

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO
GRANDE DO SUL – CAMPUS FELIZ**

MARCELO LEDUR

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM PROTÓTIPO
EXPERIMENTAL DE UM SEPARADOR TIPO CICLONE
EMPREGANDO IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de
bacharelado em Engenharia Química.

Área da Engenharia Química: 3.06.02.00-9

Sub-área: Operações de Separação e Mistura

Orientador: Dr. Matheus Felipe Pedrotti

**Feliz
2021**

MARCELO LEDUR

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM PROTÓTIPO EXPERIMENTAL DE
UM SEPARADOR TIPO CICLONE EMPREGANDO IMPRESSÃO
TRIDIMENSIONAL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de bacharelado em Engenharia Química do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

BANCA EXAMINADORA

Profª. Ma. Flávia Dagostim Minatto

Prof. Dr. Thiago Favarini Beltrame

ORIENTADOR

Prof. Dr. Matheus Felipe Pedrotti

Feliz, 01 de abril de 2021.

AGRADECIMENTOS

Ao **Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS)**, pela oportunidade da realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. **Matheus Felipe Pedrotti**, pela orientação, pelos aconselhamentos e ensinamentos.

A Prof^a. **Cristina Dias Cordella**, pela coorientação e aconselhamentos.

Aos Profs. **Flávia Dagostim Minatto e Thiago Favarini Beltrame** pela participação como banca avaliadora.

Aos docentes do curso de **Bacharelado em Engenharia Química** pelos aconselhamentos profissionais, pela amizade e incentivo.

Aos meus **colegas** do curso que estiveram sempre presente desde 2015, pelo convívio e pela amizade.

Aos meus pais **José Ledur e Regina Ledur** e minha irmã **Camila Ledur** que sempre incentivaram e se fizeram presente durante a minha graduação.

A **Jaqueline Vanin** pelo apoio e compreensão durante a realização do trabalho.

RESUMO

Os processos de separações de misturas líquidas, sólidas ou gasosas estão presentes em boa parte das indústrias químicas, seja para recuperar algum produto ou para purificar um componente de alto custo. Neste trabalho, foi desenvolvido, o projetado e confeccionado um sistema de ciclonamento (modelo de Lapple) por impressão tridimensional (3D) para a utilização em experimentos de separação sólido-gás com areia e pó de brita. O ciclone foi dividido em quatro partes, que foram vedadas com o auxílio de braçadeiras, também construídas pela impressão 3D. O material utilizado para a impressão do equipamento foi o polímero PETG. Experimentos de separação foram realizados utilizando areia e pó de brita visando a identificação da eficiência de separação do equipamento desenvolvido. Os resultados obtidos mostraram que foi obtida uma separação superior a 99,3% para todos os materiais avaliados, indicando que o equipamento desenvolvido foi adequado para a aplicação proposta.

Palavras-chave: Impressão 3D, Ciclone, Separação sólido-gás.

ABSTRACT

The processes for separating liquid, solid or gaseous mixtures are present in most of the chemical industries, either to recover some product or to purify a high-cost component. In this work, a cyclone system (Lapple model) was developed and designed by three-dimensional (3D) printing for use in solid-gas separation experiments with sand and gravel powder. The cyclone was divided into four parts, which were sealed with the aid of clamps, also built by 3D printing. The material used for printing the equipment was the PETG polymer. Experiments were carried out using sand and gravel powder in order to identify the separation efficiency of the developed equipment. The results obtained showed that a separation greater than 99.3% was obtained for all evaluated materials, indicating that the developed equipment was suitable for the proposed application.

Keywords: 3D printing, Cyclone, Solid-gas separation.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS	Acrilonitrila butadieno estireno, do inglês, <i>acrylonitrile butadiene styrene</i>
FDM	Modelagem por fusão e deposição, do inglês, <i>fused deposition modeling</i>
HIPS	Poliestireno alto impacto, do inglês <i>high impact polystyrene</i>
PET	Poli(tereftalado de etileno), do inglês, <i>poly(ethylene terephthalate)</i>
PETG	Poli(etileno tereftalato de etileno glicol), do inglês, <i>poly(ethylene ethylene glycol terephthalate)</i>
PLA	Poli(ácido láctico), do inglês, <i>poly(lactic acid)</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
1.1 OBJETIVOS	9
1.1.1 Objetivo geral.....	9
1.1.2 Objetivos específicos.....	9
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	10
2.1 MISTURAS	10
2.1.1 Mistura sólido-gás.....	10
2.2 PROCESSOS DE SEPARAÇÃO DE MISTURAS SÓLIDO-GÁS.....	10
2.2.1 Sistemas de ciclone	15
2.2.1.1 Modelos de ciclone.....	18
2.2.1.1.1 <i>Stairmand</i>	18
2.2.1.1.2 <i>Lapple</i>	19
2.3 IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL.....	20
2.3.1 <i>Software</i> de desenvolvimento	21
3 MATERIAIS E MÉTODOS	23
3.1 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	23
3.2 MÉTODOS	25
3.2.1 Construção do protótipo	25
3.2.2 Experimento de separação	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1 PROJETO E CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO	27
4.1.1 Dimensionamento e projeto	27
4.1.2 Impressão e montagem	30
4.2 EXPERIMENTOS DE SEPARAÇÃO.....	32
CONCLUSÕES	36
REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

A separação é um processo comum em alguns segmentos da indústria. É realizada com o intuito de purificar um composto para obtenção de produtos desejados ou reduzir perdas de materiais de alto valor agregado (CREMASCO, 2018). Os processos de separação sólidos-gás mais comuns são o gravitacional, por impacto, por lavagem, eletromagnética, filtração e centrífugas (SINNOTT, 2005).

Um dos equipamentos mais utilizados pelas indústrias para a realização dessa separação são os ciclones. Os ciclones são um equipamento de separação sólido-gás que tem sua operação baseada na força centrífuga (PEÇANHA, 2014). Esses equipamentos são amplamente utilizados na indústria para diferentes aplicações deste a purificação do ar até secagem e resfriamento de partículas (GOMIDE, 1980). Neste sistema, a mistura sólido-gás é introduzida através de uma entrada tangencial e depois do processo de separação, a fase sólida é coletada no *overflow* ou no *underflow*, de acordo com o tamanho de partícula (MCCABE, 1993).

O desenvolvimento de protótipos experimentais tem sido feito através da técnica de impressão 3D, a qual consiste em um processo que constrói um objeto através da deposição de camada por camada de um material, geralmente polimérico (CABREIRA, 2018). Devido a isso, adequa-se bem ao desenvolvimento de objetos com geometria complexa e a confecção de equipamentos experimentais de pesquisa devido a facilidade de operação e baixo custo relativo (SANTOS, 2016).

Neste trabalho, foi projetado e confeccionado, por meio da impressão 3D utilizando o polímero PETG, um protótipo experimental de um ciclone empregado para separação sólido-gás. Após a montagem do equipamento, foi feita a avaliação da eficiência de separação para amostras de areia e pó de brita.

O desenvolvimento de um protótipo experimental permite a utilização dos conhecimentos adquiridos ao longo do curso de engenharia química. Além disso permite observar na prática o funcionamento de um separador tipo ciclone e investigar o efeito dos parâmetros operacionais, como tipo de material, tamanho de partícula e velocidade de operação, na eficiência de separação obtida.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Projetar e confeccionar um protótipo de um ciclone para a separação sólido-gás.

1.1.2 Objetivos específicos

- Dimensionar um ciclone com base na literatura.
- Confeccionar o ciclone por impressão 3D em material polimérico.
- Avaliar a eficiência de separação sólido-gás através de experimentos e cálculos comparativos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A presente fundamentação teórica abordará brevemente os conceitos de misturas, misturas sólido-gás, equipamento de separação sólido-gás e impressão tridimensional.

2.1 MISTURAS

As misturas podem ser homogêneas ou heterogêneas, podendo ser: sólido-sólido, líquido-líquido, gás-gás, sólido-líquido, sólido-gás e líquido-gás (ROZENBERG, 2002; CANTO, 2002). Na engenharia, a separação dessas misturas tem sido estudada e aprimorada como intuito de purificar e garantir a obtenção de cada componente de forma isolada, dependendo da sua aplicação, como por exemplo, a purificação dos gases liberados para a atmosfera após o processo de combustão (CREMASCO, 2018).

2.1.1 Mistura sólido-gás

Um sistema composto por uma mistura heterogênea sólido-gás (fuligem-CO₂, grãos lavados-gás aquecido, por exemplo) pode ser proveniente de diversos processos industriais como desumidificação e combustão. A existência desse sistema heterogêneo é possível devido à capacidade do gás de carregar partículas. Cremasco (2018) destaca que as partículas permanecem em suspensão devido à velocidade do gás, a esfericidade da partícula, a densidade e o diâmetro da partícula.

2.2 PROCESSOS DE SEPARAÇÃO DE MISTURAS SÓLIDO-GÁS

A realização do processo de separação sólido-gás pode ocorrer tanto para a obtenção de um gás quanto um sólido purificado, visando a redução de perdas de materiais de alto valor agregado (ORTEGA-RIVAS, 2011). Além disso, pode ser empregada em um processo de classificação de matéria-prima e produtos sólidos, de acordo com o tamanho da partícula e também no processo de transporte pneumático de partículas (SINNOTT, 2005).

Para a realização do processo de separação para se obter um produto com menor teor de impurezas, é possível que o processo seja realizado de forma mecânica, o qual não envolve transformações, sendo mais simples e com grande aplicação na indústria (ISENMANN, 2012; MATOS, 2015).

As operações unitárias que fazem parte dessa separação mecânica são a catação, centrifugação, decantação, ventilação mecânica, entre outras (MATOS, 2015), por meio dos seguintes mecanismos: gravitacional, de impacto, lavagem, eletromagnético, filtragem e através da aplicação forças centrífugas (SINNOTT, 2005).

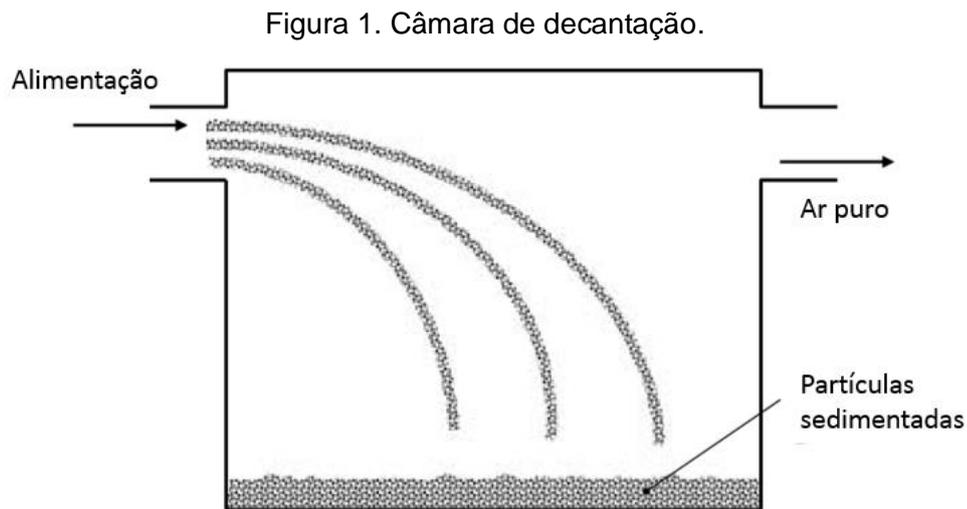
Os principais equipamentos que empregam os referidos mecanismos de separação são a câmara de decantação, os separadores por impacto, torres de pulverização, placas eletromagnéticas, filtros manga, centrífugas e ciclones (GOMIDE, 1980; ORTEGA-RIVAS, 2011). Cada tipo de equipamento apresentado opera de forma mais eficiente com uma faixa de tamanho de partícula específica, conforme apresentado a Tabela 1, devido ao formato e ao princípio de funcionamento de cada equipamento.

Tabela 1. Equipamentos empregados para a separação das partículas em função do tamanho de partícula.

Equipamentos	Tamanho de partícula
Câmara de decantação	Maiores que 50 μm
Separadores por impacto	Entre 10 μm - 20 μm
Torres de pulverização	Até 0,5 μm
Placas magnéticas	Menores 2 μm
Filtros manga	Aproximadamente 1 μm
Ciclones	Entre 0,5 μm - 5 μm

Fonte: Adaptado de Sinnott, 2005.

As câmaras de decantação (Figura 1), que consistem no método de separação mais antigo (GOMIDE, 1980), realizam a separação pela ação da gravidade. As câmaras de decantação são longas e horizontais, além de ser possível operar com elevadas temperaturas e pressões (SINNOTT, 2005).

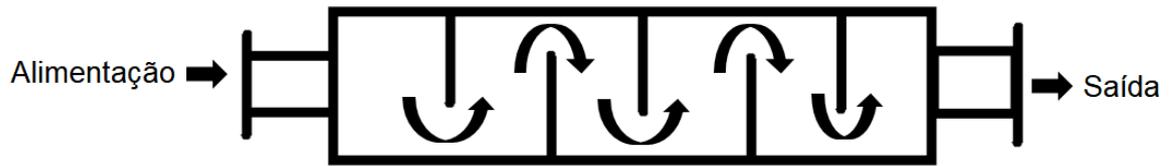


Fonte: Adaptado de Ortega-Rivas, 2011.

As câmaras de decantação são descritas como uma expansão do duto de escoamento (GOMIDE, 1980), que leva à diminuição da velocidade das partículas. Peçanha (2014) relata que as câmaras de decantação funcionam com o princípio da inércia, no qual as partículas dentro das tubulações possuem uma vazão constante assim que elas entram na câmara, ocorre a diminuição da sua velocidade. Com a diminuição da velocidade, essa torna-se menor que a velocidade terminal das partículas, levando a sua decantação e separação.

Os separadores por impacto (Figura 2) são semelhantes às câmaras de decantação, porém, possuem aletas em seu interior que fazem com que o fluxo mude bruscamente de direção. Como as partículas sólidas não são capazes de acompanhar o movimento do gás, estas colidem com os anteparos, perdem velocidade e são coletadas nas respectivas câmaras (GOMIDE, 1980). Os separadores por impacto possuem uma queda de pressão maior que as câmaras de decantação devido às aletas presentes em seu interior (SINNOTT, 2005).

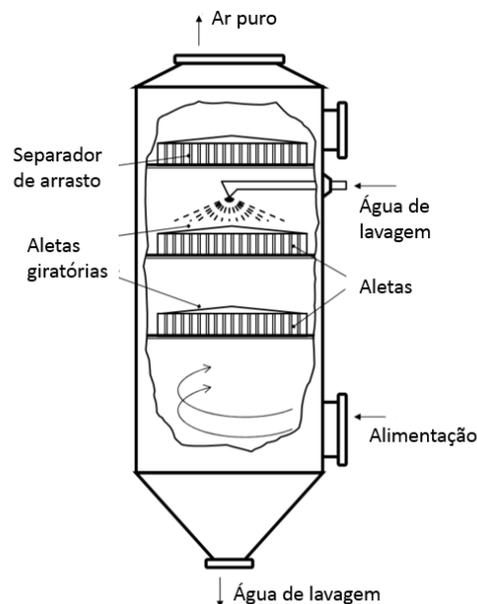
Figura 2. Separador por impacto.



Fonte: Gomide, 1980.

As torres de pulverização (Figura 3) são lavadoras de gases e assim, separam as partículas sólidas através da pulverização de gotículas de algum fluido, geralmente água. A lavagem úmida, como é conhecida, ocorre geralmente em contracorrente, em que a corrente gasosa carregada de particulados é alimentada por um fluxo ascendente e a pulverização do líquido ocorre por um fluxo descendente (GOMIDE, 1980; SINNOTT, 2005; ORTEGA-RIVAS, 2011).

Figura 3. Torre de pulverização.

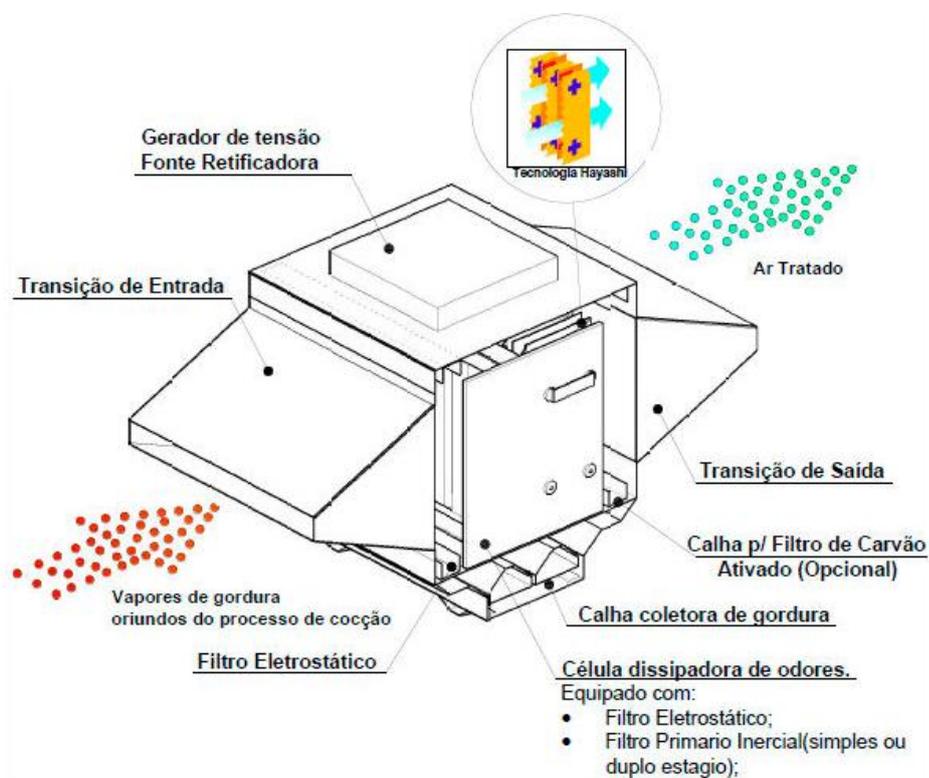


Fonte: Adaptado de Ortega-Rivas, 2011.

Existem diversos tipos de lavadores de gases, desde a torre de pulverização, até lavadores centrífugos, lavadores de Venturi e inerciais, cuja aplicação depende, principalmente, do tamanho de partícula da fase sólida (GOMIDE, 1980; SINNOTT, 2005).

Os precipitadores eletrostáticos (Figura 4) empregam um potencial elétrico para separar partículas extremamente finas presentes na corrente gasosa (GOMIDE, 1980; SINNOTT, 2005; ORTEGA-RIVAS, 2011). Apesar dos precipitadores eletrostáticos serem grandes, o que gera um alto custo de fabricação, a operação do equipamento possui um custo baixo em comparação com a vazão que pode ser adotada. Dessa forma podem ser separadas partículas que possuem algum tipo de potencial elétrico sendo ele positivo ou negativo.

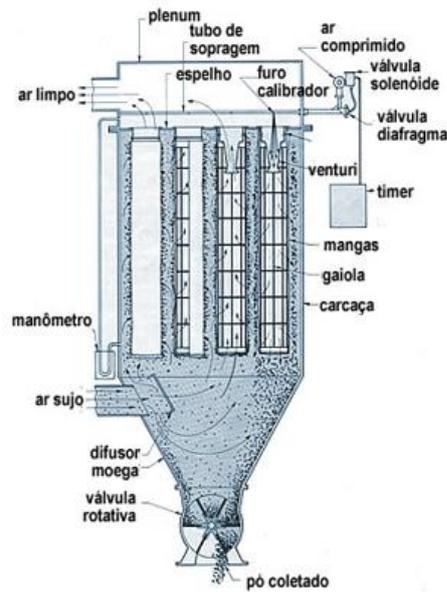
Figura 4. Precipitador eletrostático.



Fonte: Arwek®, 2021.

O processo de separação com utilização de um filtro manga (Figura 5) trata-se de um processo de filtração comum, em que o meio filtrante pode ser tecido, fibra de vidro ou demais materiais, com características semelhantes que possuam uma porosidade pré-determinada de acordo com o tamanho de partícula que se deseja retirar da fase gasosa (GOMIDE, 1980; SINNOTT, 2005; PERRY, 2008; ORTEGA-RIVAS, 2011).

Figura 5 - Filtro manga.



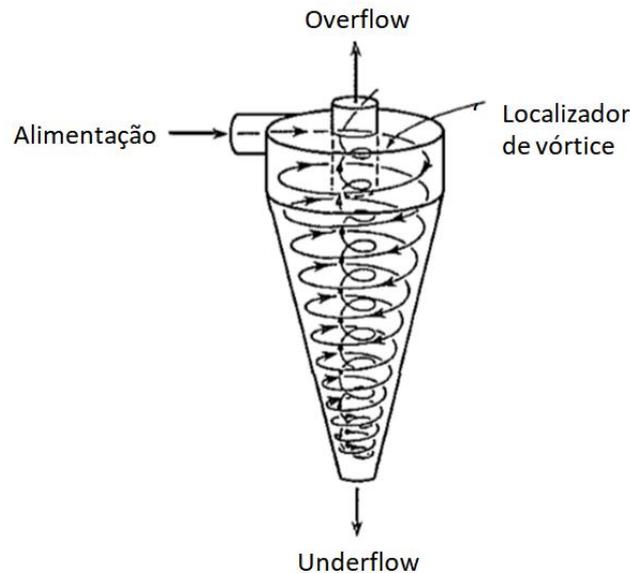
Fonte: LUVASUL, 2008.

2.2.1 Sistemas de cicloneamento

Com a atuação da força de centrifugação, temos o ciclone ou sistema de cicloneamento, os quais são amplamente empregados na indústria visto que podem operar com altas temperaturas e pressões, além de não possuírem partes móveis (GOMIDE, 1980). Consiste no equipamento mais utilizado para a separação sólido-gás, mas também, pode ser empregado para processos de separação e seleção de misturas sólido-líquido, líquido-gás, líquido-líquido e sólido-sólido (SINNOTT, 2005).

Um ciclone consiste na combinação de um corpo cilíndrico com uma parte cônica. A alimentação de um ciclone é realizada tangencialmente e próxima ao topo do equipamento, ao passo que as partículas são coletadas na parte inferior do ciclone (Figura 6). A corrente inferior, na qual é coletada a fração sólida, poeira ou materiais grosseiros, é chamada de *underflow*. Já a corrente superior, composta pela fase gasosa e materiais leves, de *overflow* (MCCABE, 1993).

Figura 6 - Esquema de funcionamento do ciclone.



Fonte: Adaptado de McCabe, 1993.

O gás e as partículas alimentadas sofrem uma redução na velocidade quando entram no ciclone, devido ao aumento da área transversal, inversamente proporcional a velocidade das partículas. Devido ao fato de a alimentação ser realizada tangencialmente, somada às variações de velocidade, há a formação de dois vórtices, ou espirais, coaxiais (PERRY, 2008). Uma espiral se movimenta próxima à parede do ciclone e uma espiral com menor raio, no centro do sistema. A espiral externa é descendente, ao passo que a interna é ascendente. O vórtice interno possui uma velocidade de rotação maior do que o vórtice externo (GOMIDE, 1980; PERRY, 2008).

A rotação causada pelo formato do ciclone gera uma força centrífuga, a qual faz com que as partículas alimentadas sejam direcionadas à parede do sistema, reduzindo a velocidade, devido ao atrito com as paredes, assim, as partículas coletadas na corrente inferior do equipamento. Quanto menor a velocidade terminal da partícula, maior a probabilidade que seja captada com o gás (*overflow*), enquanto partícula com maior velocidade terminal, ou diâmetro, com o sólido (*underflow*). A velocidade terminal das partículas pode ser estimada pela Lei de Stokes, apresentada na Equação 2.1 (GOMIDE, 1980).

$$ut = \frac{bD^2(\rho - \rho^*)}{18\mu r^n} \quad (2.1)$$

Em que:

ut : velocidade terminal da partícula [m s^{-1}];

ρ : Densidade do fluido [kg m^{-3}];

ρ^* : Densidade da partícula [kg m^{-3}];

μ : Viscosidade do fluido [$\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$];

D : Diâmetro da partícula [m];

r : Raio da trajetória do gás [m];

b : Relação gravitacional;

n : Número de rotações.

O cálculo da velocidade terminal da partícula se baseia no diâmetro de partícula, o qual é empregado para realizar o dimensionamento do ciclone, recebendo o nome de diâmetro de corte (GOMIDE, 1980). O diâmetro de corte corresponde ao diâmetro das partículas que o equipamento tem a capacidade de separar com uma eficiência de 0,5. Em outras palavras, as partículas com diâmetro inferior ao diâmetro de corte têm 50% de probabilidade de serem coletadas no *overflow*, ao passo que as com diâmetro superior ao diâmetro de corte, tem 50% de serem coletadas no *underflow* (PEÇANHA, 2014). A partir do diâmetro de corte, é possível dimensionar o ciclone.

Devido a estas características, os ciclones podem combinar a secagem com o processo de separação, quando um material particulado semiúmido é submetido à separação pelo ciclone ao mesmo tempo que a fase gasosa é aquecida, levando à evaporação da umidade presente no material. Adicionalmente, pode ser empregado para o resfriamento e separação, no qual o material a ser separado pode ser oriundo de um forno, por exemplo, entrando em contato com o ar ambiente dentro do ciclone que leva ao resfriamento (GOMIDE, 1980).

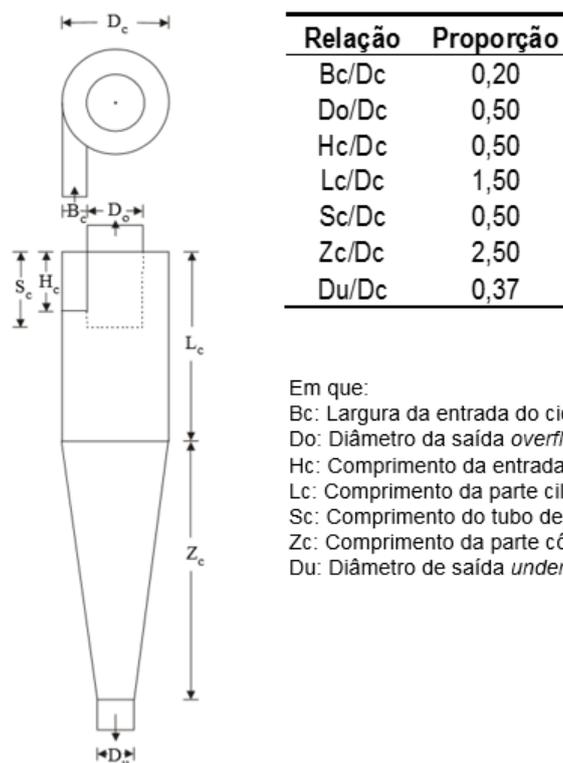
2.2.1.1 Modelos de ciclone

Existem dois tipos principais de ciclones: Stairmand e Lapple, os quais serão mais bem detalhados a seguir (MASSARANI, 2001).

2.2.1.1.1 Stairmand

Com esse modelo, o principal parâmetro é o diâmetro do ciclone (D_c). A partir disto, é possível calcular e obter as medidas do restante do equipamento, com auxílio da Figura 7 (MASSARANI, 2001; ORTEGA-RIVAS, 2011).

Figura 7. Modelo para dimensionamento de Stairmand.

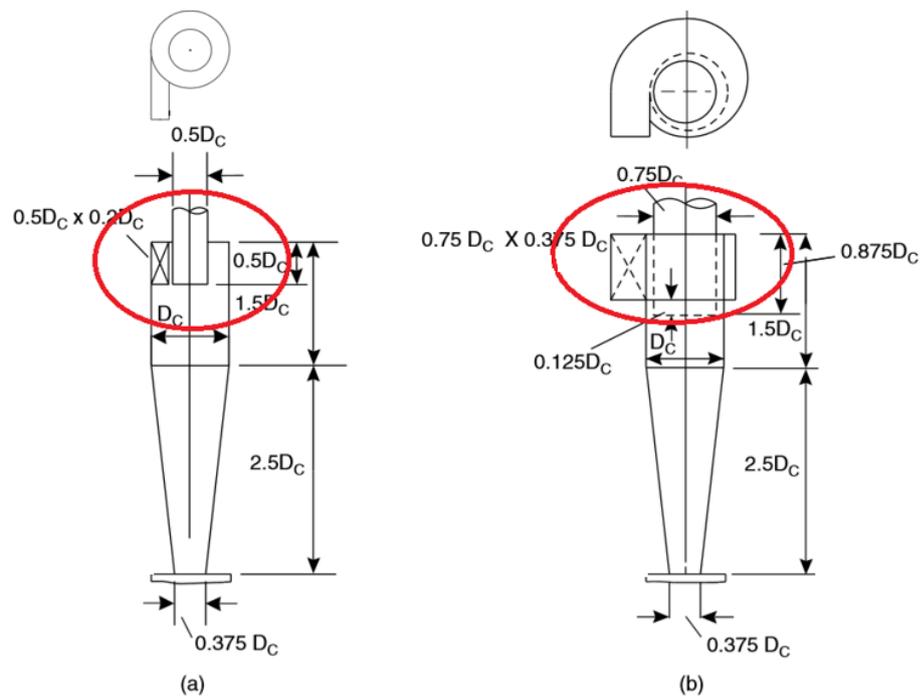


Fonte: Adaptado de Massarani, 2001.

O modelo de ciclone Stairmand pode ser projetado a partir de dois modelos: de alta eficiência e de alta taxa de gás do ciclone (SINNOTT, 2005). A principal diferença existente entre os dois modelos é referente ao modo de alimentação. Enquanto no modelo de alta eficiência o formato da área de alimentação é igual ao modelo de Lapple, no modelo de alta taxa de gás no ciclone a área de alimentação é diferenciada

devido ao formato excedente da região de alimentação (SINNOTT, 2005), como é possível observar na Figura 8.

Figura 8. Diferença na entrada de alimentação (a) modelo de alta eficiência (b) modelo de alta taxa de gás.

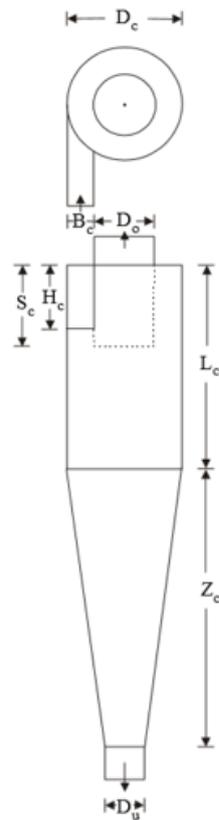


Fonte: Adaptado de Sinnott, 2005.

2.2.1.1.2 Lapple

A mesma relação para o modelo de Stairmand, apresentada na Figura 8, é válida para o modelo de Lapple, ou seja, com o diâmetro do ciclone, é possível realizar o dimensionamento do equipamento (MASSARANI, 2001; PERRY, 2008; PEÇANHA, 2014). No entanto, as proporções entre as partes do ciclone são diferentes para o modelo de Lapple, conforme pode ser observado na Figura 9.

Figura 9. Modelo para dimensionamento de Lapple.



Relação	Proporção
B_c/D_c	0,25
D_o/D_c	0,50
H_c/D_c	0,50
L_c/D_c	2,00
S_c/D_c	0,62
Z_c/D_c	2,00
D_u/D_c	0,25

Em que:

- Bc: Largura da entrada do ciclone [m];
- Do: Diâmetro da saída *overflow* [m];
- Hc: Comprimento da entrada do ciclone [m];
- Lc: Comprimento da parte cilíndrica do ciclone [m];
- Sc: Comprimento do tubo de coleta *overflow* [m];
- Zc: Comprimento da parte cônica do ciclone [m];
- Du: Diâmetro de saída *underflow* [m].

Fonte: Adaptado de Massarani, 2001.

Ao fazer uma comparação dos dois modelos de dimensionamento de ciclones, é possível observar que o modelo de Lapple possui uma relação geométrica de construção mais simplificada com a relação do D_c , que facilita o processo construtivo.

2.3 IMPRESSÃO TRIDIMENSIONAL

A impressão 3D deixou de ser utilizada somente para fins decorativos e passou a se tornar alvo de estudos e pesquisas, ou seja, cada vez há mais trabalhos e pesquisas envolvendo a utilização da impressão 3D (LINO, 2014). Isso ocorre devido a facilidade de trabalho dos materiais poliméricos possuem, como a sua sobreposição em camadas, princípio de funcionamento da técnica (CABREIRA, 2018 apud YADOLLAHI et al., 2017).

A técnica de impressão 3D iniciou-se com a publicação de Kodama, em 1981, o qual desenvolveu o processo de impressão por estereolitografia. Aproximadamente 11 anos depois, chegou-se no método de modelagem por deposição fundida (FDM), que é a técnica de impressão 3D mais popular. Esta técnica utiliza polímeros como poli(ácido láctico, PLA), acrilonitrila butadieno estireno (ABS) e poli(etileno tereftalato de etileno glicol, PETG) (CABREIRA, 2018).

A impressora 3D do tipo FDM é composta por um sistema de abastecimento de filamento, sistema de tração do filamento, o qual é responsável por tracionar o filamento até o bico de aquecimento e deposição, além disso, possui uma mesa aquecida com capacidade de movimento na direção vertical, enquanto o bico de deposição é responsável pelos movimentos na horizontal (CABREIRA, 2018; PEDROTTI, 2021). Devido a esse sistema de funcionamento, a impressão 3D é utilizada com o intuito de desenvolver produtos de alta complexidade com relativa economia e baixo tempo de espera (CABREIRA, 2018; PEDROTTI, 2021).

A impressão 3D tem sido empregada para o desenvolvimento de equipamentos e protótipos em diversas pesquisas relacionadas à reconstrução de tecidos, próteses, entre outros (SANTOS, 2016). A manufatura por impressão 3D vem ganhando espaço e cada vez tornando-se mais usual, possibilitando a redução de custos que torna esse processo mais acessível, quando comparada com a manufatura convencional por usinagem, a qual necessita de profissionais qualificados para sua realização e alto custo relativo de produção (SOUSA, 2014; PEDROTTI, 2021).

Mediante a essa redução de custo e a novos estudos, a área da engenharia vem adotando cada vez o uso da impressão 3D. Existem trabalhos em que a confecção de reatores, trocadores de calor, entre outros foi realizada através desta técnica (PEDROTTI, 2021). Além da construção desses equipamentos, estudos têm sido desenvolvidos com o intuito de aperfeiçoar os filamentos poliméricos para que se possa obter uma gama maior de aplicações em diversas áreas do conhecimento (FILAMENT2PRINT, 2019).

2.3.1 Software de desenvolvimento

A confecção de um produto em uma impressora 3D requer a utilização de um software que permita a modelagem digital do produto. Em geral, na engenharia têm-

se utilizado os programas AutoCAD e Solidworks (AUTODESK, 2019; DASSAULT, 2019; EQUIPE EDUCANDO, 2019). Ambos possuem a sua utilização no modo gráfico 3D, mas o AutoCAD permite sua utilização no modo 2D. Devido a isso, é empregado pela indústria pelos engenheiros e na construção civil pelos arquitetos (AMARIZ, 2019).

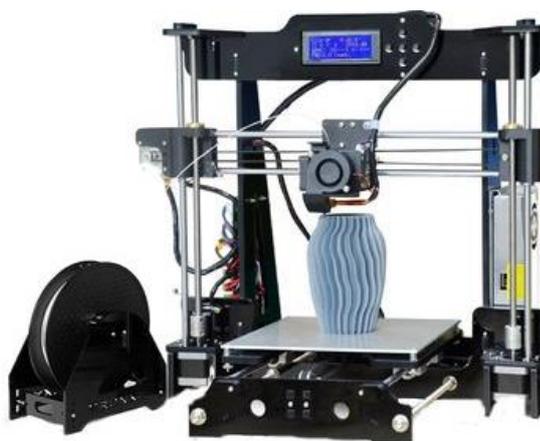
Para que seja possível realizar o processo de impressão em um dos sistemas mencionados anteriormente, é necessário utilizar um segundo *software* capaz de configurar todo o processo de impressão, chamado de fatiador, responsável por dividir o objeto em camadas que serão posteriormente impressas. O MatterControl (MatterHackers, Estados Unidos) é um dos programas que podem ser utilizados para a configuração do fatiamento do objeto. Neste *software*, é selecionada a altura da camada, temperatura da mesa e do bico de impressão, entre outros parâmetros importantes para o processo de impressão.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Para o desenvolvimento do protótipo de cicloneamento por impressão 3D foi utilizada uma impressora do tipo FDM (P802M, TRONXY), que pode ser vista na Figura 10. O volume de impressão é de 220 x 220 x 240 mm, velocidade de impressão de até 130 mm s⁻¹, trabalha com filamentos com diâmetro de 1,75 mm, além de ser capaz de trabalhar com diversos tipos de polímeros, como PLA, ABS, HIPS (poliestireno de alto impacto), PETG, entre outros. A impressora possui uma mesa de impressão movel, que se movimenta nos eixos X e Y, além de um mecanismo de extrusão no qual ocorre a fundição do polímero, que se movimenta no sentido Z (SUN, 2018).

Figura 10. Impressora 3D do tipo FDM.



Fonte: Sun, 2018.

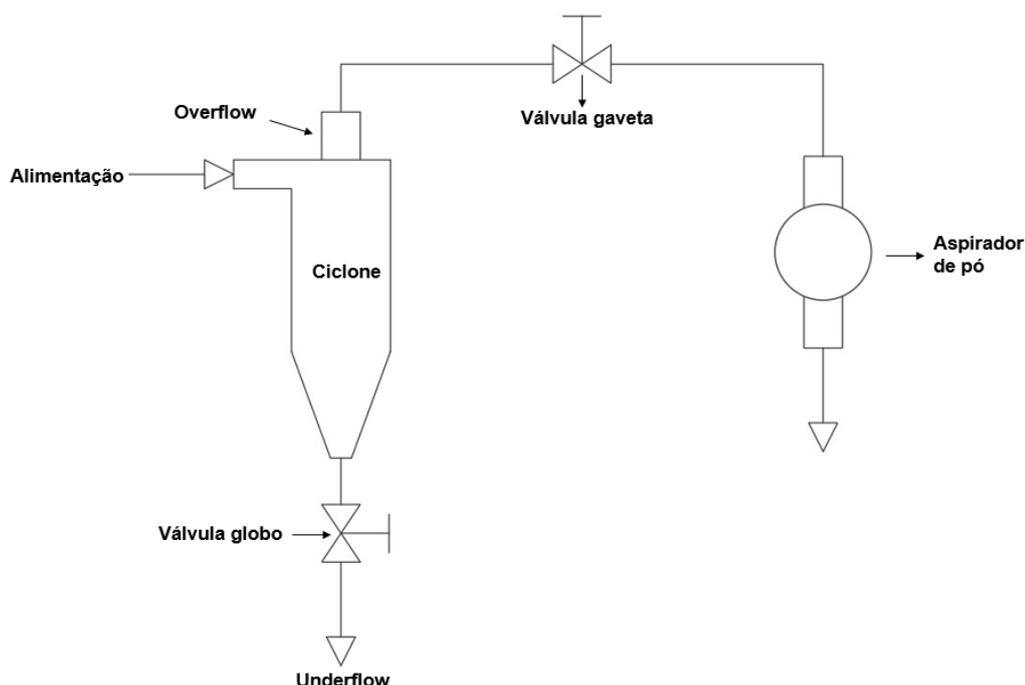
O material polimérico utilizado para a impressão do ciclone foi o PETG. O *software* empregado para o desenvolvimento do modelo digital do ciclone foi o AutoCAD (Autodesk®, Estados Unidos). Esse sistema foi selecionado por estar presentes e disponível nos computadores da instituição, além de ter sido utilizado na disciplina de Desenho Técnico 2 do curso de Engenharia Química do IFRS/Feliz. O *software* de fatiamento e configuração da impressora 3D foi o MatterControl, que permite alterar a altura da camada, velocidade de impressão, preenchimento, e assim, pode-se prever o tempo de impressão considerando a qualidade de impressão e a quantidade de material que será utilizado.

Para a realização dos experimentos de separação, foi utilizado um aspirador de pó (Hidrolux AWD01, Electrolux, Brasil) como fonte de sucção, o qual possui 1250 W de potência. Um anemômetro (GM816, Benetech, Brasil) foi utilizado para a medição da velocidade da fase gasosa durante os experimentos de separação. As pesagens das amostras foram feitas com o auxílio de uma balança digital (SF-400, Tomate, Brasil), com capacidade máxima de 10 kg e resolução de 1 g.

3.1.2 Sistema de cicloneamento

O esquema do sistema de cicloneamento empregado neste trabalho, pode ser visto na Figura 11, o esquema é composto pelo ciclone, aspirador de pó, válvula globo e válvula gaveta.

Figura 11. Esquema de posicionamento dos equipamentos.



Fonte: Autor, 2021.

A válvula globo está localizada junto a saída *underflow*, ela foi incluída nessa posição para que o sistema mantivesse a pressão durante o seu funcionamento. O sistema ainda conta com a válvula gaveta que foi inserida próxima a saída *overflow* com o intuito de regular a velocidade de operação do sistema.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Construção do protótipo

A construção do protótipo teve início com o dimensionamento por meio da Equação 3.1, além da escolha do modelo do ciclone e a modelagem digital do ciclone no *software* AutoCAD. Após isso, seguiu-se para o processo de impressão 3D do protótipo, feito por uma empresa terceirizada. Após a impressão e montagem, o sistema foi fixado em um suporte de madeira com 180 cm de altura 100 cm de comprimento e 50 cm de largura.

$$\frac{D^*}{D_c} = K \left[\frac{\mu D_c}{Q(\rho_s - \rho_f)} \right]^{1/2} \cdot f(R_L) \cdot g(c_v) \quad (3.1)$$

Em que:

D^* = diâmetro de corte [m];

D_c = diâmetro da parte cilíndrica do ciclone [m];

μ = viscosidade do fluido [$\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$];

Q = vazão de fluido que alimenta o ciclone [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$]

ρ_s = densidade do fluido [kg m^{-3}];

ρ_f = densidade da partícula [kg m^{-3}];

K = parâmetro que depende da configuração [0,095]

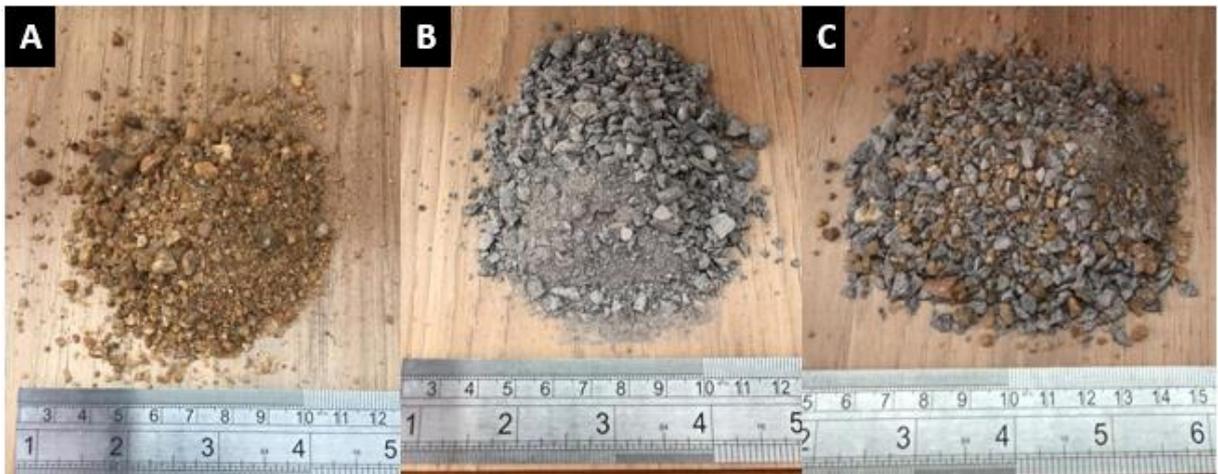
f = fator de correção que leva em conta a fração de sólidos coletadas no *underflow* sem a ação do campo centrífugo;

g = fator que considera a concentração volumétrica de sólidos na alimentação.

3.2.2 Experimento de separação

Os testes de eficiência de separação com o protótipo, desenvolvido, foram realizados com areia média e com pó de brita, obtidos no comércio local. Para tanto, utilizaram-se três amostras de 500 g de material (areia média, pó de brita, mistura de areia com pó de brita), na Figura 12 é possível ver os materiais utilizados para o experimento de separação.

Figura 12. Amostras utilizadas para os experimentos de separação.



Fonte: Autor, 2021.

Para o processo de separação, fechou-se a válvula globo de fundo e foi acionado o aspirador de pó, na potência máxima. Devido à pressão negativa gerada no interior do sistema, as partículas da amostra foram succionadas e coletadas nas portas *overflow* e *underflow*. As amostras foram introduzidas no interior do ciclone, durante a operação, com o auxílio de um funil plástico.

A velocidade da fase gasosa foi medida com o auxílio de um anemômetro, na seção de alimentação do ciclone. Após o tempo de separação, fixado em 5 min, realizou-se a pesagem dos sólidos coletados (*overflow* e *underflow*) para o cálculo de eficiência de separação. Os experimentos foram feitos em triplicata.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PROJETO E CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO

4.1.1 Dimensionamento e projeto

O primeiro passo consistiu na seleção do método/modelo de ciclone empregado. Optou-se pela utilização do modelo de Lapple devido a maior simplicidade geométrica deste sistema. Após isso, foi feito o cálculo do diâmetro de corte do sistema, através da Equação 3.1, na qual foram definidas a velocidade de entrada e a densidade da fase sólida.

Como a densidade das partículas não pode ser determinada experimentalmente, foram empregados valores médios encontrados na literatura. Para a areia, o valor de densidade foi 1562 kg m^{-3} , já para o pó de brita, foi de 1761 kg m^{-3} (PERRY 2008). A velocidade de operação foi fixada em $12,5 \text{ m s}^{-1}$ que corresponde à velocidade ideal de operação do sistema (PERRY, 2008; PEÇANHA, 2014). Para a realização dos cálculos foi utilizado a viscosidade e densidade do ar na temperatura de $20 \text{ }^\circ\text{C}$ correspondente a $0,00001817 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ e a $1,204 \text{ kg m}^{-3}$, respectivamente (PERRY, 2008). Visto que os ciclones a gás operam com suspensões diluídas, os termos “f” e “g” foram considerados iguais a 1,0 para a realização dos cálculos (MASSARANI, 2001).

Após a substituição dos parâmetros conhecidos na Equação 4.1 o diâmetro de corte (D^*) e diâmetro do ciclone (D_c) restaram como variáveis. Nesse sentido, foram estabelecidos seis D_c (5,0, 6,5, 8,5, 10,0, 12,5 e 15,0 cm) e os valores de diâmetro de corte resultantes foram calculados e estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Diâmetro de corte obtido para cada diâmetro interno de ciclone em função dos materiais avaliados.

Diâmetro interno do ciclone, cm	Vazão de alimentação, $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$	Diâmetro de corte para areia, mm	Diâmetro de corte para pó de brita, mm	Diâmetro de corte para areia (50%) e pó de brita (50%), mm
5,0	0,00391	0,00183	0,00173	0,00178
6,5	0,00660	0,00209	0,00197	0,00203
8,5	0,01129	0,00239	0,00225	0,00232
10,0	0,01563	0,00259	0,00244	0,00251
12,5	0,02441	0,00290	0,00273	0,00281
15,0	0,03516	0,00318	0,00299	0,00308

Fonte: Autor, 2021.

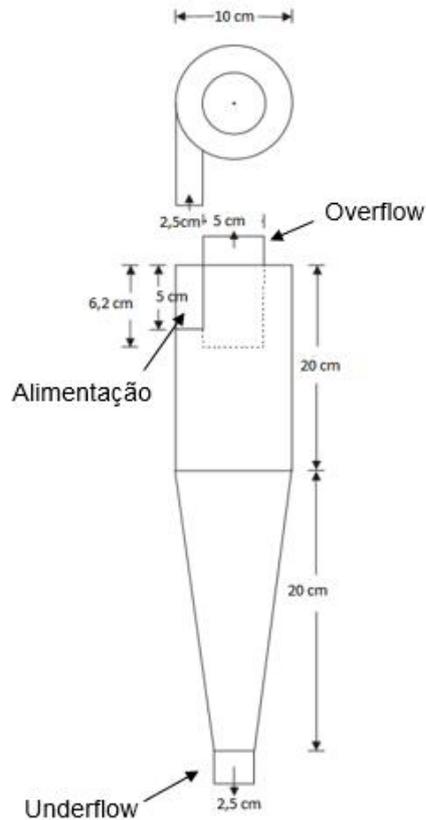
Para a realização dos cálculos, foi considerado que iria ser possível atingir velocidade de alimentação estipulada, mas na realidade isso seria quase impossível de ocorrer, devido a perda de carga existente dos equipamentos. Quando menor o diâmetro do ciclone, maior seria a perda de carga, conseqüentemente, o ciclone teria maior resistência ao escoamento e assim uma menor velocidade de operação.

É possível observar o diâmetro de corte aumentou com o aumento do diâmetro do ciclone como previsto de acordo com a Equação 4.1. Para a areia, o diâmetro de corte variou entre 0,00183 e 0,00318 mm, já para o pó de brita, de 0,00173 a 0,00299 mm. Esses valores foram bem próximos para os dois materiais, isso é positivo, pois indica que o ciclone conseguirá operar de maneira satisfatória para esses materiais. O diâmetro interno intermediário de 10,0 cm foi selecionado para a confecção do protótipo. Com este diâmetro de equipamento, diâmetros de corte variando entre 0,00244 a 0,00259 mm foram obtidos para os materiais avaliados. De acordo a literatura, este diâmetro de corte seria suficiente para coletar as partículas empregadas neste trabalho, as quais possuíam diâmetro médio variando de 0,45 a 0,25 mm (PERRY, 2008).

Após a determinação do diâmetro de corte do ciclone, foi feito o dimensionamento do sistema com base nos parâmetros e relações apresentadas na Figura 9. A parte de alimentação do ciclone é localizada na parte superior e possui uma largura de entrada (B_c) de 2,5 cm, enquanto o comprimento da entrada (H_c) possui 5 cm, correspondendo a uma área de entrada de $12,5 \text{ cm}^2$. A saída *underflow* (D_u), possui um diâmetro de 2,5 cm, já a saída *overflow* (D_o) possui um diâmetro de

5,0 cm. O ciclone também contém um tubo interno que facilita a coleta no *overflow* (Sc), com altura de 6,2 cm. Na Figura 13 pode ser observado o projeto do ciclone com as respectivas dimensões.

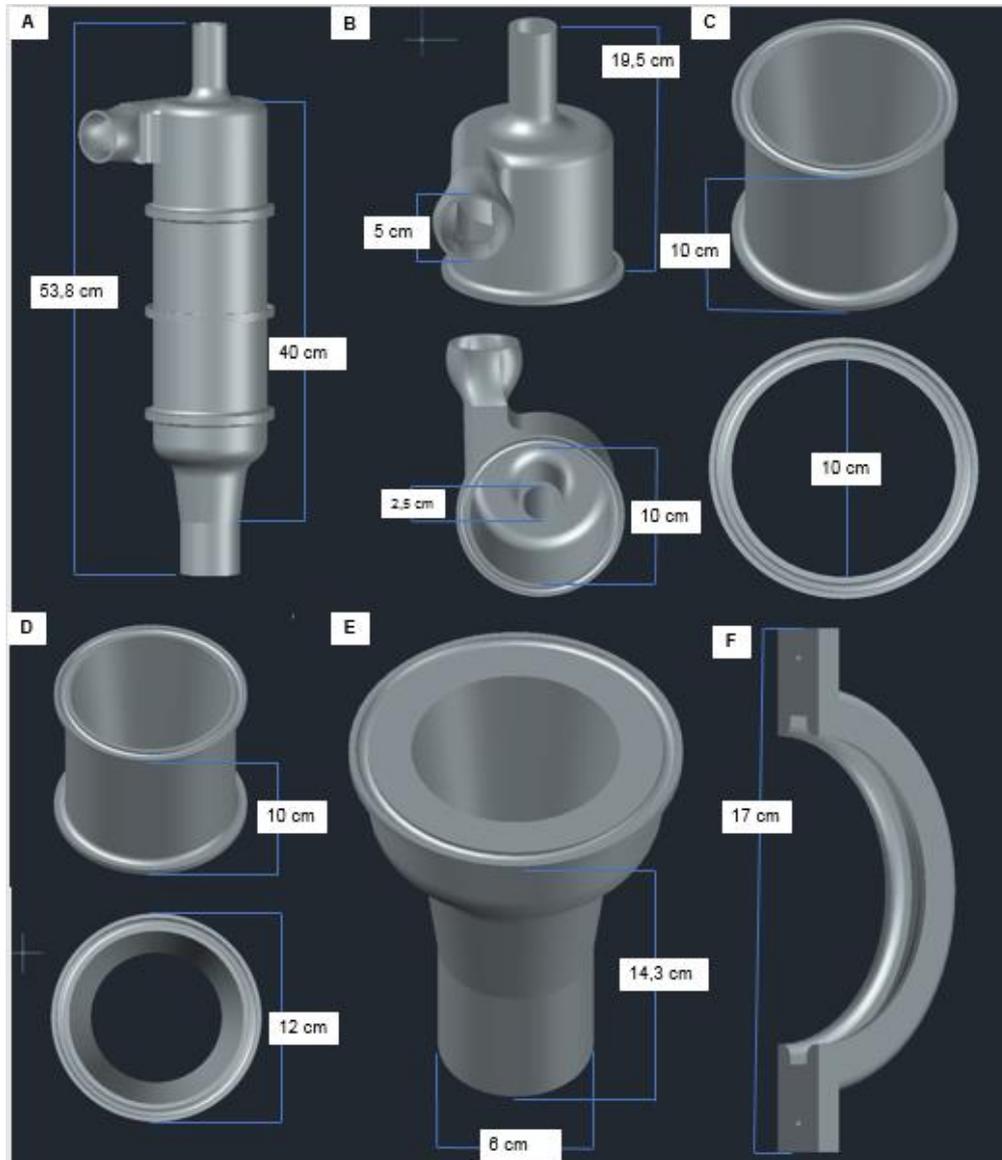
Figura 13 – Dimensionamento do ciclone com base no modelo Lapple.



Fonte: Adaptado de Massarani, 2001.

Após o dimensionamento do ciclone, iniciou-se o processo de modelagem digital. Foi necessário considerar o volume máximo do objeto que poderia ser confeccionado na impressora 3D, que era de 11.616 cm³, que corresponde às dimensões máximas de 220 x 220 x 240 mm. Devido a isso, o ciclone precisou ser dividido em quatro segmentos de aproximadamente 100 mm de comprimento. As maiores partes do ciclone consistiam na parte cilíndrica (Lc, Figura 13) e da parte cônica (Zc, Figura 13), as quais possuem um comprimento cerca de duas vezes superior ao diâmetro do equipamento. Logo, cada peça apresentou um comprimento de cerca de 20 cm, que resultou em um equipamento com 40 cm de altura interna. Os segmentos que compuseram o ciclone podem ser vistos na Figura 14.

Figura 14. A) visão do modelo digital do ciclone, B) vista da parte *overflow* do ciclone, C) vista do segundo segmento do ciclone, D) vista do terceiro segmento do ciclone, E) vista da parte *underflow* e F) braçadeira de união dos segmentos.



Fonte: Autor, 2021.

4.1.2 Impressão e montagem

Após o projeto e modelagem digital do ciclone, procedeu-se com a impressão 3D do equipamento com a utilização do polímero PETG, o qual foi escolhido por possuir mecânica e química adequadas para esta aplicação, além de apresentar baixo custo relativo. A montagem foi realizada em um suporte de madeira, devido ao fato deste permitir um manuseio e fixação adequados do sistema. Foi necessário desenvolver um sistema de vedação entre os segmentos do ciclone para minimizar

vazamentos de ar e perda de pressão. Isto foi feito através de anéis de borracha, como pode ser visto na Figura 15. Além disso, parafusos, porcas, arruelas e presilhas plásticas foram empregados na união dos segmentos que compõem o ciclone.

Figura 15. Braçadeira empregada para a vedação dos segmentos do ciclone.



Fonte: Autor, 2021.

Uma válvula gaveta foi posicionada na alimentação do sistema para permitir o ajuste da velocidade de alimentação da fase gasosa (Figura 16).

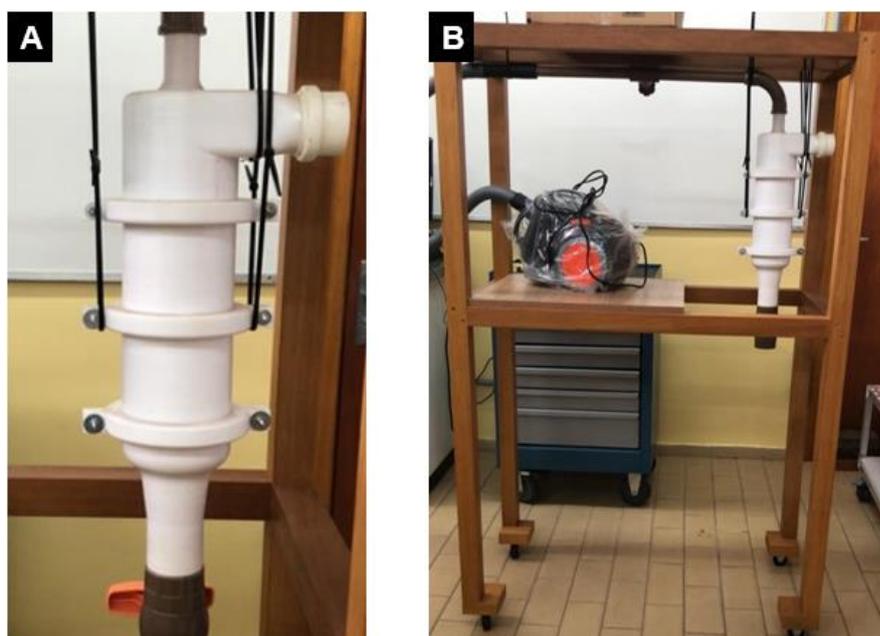
Figura 16. Sistema de controle de vazão da fase gasosa.



Fonte: Autor, 2021.

Na Figura 17, pode ser visto o ciclone, após a confecção por impressão 3D, bem como este montado no suporte desenvolvido. Devido ao ciclone ser dividido em quatro segmentos para sua confecção, sua aparência externa é diferente da aparência interna que é composta por um segmento cilíndrico e outro cônico, enquanto a parte externa ser em sua maioria cilíndrica para facilitar na união dos segmentos.

Figura 17. A) ciclone, B) protótipo montado na estrutura de madeira.



Fonte: Autor, 2021.

4.2 EXPERIMENTOS DE SEPARAÇÃO

Após o projeto, confecção e montagem do sistema, foram feitos experimentos para a determinação da eficiência de separação. Os resultados obtidos podem ser vistos nas Tabela 3.

Tabela 3. Resultados experimentais obtidos para a separação das amostras avaliadas no trabalho (n = 3).

Amostra	Massa inserida, g	Massa coletada overflow, g	Massa coletada underflow, g	Eficiência de separação, %	Perdas, %
Areia	500	0,00 ± 0,00	500 ± 0	100	0,00
Pó de brita	500	2,33 ± 0,58	497 ± 1	99,3	0,27
Areia + pó de brita	500	2,67 ± 1,15	497 ± 1	99,3	0,13

Fonte: Autor, 2021.

Os resultados obtidos mostram que as eficiências de separação foram superiores a 99,3 % para todas as amostras avaliadas, indicando que o dimensionamento do ciclone foi adequado para a aplicação avaliada. Para a areia, é possível observar que 100% das partículas foram coletadas no *underflow*, indicando

que a separação sólido-gás foi adequada. Não foi observada a saída de partículas pela corrente do *overflow* (Figura 18A). Possivelmente, isto ocorreu devido ao tamanho de partícula relativamente das partículas, os quais eram superiores ao diâmetro de corte previsto, somado a relativamente elevada densidade do material, que facilitou essa separação. Para o pó de brita, no entanto, é possível observar que $3,6 \pm 0,9$ g foram coletadas na saída *overflow*. Essas partículas apresentaram um diâmetro pequeno suficiente para serem direcionadas à corrente *overflow* e serem coletadas pelo aspirador de pó, ou seja, essas partículas possuíam um diâmetro menor ou igual ao diâmetro de corte, em que pode ser vista uma coloração distinta do material presente no coletor do aspirador de pó (Figura 18B). Nos experimentos de separação envolvendo a mistura dos dois componentes, também foi observada a coleta de partículas finas, possivelmente, oriundas da fração do pó de brita (Figura 18C).

Figura 18. Aspecto visual do coletor do aspirador de pó com as amostras de A) areia, B) pó de brita e C) mistura de areia e pó de brita.



Fonte: Autor, 2021.

Cabe destacar que durante a realização dos experimentos com o pó de brita, foram observadas perdas na massa de sólido durante a operação do equipamento, para somente a separação do pó de brita obteve-se uma perda de 0,27% enquanto para a mistura com areia foi de 0,13%. Foi observada a retenção das partículas, oriundas do *overflow*, na tubulação que conectava o ciclone ao aspirador de pó.

A velocidade de operação do ciclone conforme o projeto era de $12,5 \text{ m s}^{-1}$. No entanto, durante a realização dos experimentos, a velocidade atingida foi inferior, ao valor desejado, oscilando entre $6,8$ a $8,7 \text{ m s}^{-1}$. Isto possivelmente ocorreu devido à

grande perda de carga gerada pelo tamanho do ciclone. Cabe destacar que quando o aspirador não estava conectado ao sistema, a velocidade atingida por este era superior a $15,0 \text{ m s}^{-1}$, indicando que seria capaz de atingir a velocidade desejada. Com base nisso, foram feitos cálculos empregando os valores de velocidade observados experimentalmente, para se determinar o diâmetro de corte experimental do ciclone para as diferentes amostras avaliadas. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Diâmetro de corte com base na velocidade média experimental empregada

Amostra	Velocidade média experimental, m s^{-1}	Diâmetro de corte projetado, mm	Diâmetro de corte experimental, mm	Diferença, %
Areia	7,85	0,00259	0,00327	26,2
Pó de brita	8,35	0,00244	0,00299	22,3
Mistura	7,75	0,00251	0,00319	27,0

Fonte: Autor, 2021.

Com a realização destes cálculos foram obtidos diâmetros de corte experimentais superiores ao diâmetro de corte projetado, assim, é possível entender o motivo da coleta de algumas partículas de pó de brita pelo *overflow*. Esse aumento no diâmetro de corte do ciclone com a diminuição da velocidade de operação ocorreu, devido as partículas estarem sendo lançada para o interior do ciclone com menos velocidade e assim, acabaram por não colidir com as paredes do equipamento e, com isso, não perderam velocidade suficiente para serem coletadas. Se fosse trabalhado com a velocidade ideal de funcionamento do ciclone, provavelmente seria obtida uma eficiência de separação de 100% para a separação de ambos os materiais avaliados. No entanto, com o aumento no diâmetro de corte, ocorreu a diminuição da eficiência de separação.

Com o desenvolvimento dos experimentos de separação, foi possível notar que seria necessário um aspirador de pó com maior potência visando à obtenção de uma maior velocidade de operação, mais próxima ao valor projetado e assim aumentaria a eficiência de separação. Adicionalmente, materiais com diferentes densidades e tamanhos de partículas poderiam ser empregados para a avaliação da eficiência do

ciclone. Também poderia ser otimizada a construção de todo o sistema, visando a diminuição da perda de carga. A medição da perda de carga do sistema também poderia feita com o uso de um manômetro tipo tubo em U.

CONCLUSÕES

O desenvolvimento do sistema de ciclonamento pode ser realizado em todas as suas etapas previstas. O protótipo foi projetado através do modelo Lapple e confeccionado com a utilização de uma impressora 3D no polímero PETG. A realização dessas etapas foram cruciais para a possibilidade de avaliação da eficiência de separação do equipamento.

Obteve-se uma eficiência de separação superior a 99,3% para os materiais avaliados, indicando que o equipamento desenvolvido foi adequado para a aplicação proposta. Após a realização dos experimentos foi possível verificar que o polímero PETG escolhido para a impressão do equipamento, atendeu as expectativas, pois o equipamento suportou a pressão e força de atrito empregados.

REFERÊNCIAS

AMARIZ, Luiz Carlos. Info escola. **AutoCAD**. 2019. Disponível em: <https://www.infoescola.com/informatica/autocad/>. Acesso em: 14 nov 2019.

ARWEK®. **Precipitador Eletrostático**. 2021. Disponível em: <https://arwek.com.br/profissional/filtro-elestatico>. Acesso em: 7 abr. 2021.

AUTODESK. **O que é o AutoCAD**. 2019. Disponível em: <https://www.autodesk.com.br/products/autocad/overview>. Acesso em: 13 nov 2019.

CABREIRA, Vinícius. **Avaliação dos parâmetros de processamento em impressão 3D na propriedade do poliácido láctico**. 2018. 108f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre 2018.

CANTO, Eduardo Leite do; PERUZZO, Francisco Miragaia. **Química na abordagem do cotidiano**. 4. ed. São Paulo: Moderna, 2006.

CREMASCO, Marco Aurélio. **Operações unitárias em sistemas particulados e fluidomecânicos**. 2. ed. rev. São Paulo, SP: Blücher, 2019. 423 p. ISBN 9788521208556.

DASSAULT systemes. **Solidworks**. 2019. Disponível em: <https://www.solidworks.com/pt-br>. Acesso em: 13 nov 2019.

EQUIPE Educamundo. Educamundo. **O que é SolidWorks e por que ele é interessante para a modelagem 3D**. 2019. Disponível em: <https://www.educamundo.com.br/blog/programa-solidworks>. Acesso em: 14 nov 2019.

FILAMENT2PRINT. **Que é o PETG?**. 2019. Disponível em: https://filament2print.com/pt/blog/49_petg.html. Acesso em: 12 ago. 2020.

GOMIDE, Reynaldo. **Operações unitárias**. 3º volume, São Paulo: CIP- Brasil1980.

ISENMANN, Armin Franz. **Operações unitárias na indústria química** 2. ed Timóteo, MG:2012. ISBN 978-85-913050-2-6

LINO, V.M. **Impressão 3D**. 2014. 36f. Monografia (Tecnologia em Vinicius Martins Lino) – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro 2014.

LUVASUL Indústria LTDA. **Filtro Manga**. 2008. Disponível em: http://www.ambientelivre.com.br/projetos/luvasul/index.php?option=com_content&view=article&id=50&Itemid=57 . Acesso em: 26 nov 2019.

MASSARANI, Giulio. **Fluidodinâmica em sistemas particulados**. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: E-Papers, 2001. 152 p. ISBN 8587922327.

MATOS, Simone Pires de. **Operações unitárias fundamentos, transformações e aplicações dos fenômenos físicos e químicos**. São Paulo: Erica, 2015. ISBN 9788536520018.

MCCABE, Warren L.; SMITH, Julian C.; HARRIOTT, Peter. **Unit operations of chemical engineering**. 7° ed. Boston, MA: McGraw-Hill, 1993. xxv, 1140 p. ISBN 0072848235.

ORTEGA-RIVAS, Enrique. **Unit Operations of Particulate Solids Theory and Practice**. 4. ed. Nova Iorque: CRC Press is an imprint of the Taylor & Francis Group. 2011.

PEÇANHA, Ricardo Pires. **Sistemas particulados: operações unitárias envolvendo partículas e fluidos**. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier, 2014. XX, 399 p. ISBN 9788535277210.

PEDROTTI, M. F., **Construção de um sistema em fluxo contínuo para a extração de cromo de resíduos de couro curtido assistida por ultrassom**. Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Maria, 2021.

PERRY, Robert H.; GREEN, Don W. **Perry's chemical engineer's handbook**. 8. ed. Nova Iorque: Mc Graw Hill, 2008. ISBN 9780071422949.

ROZENBERG, I. M. **Química geral**. São Paulo: Edgard Blücher, 2002. xxiii, 676 p. ISBN 8521203047.

SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFRGS, XXVI, 2014, Porto Alegre. **Impressão 3D de alumina utilizando amiláceos como ligantes alternativos**. Porto Alegre: UFRGS, 2014. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/113581>. Acesso em: 13 nov 2019.

SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFRGS, XXX, 2018, Porto Alegre. **Impressão 3D de protótipos polímeros com atividade antibacteriana**. Porto Alegre: UFRGS, 2018. <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/190943>. Acesso em: 13 nov 2019.

SANTOS, Philipi Alves. **Reconstrução computacional de vértebras de um fóssil de titanossauro através de escaneamento, modelagem e impressão 3D**. 2016. 22f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Faculdade de Licenciatura em Ciências Naturais. Distrito Federal, Planaltina 2016.

SINNOTT, Ray K. **Chemical engineering design: principles, practice, and economics of plant and process design**. 4. ed. Oxford, Inglaterra: Elsevier, 2005. xvi, 1303 p. ISBN 9780080966595.

SUN, Angela. Tronxy P802M 3D Printer. [S. /], 2018. Disponível em: <https://www.tronxy.com/p802-series/tronxy-p802m-3d-printer.html>. Acesso em: 11 mar. 2020.