volumes de suspensão (600, 800 e 1000 mL).

Os dados obtidos apresentaram comportamento esperado, sendo que o diâmetro e a altura calculados para os sedimentadores desejados aumentaram com o aumento da concentração de sólidos utilizada. Além disso, o aumento da concentração e do volume da suspensão utilizada provocou o aumento do tempo de sedimentação nos experimentos avaliados.

Por fim, pôde-se concluir com os valores obtidos e com os obstáculos enfrentados na realização das práticas que as melhores condições experimentais para a reprodução dessa prática na disciplina de Laboratório de Engenharia Química II foram aquelas realizadas com uma concentração de 20 g/L de carbonato de cálcio em um volume de suspensão de 800 mL, obtendo-se como resultados de projeto um diâmetro de 4,51 m e uma altura de 1,00 m.

### **5.2. Sugestões para trabalhos futuros**

Com o objetivo de melhorar a prática descrita neste trabalho, são propostas algumas sugestões.

Podem ser testadas diferentes posições para a lâmpada dentro da unidade experimental, para avaliar se a iluminação pode melhorar a leitura dos experimentos e se não haverá reflexo em nenhum ponto da proveta.

Além disso, com o objetivo de facilitar a visualização das imagens, pode ser testada a variação da quantidade de gotas de azul de metileno utilizadas na suspensão, visto que o azul de metileno interfere na visualização do experimento, sendo um fator importante para a leitura das imagens.

Outra melhoria sugerida está relacionada com programa utilizado para a construção da curva de sedimentação, já que podem ser realizados testes para se encontrar os melhores valores na escala de cinza nos quais o programa consiga identificar com maior precisão a interface do líquido clarificado durante a sedimentação, obtendo uma melhor curva de sedimentação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, T. **Análise de componentes principais aplicada a avaliação de atributos de agregados na separação sólido líquido**. 2020. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro/SP, 2020.

ANDRADE, P. C.; VALADÃO, G. E. S. Planejamento experimental aplicado à sedimentação de lamas fosfáticas. **HOLOS**, [S. l.], v. 6, p. 201–216, 2017.

ARAÚJO F. et al. Modelagem e dimensionamento de sedimentadores contínuos via suspensões flocculentas de caulim. In: **Anais do XXXIX Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados**. Galoá, 2019.

AROUCA, F. O. **Uma Contribuição ao Estudo da Sedimentação Gravitacional em Batelada**. Tese de Doutorado, 286 páginas, PPG-EQ/UFU, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil, 2007.

BARROZO, M. A. S. **Cap. VI – Sedimentação**. Uberlândia, 2021. Notas de aula.

CREMASCO, M. A. **Operações Unitárias em Sistemas Particulados e Fluidomecânicos**. São Paulo: Editora Blücher, 2012.

FAIM, J. G. P. **Estudo da sedimentação de partículas em fluidos de perfuração aquosos e olefinicos utilizando a atenuação de raios gama**. 2020. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020.

FRANÇA, S. C. A.; CASQUEIRA, R. G. Ensaio de sedimentação. In: **Tratamento de Minérios: práticas laboratoriais**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI. p. 393-408, 2007.

FRANÇA, S. C. A.; MASSARANI, G. Separação sólido-líquido. In: **Tratamento de minérios**. 6.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC. Cap.14, p.597-647, 2018.

FOUST, A. **Princípios das Operações Unitárias**, 2ª ed. Editora LTC, 1982.

GUIMARÃES, F. A. V. **Revisão nos métodos de dimensionamento de espessadores e comparação dos modelos industriais**. Tese de mestrado submetida ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas da UFMG, Belo Horizonte-MG, 2010.

MOREIRA, B. A. **Estudo da sedimentação em suspensões de fluido com características reológicas pseudoplásticas**. Tese de doutorado, Uberlândia, UFU, 2014.

NUNES, J. F. **Estudo da sedimentação gravitacional de suspensões flocculentas**. 2008. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.



SILVA, P. F. **Readequação da prática de Laboratório de Engenharia Química: projeto de um sedimentador**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2022.

SOUZA, A. S. E. et al. Projeto e construção de um sedimentador em escala de laboratório. In: **Anais do XXXVII Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados - ENEMP 2015**. p. 1267-1275. São Paulo: Blucher, 2015.

TORQUATO, N. C. **Dimensionamento de Espessadores Convencionais Aplicados a Polpas de Minério de Ferro**. Dissertação de Mestrado – UFOP, 2008.

WAGNER, D. P. **Fenomenologia de escoamento de um tanque clarificador: decisões operacionais e de projeto**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2020.

## APÊNDICE A

### CURVAS DE SEDIMENTAÇÃO

Figura A.1 – Curva de sedimentação obtida no primeiro experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 15 g/L e volume de 600 mL.

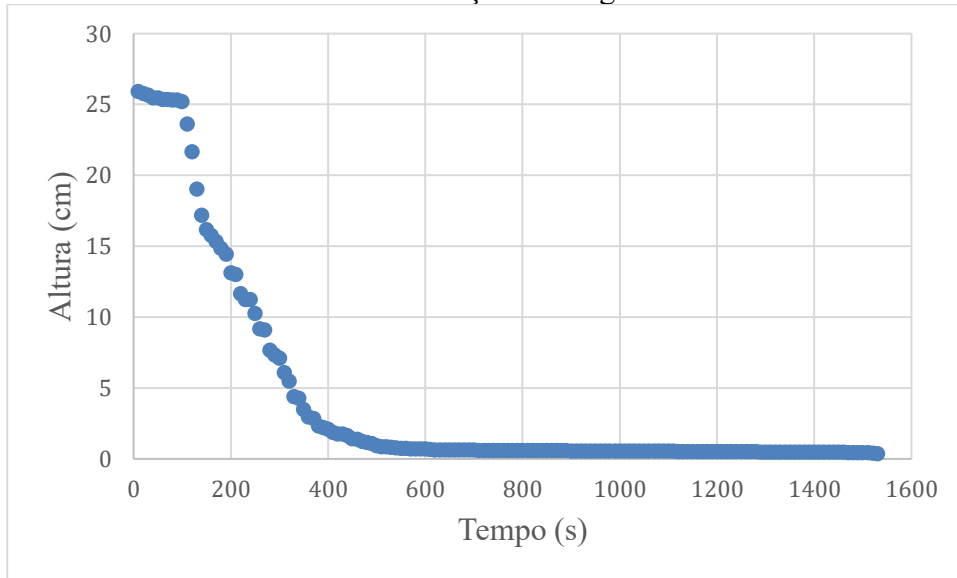


Figura A.2 – Curva de sedimentação obtida no segundo experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 15 g/L e volume de 600 mL.

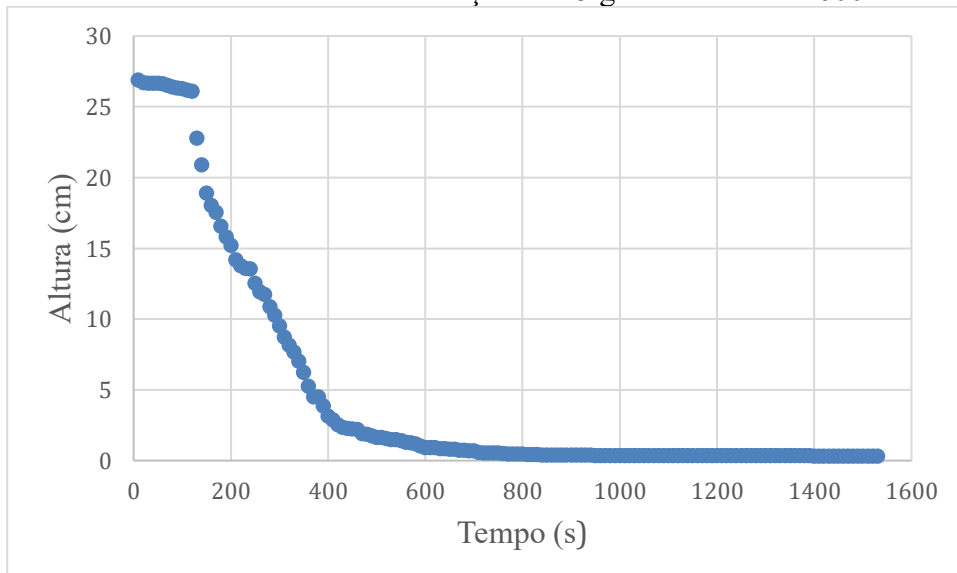


Figura A.3 – Curva de sedimentação obtida no terceiro experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 15 g/L e volume de 600 mL.

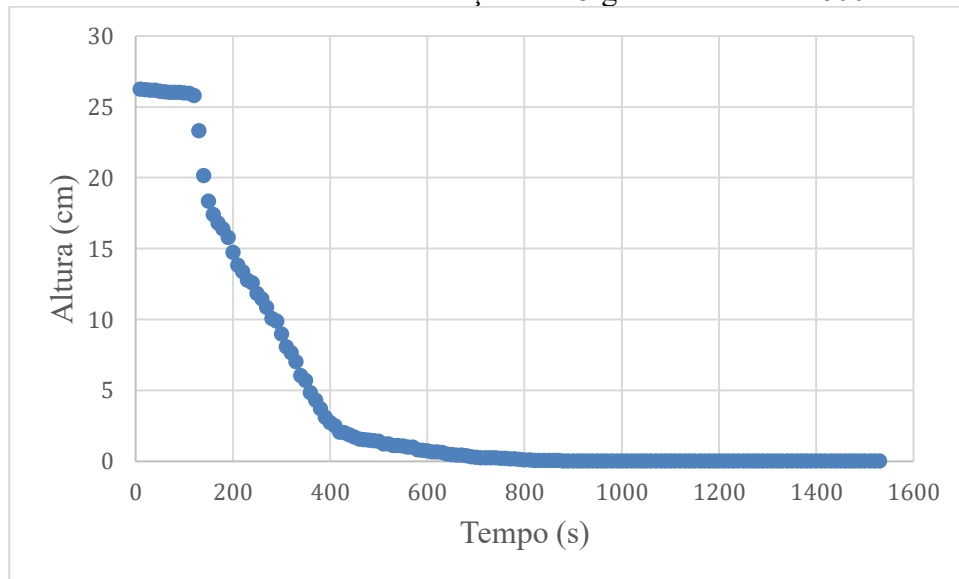


Figura A.4 – Curva de sedimentação obtida no primeiro experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 15 g/L e volume de 800 mL.

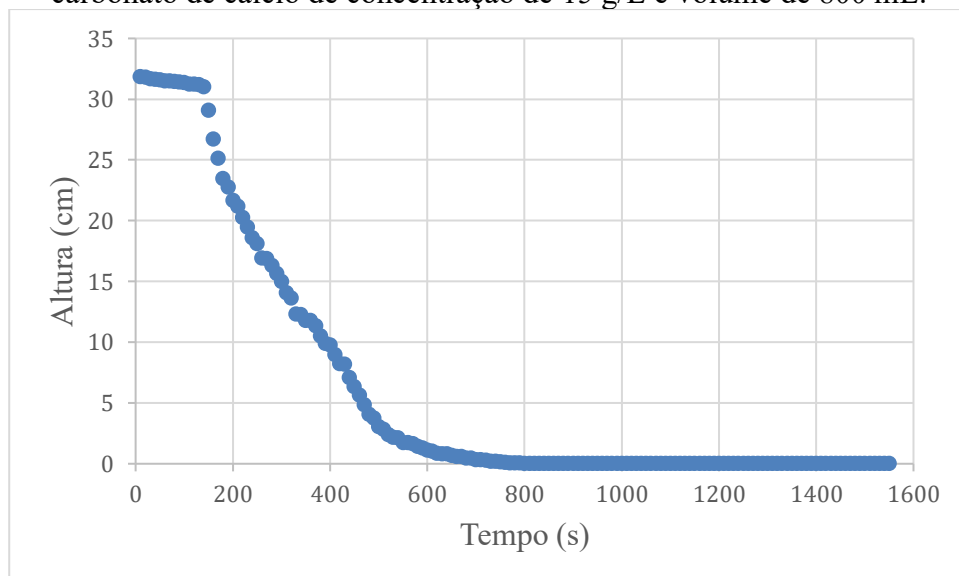


Figura A.5 – Curva de sedimentação obtida no segundo experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 15 g/L e volume de 800 mL.

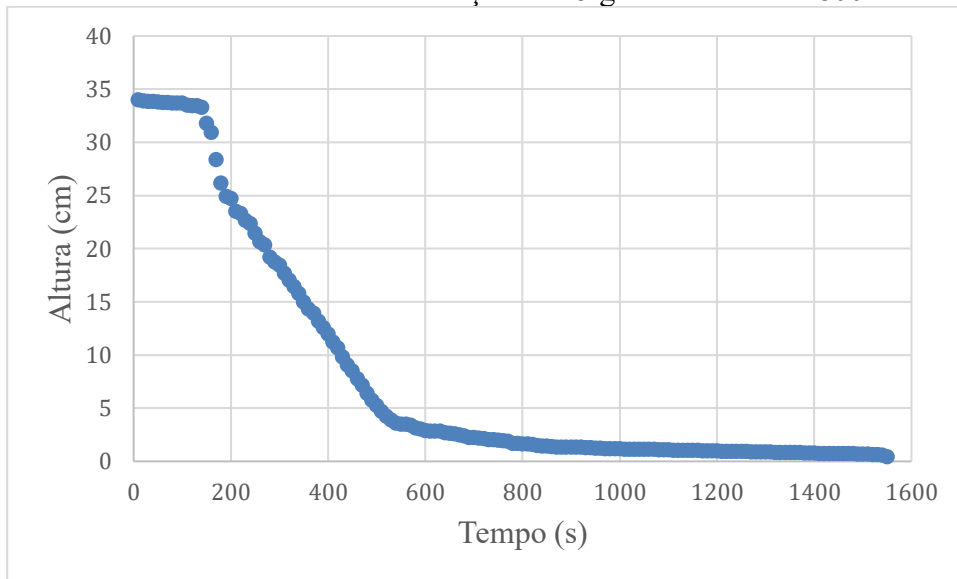


Figura A.6 – Curva de sedimentação obtida no terceiro experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 15 g/L e volume de 800 mL.

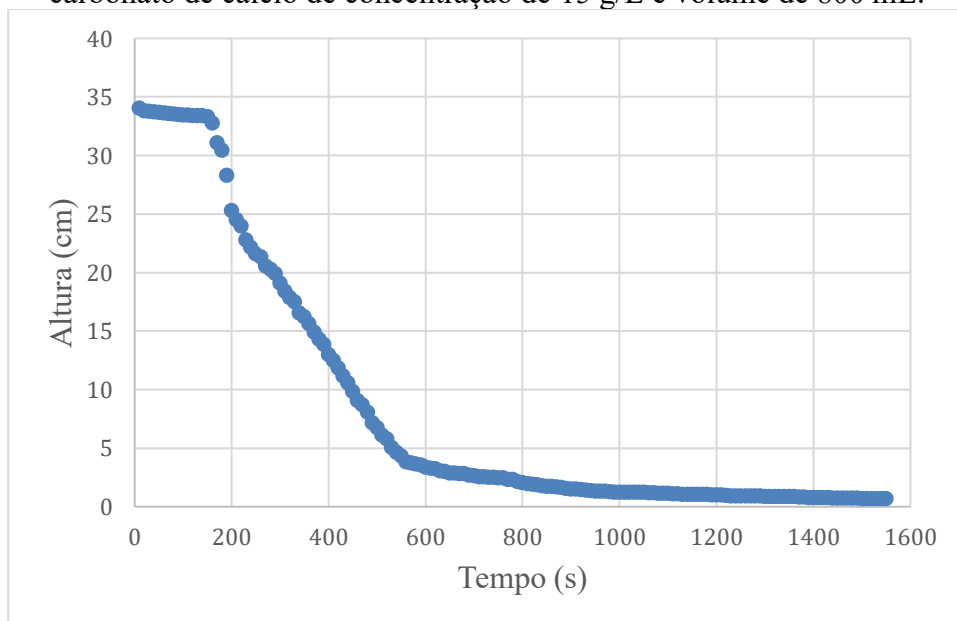


Figura A.7 – Curva de sedimentação obtida no primeiro experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 15 g/L e volume de 1000 mL.

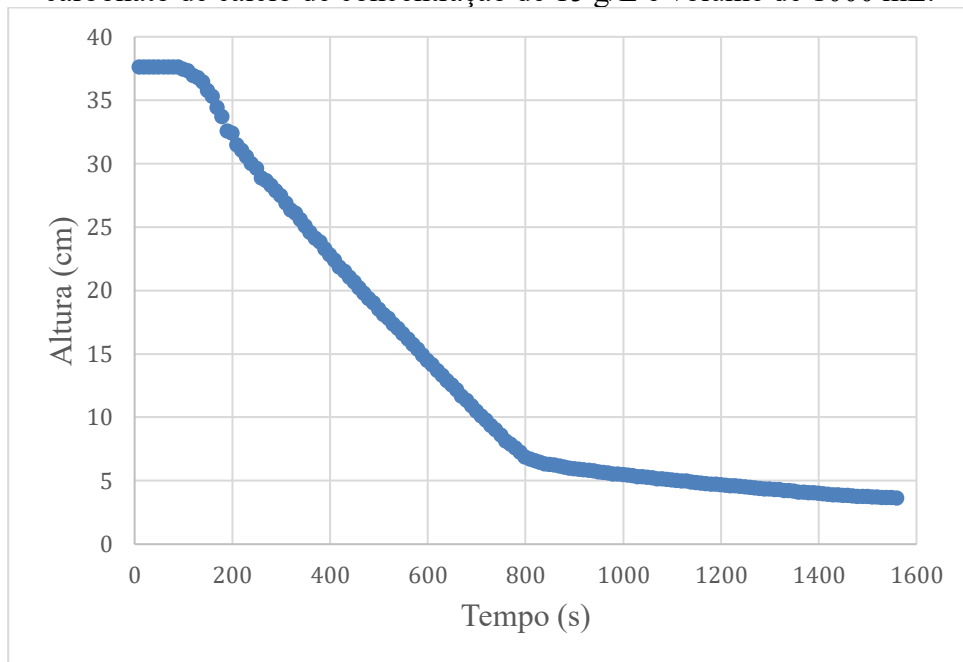


Figura A.8 – Curva de sedimentação obtida no segundo experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 15 g/L e volume de 1000 mL.

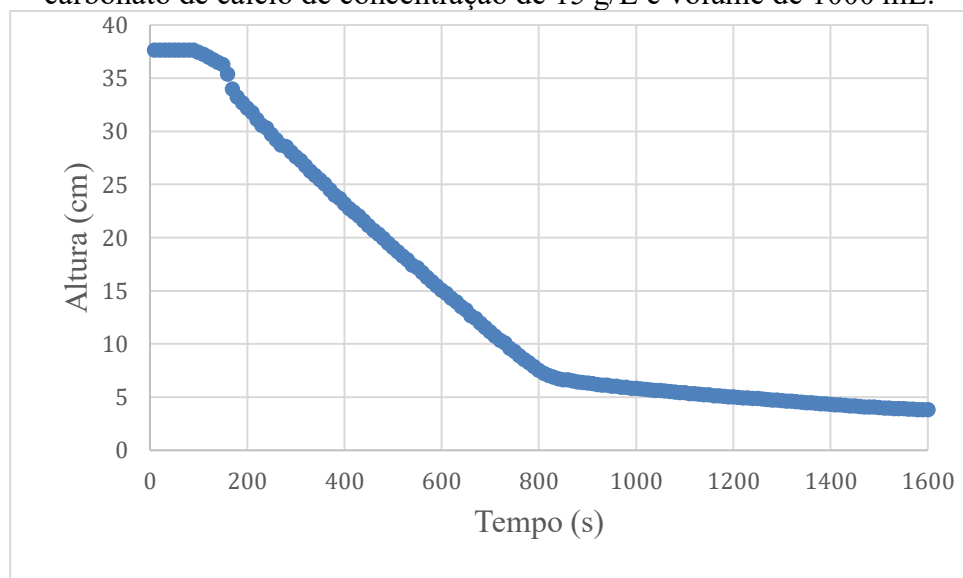


Figura A.9 – Curva de sedimentação obtida no terceiro experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 15 g/L e volume de 1000 mL.

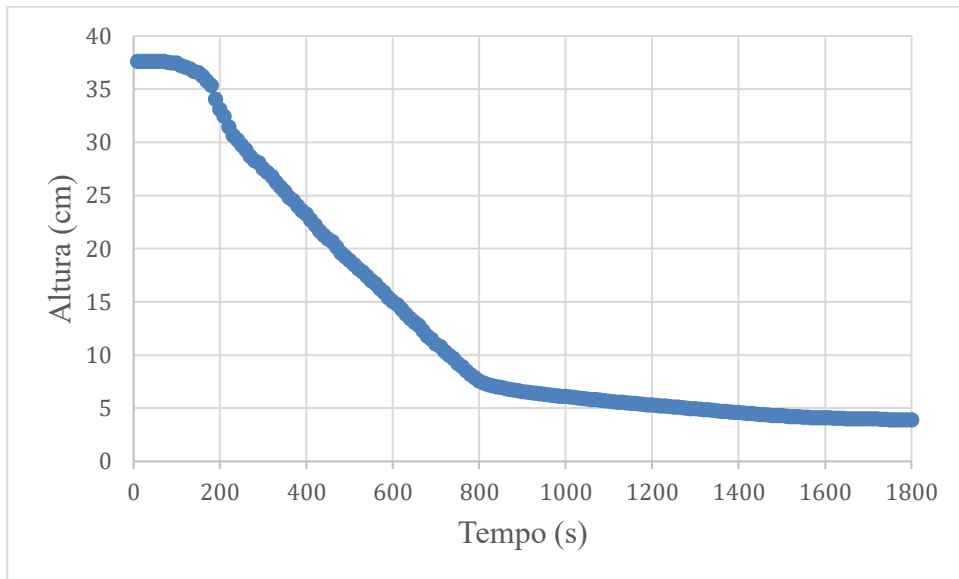


Figura A.10 – Curva de sedimentação obtida no primeiro experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 20 g/L e volume de 600 mL.

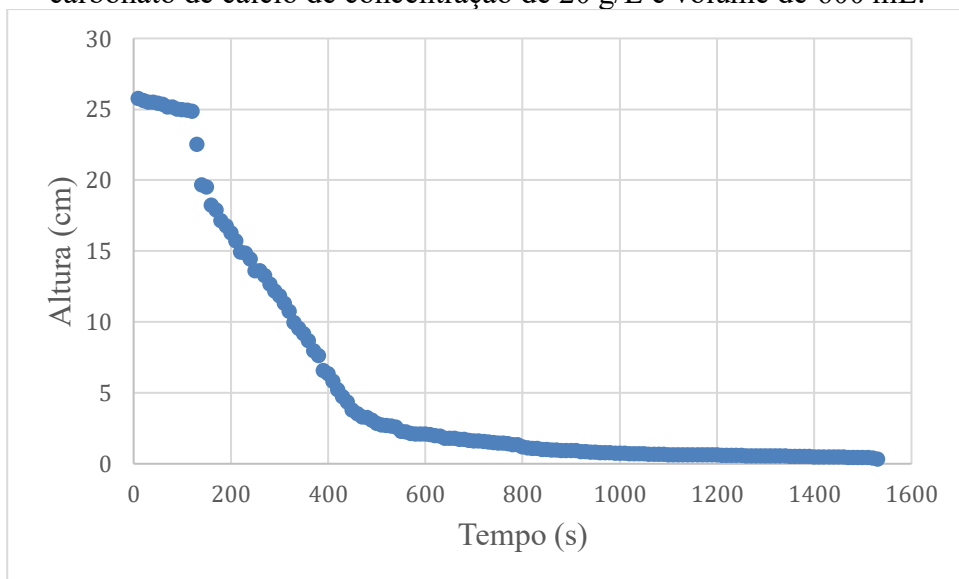


Figura A.11 – Curva de sedimentação obtida no segundo experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 20 g/L e volume de 600 mL.

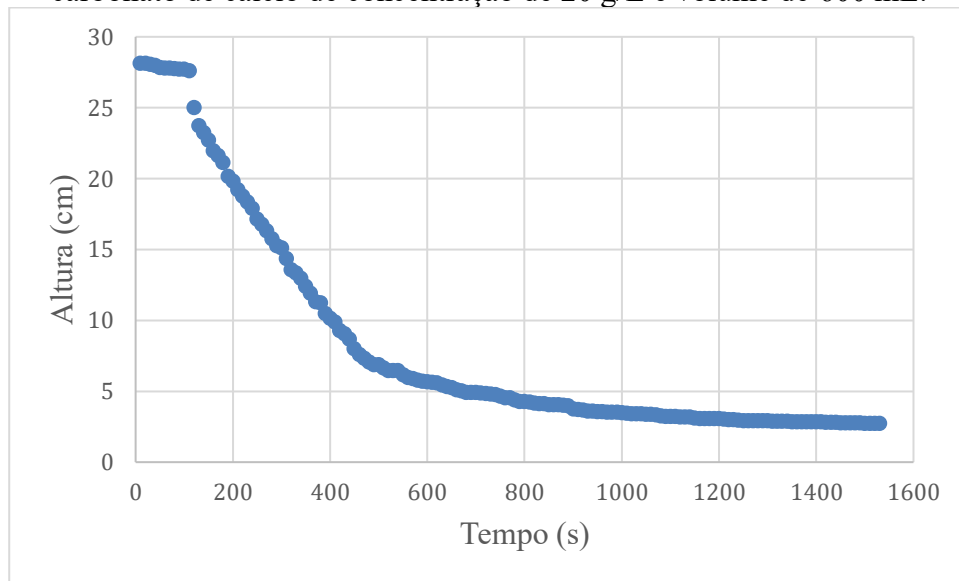


Figura A.12 – Curva de sedimentação obtida no terceiro experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 20 g/L e volume de 600 mL.

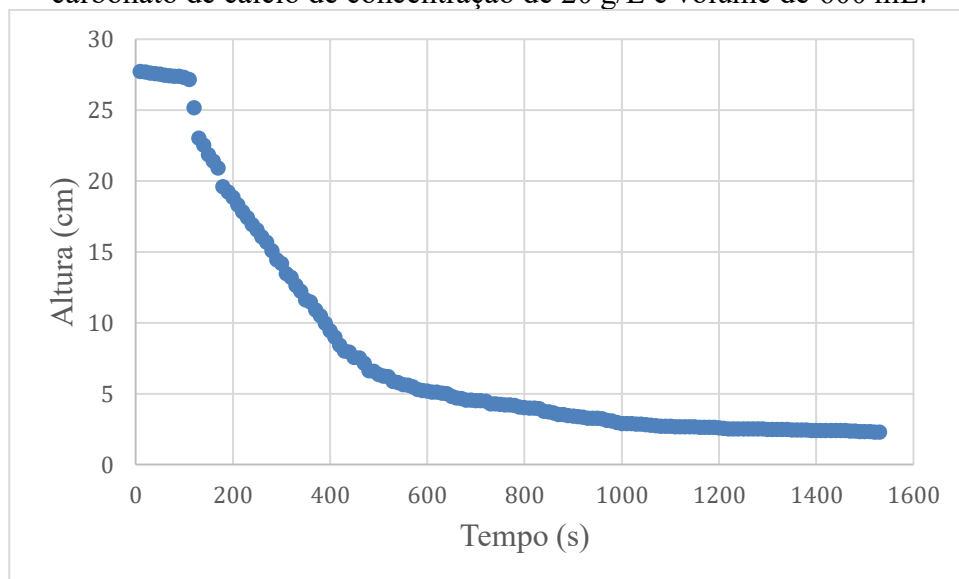


Figura A.13 – Curva de sedimentação obtida no primeiro experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 20 g/L e volume de 800 mL.

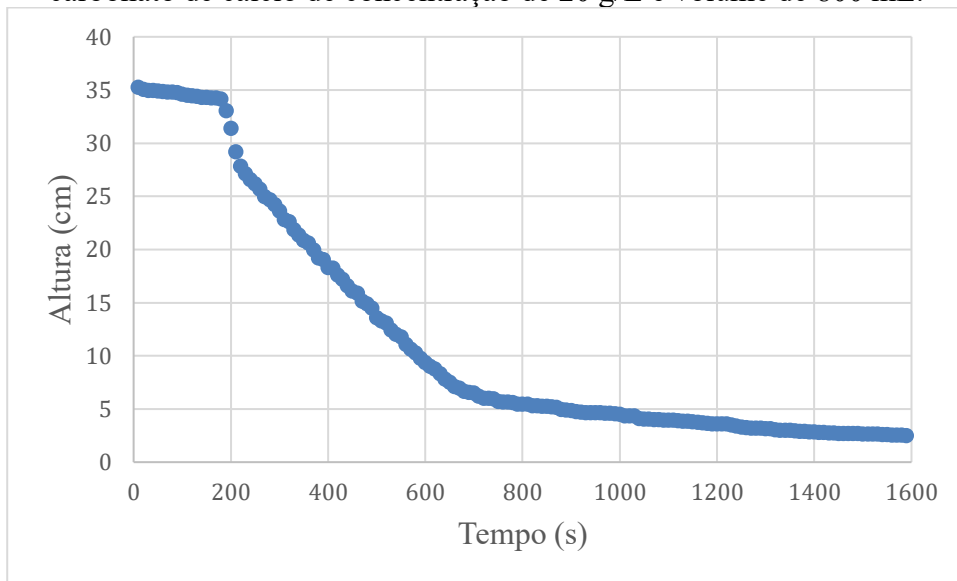


Figura A.14 – Curva de sedimentação obtida no segundo experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 20 g/L e volume de 800 mL.

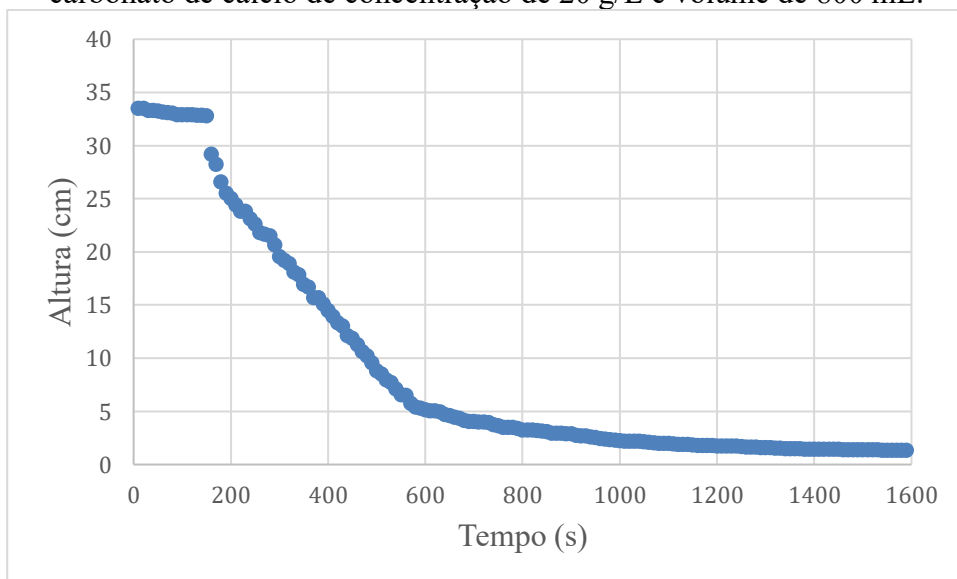




Figura A.15 – Curva de sedimentação obtida no terceiro experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 20 g/L e volume de 800 mL.

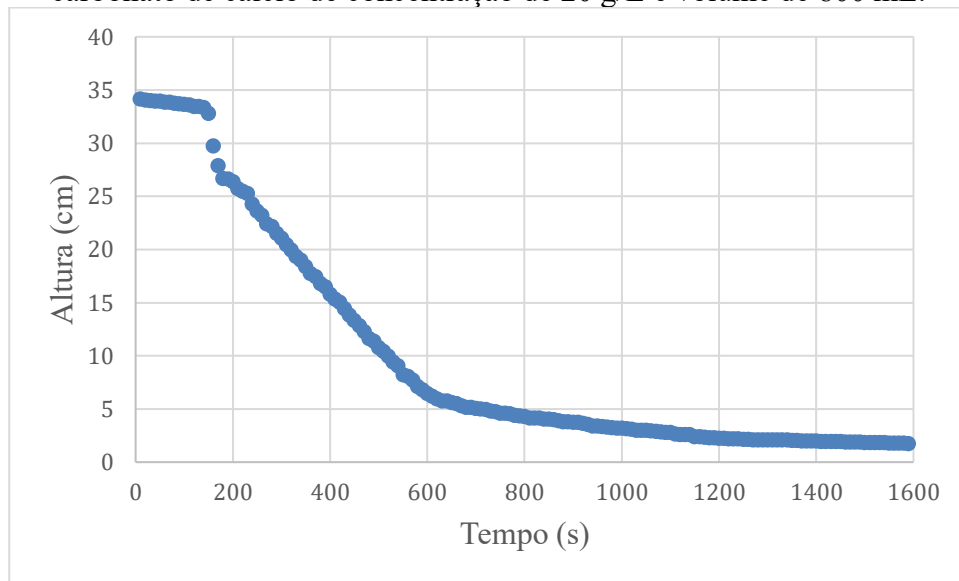


Figura A.16 – Curva de sedimentação obtida no primeiro experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 20 g/L e volume de 1000 mL.

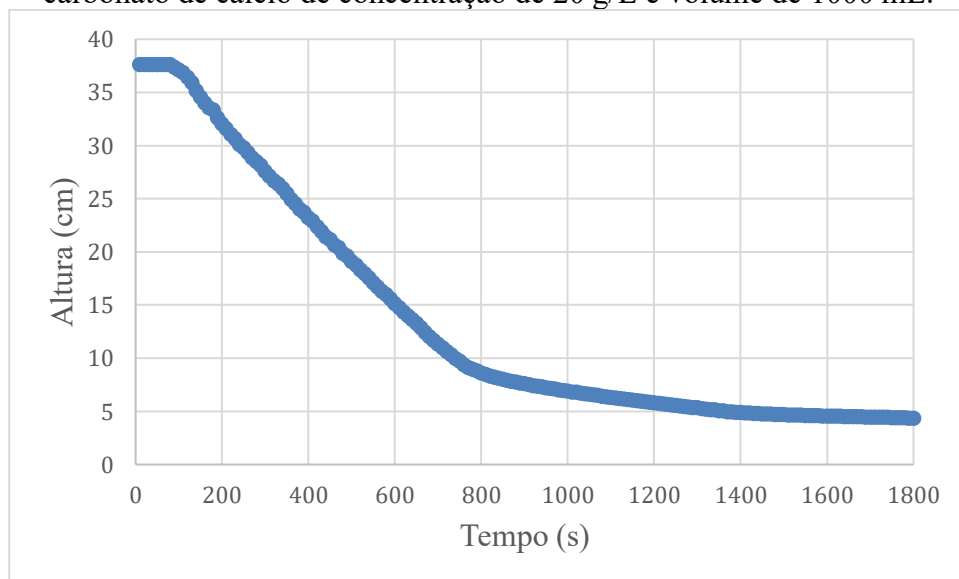


Figura A.17 – Curva de sedimentação obtida no segundo experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 20 g/L e volume de 1000 mL.

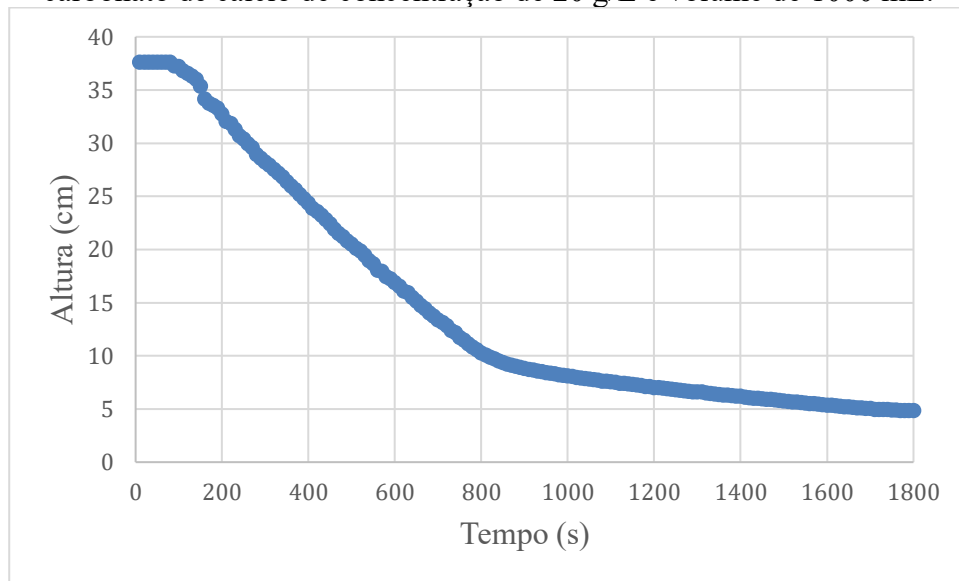


Figura A.18 – Curva de sedimentação obtida no terceiro experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 20 g/L e volume de 1000 mL.

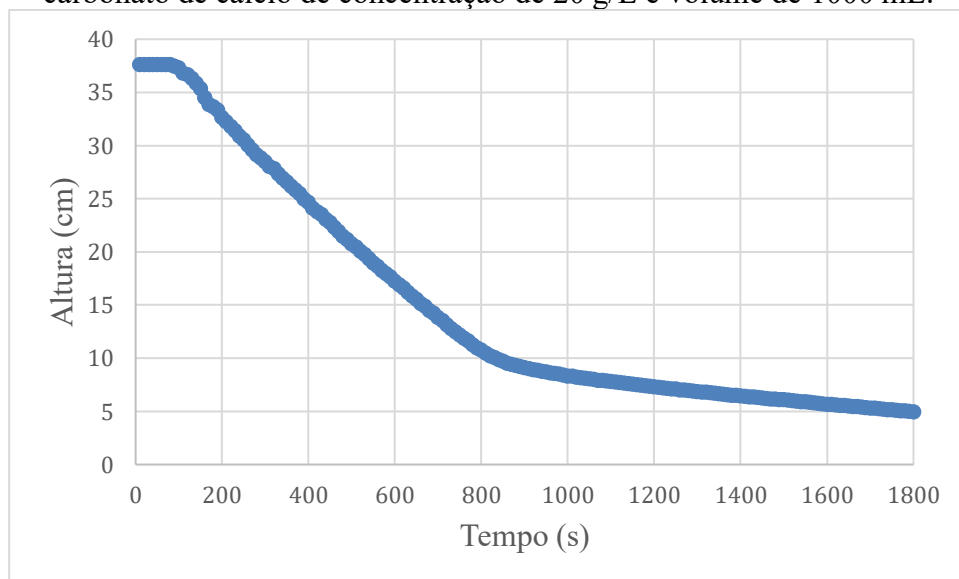


Figura A.19 – Curva de sedimentação obtida no primeiro experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 25 g/L e volume de 600 mL.

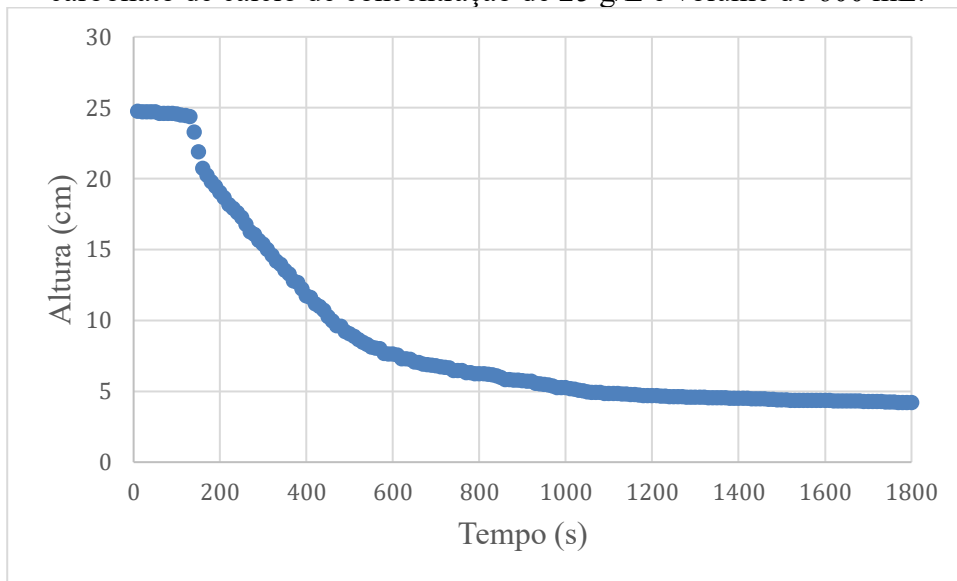


Figura A.20 – Curva de sedimentação obtida no segundo experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 25 g/L e volume de 600 mL.

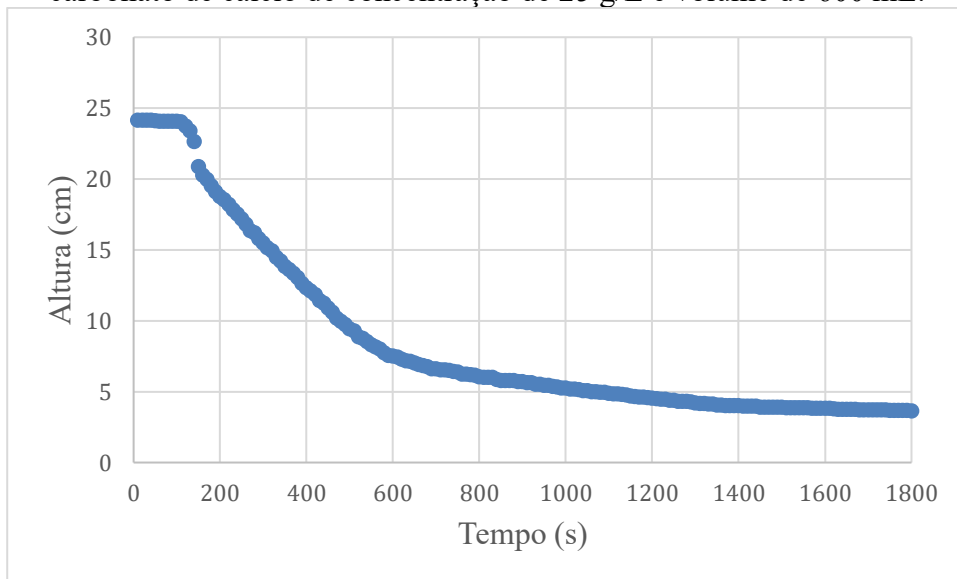


Figura A.21 – Curva de sedimentação obtida no terceiro experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 25 g/L e volume de 600 mL.

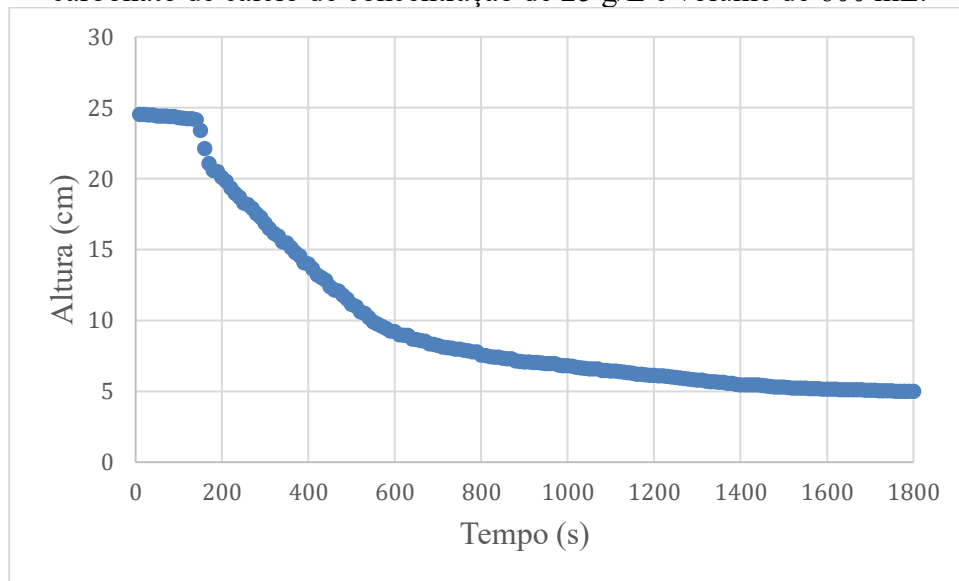


Figura A.22 – Curva de sedimentação obtida no primeiro experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 25 g/L e volume de 800 mL.

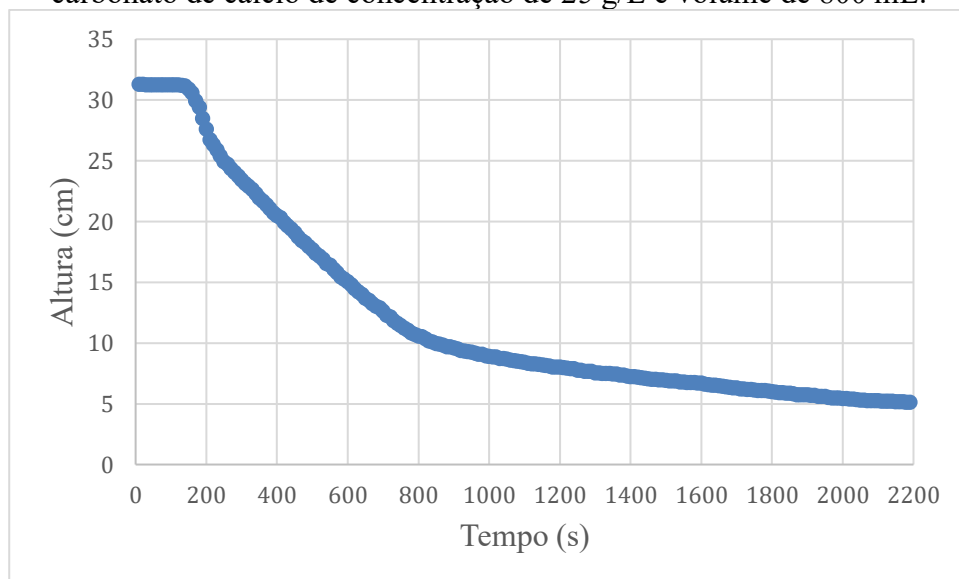


Figura A.23 – Curva de sedimentação obtida no segundo experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 25 g/L e volume de 800 mL.

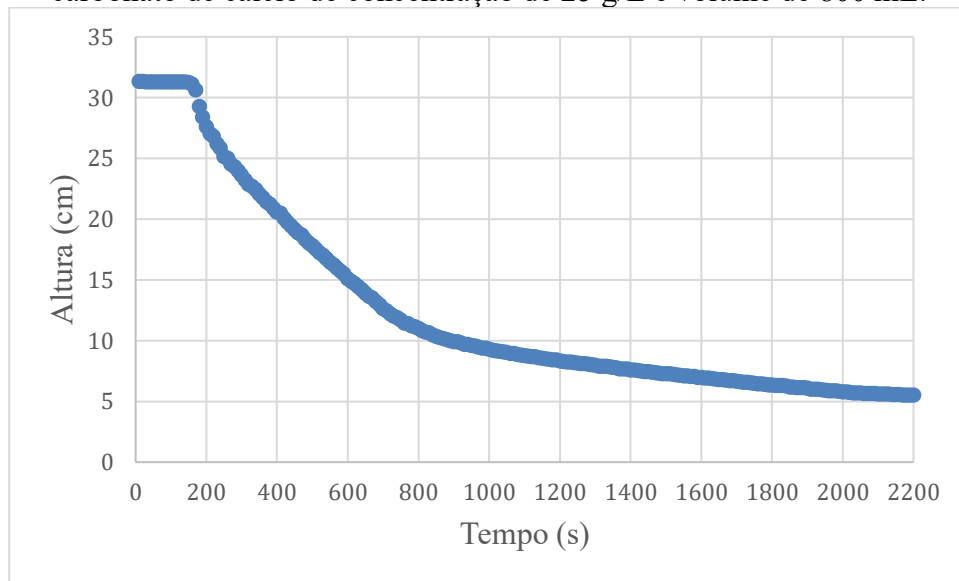


Figura A.24 – Curva de sedimentação obtida no terceiro experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 25 g/L e volume de 800 mL.

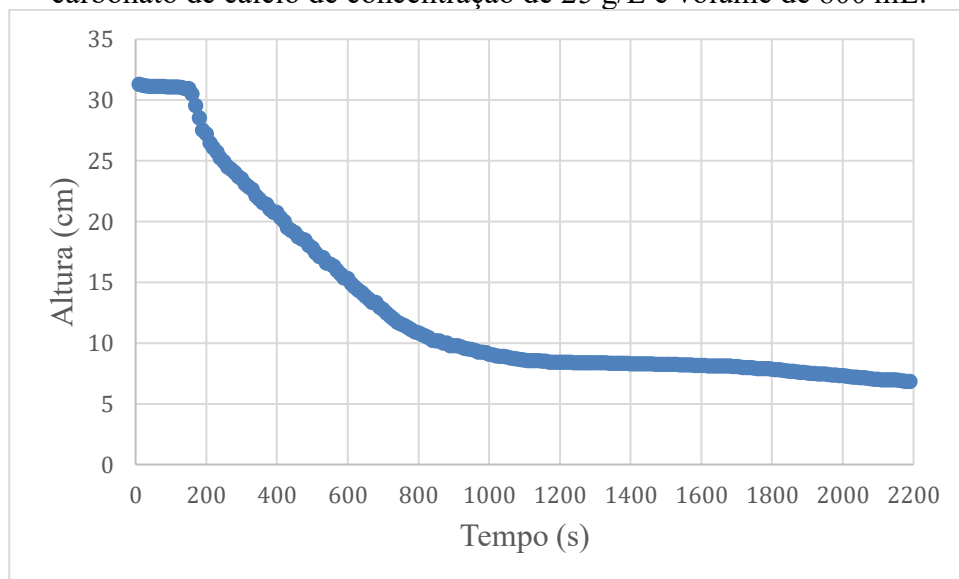


Figura A.25 – Curva de sedimentação obtida no primeiro experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 25 g/L e volume de 1000 mL.

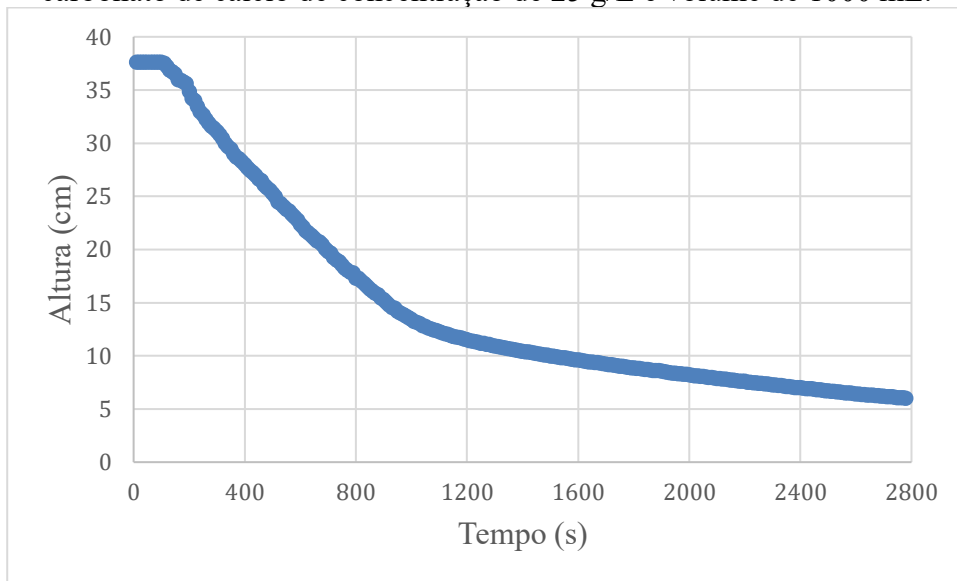


Figura A.26 – Curva de sedimentação obtida no segundo experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 25 g/L e volume de 1000 mL.

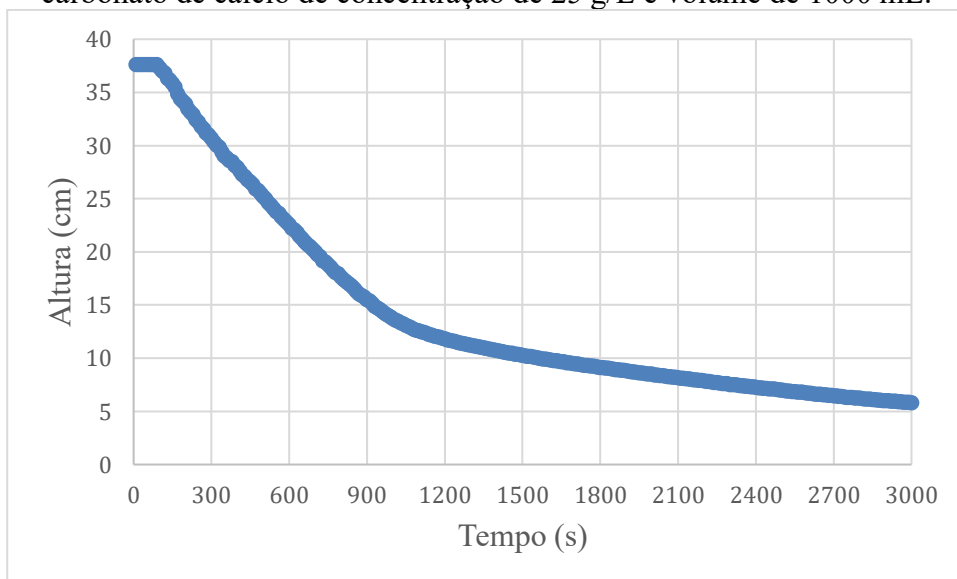
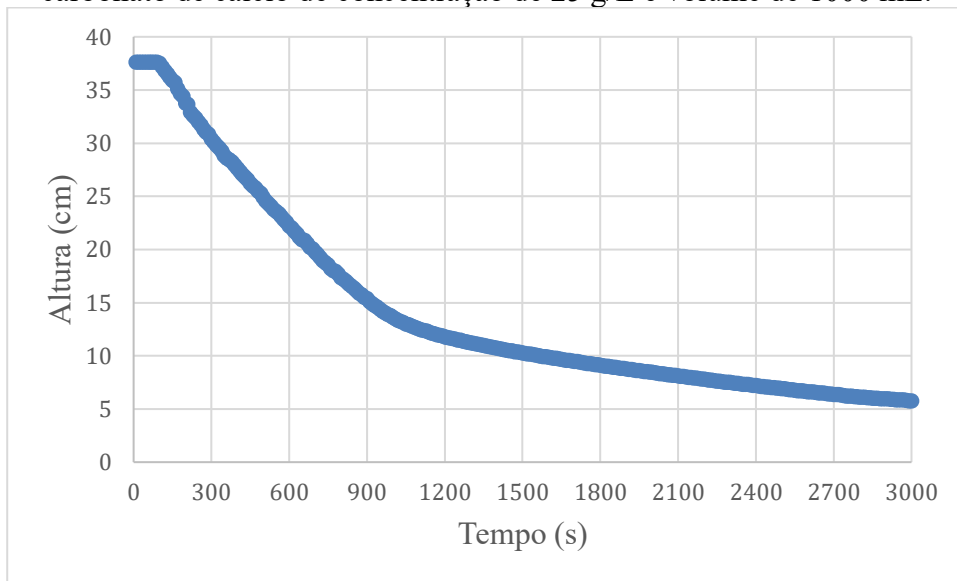


Figura A.27 – Curva de sedimentação obtida no terceiro experimento com suspensão de carbonato de cálcio de concentração de 25 g/L e volume de 1000 mL.



## ANEXO A

### PROGRAMA UTILIZADO PARA CONSTRUÇÃO DA CURVA DE SEDIMENTAÇÃO A PARTIR DAS IMAGENS COLETADAS

```
# Importações
from google.colab import drive
drive.mount('/content/drive')

import PIL
import cv2
import numpy as np
import os
import glob
import csv
import operator
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
from google.colab.patches import cv2_imshow
from matplotlib import image
from matplotlib import pyplot
from PIL import Image, ImageOps
from google.colab import drive
caminho_das_imagens = '/content/*jpg'
# Obtenção dos Frames

# Buscando o vídeo salvo na pasta do drive

vidcap = cv2.VideoCapture('/content/drive/My Drive/LEQ2/EXP1.mp4')

def getFrame(sec):
    vidcap.set(cv2.CAP_PROP_POS_MSEC, sec*1000)
    hasFrames, image = vidcap.read()
    if hasFrames:
```



```

        cv2.imwrite("image"+str(count)+".jpg", image) # Salva o frame no formato JPG
    return hasFrames
sec = 1
frameRate = 10 ##Capitura um frame a cada 10 segundos
count=1
success = getFrame(sec)
while success:
    count = count + 1
    sec = sec + frameRate
    sec = round(sec, 2)
    success = getFrame(sec)

# Cortando rotacionando e salvando
path0 = glob.glob(caminho_das_imagens)
for file in path0:
    img = Image.open(file)
    img_resize = img.resize((1920,1920))
    new_resize = img_resize.resize((1080,1920))
    left, right, upper, lower = [540, 550, 20, 1900]
    cortada = new_resize.crop((left,upper,right,lower))
    imagem_cinza = ImageOps.grayscale(cortada)
    img = imagem_cinza
    img.save(file, format='jpeg')

# Convertendo em P&B
path = glob.glob(caminho_das_imagens)
for imag in path:
    gray = cv2.imread(imag)
    retval, peb = cv2.threshold(gray, 98, 255, cv2.THRESH_BINARY)
    filename = os.path.basename(imag)
    cv2.imwrite("/content/" + filename,peb)
    gray

# Contando os pixels e convertendo em cm

```

```

caminho = glob.glob('/content/*jpg')
arquivo = open('tabela.csv', 'w')
try:
    writer = csv.writer(arquivo)
    writer.writerow ( ('tempo (s)', 'altura (cm)') )
finally:
    arquivo.close()
i=0
for foto in caminho:
    picture = cv2.imread(foto)
    normalizada = picture/255
    i= (i+1)
    soma = 0
    #Determinando a altura da coluna de sedimento...descontando o total do branco. O 50 é o
    valor a ser dividido para se obter a altura total real em centímetros
    for coluna in range(0,1880):
        soma += normalizada [coluna][0]
    altura_cm = soma[0]/50
    arquivo = open('tabela.csv', 'a')
    try:
        writer = csv.writer(arquivo)
        writer.writerow ( ((i*10), altura_cm) )
    finally:
        arquivo.close()

#Ordenando o arquivo CSV
file = pd.read_csv('/content/tabela.csv')
altura = file.filter(items=['altura (cm)'])
tempo = file.filter(items=['tempo (s)'])
altura_sort = altura.sort_values(by=['altura (cm)'], ascending=False)
new_alt = altura_sort.reset_index()
result = pd.concat([tempo, new_alt], axis=1, sort=False)
done = result.drop(labels='index', axis=1)
done.to_csv("ordenado.csv")

```

```
done.plot.scatter('tempo (s)', 'altura (cm)')
```