UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

LUIZ CARLOS BARBOSA VIANA

ADAPTAÇÃO DA DORNA PULMÃO DE VINHO LEVURADO PARA SEPARAÇÃO DE PARTÍCULAS INORGÂNICAS POR MEIO DE DECANTAÇÃO.

Pirassununga – SP
2020

Luiz Carlos Barbosa Viana

ADAPTAÇÃO DA DORNA PULMÃO DE VINHO LEVURADO PARA SEPARAÇÃO DE PARTÍCULAS INORGÂNICAS POR MEIO DE DECANTAÇÃO.

VERSÃO CORRIGIDA

Dissertação de Mestrado apresentado à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Gestão e Inovação na Indústria Animal.

Área de Concentração: Gestão e Inovação na Indústria Animal.

Orientador: Prof. Dr. Ernane José Xavier Costa

Pirassununga - SP
2020

Ficha catalográfica elaborado pelo
Serviço de Biblioteca e Informação, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo

V614a

Viana, Luiz Carlos Barbosa
Adaptação da Dorna Pulmão de Vinho Levurado para Separação de Partículas Inorgânicas por Meio de Decantação / Luiz Carlos Barbosa Viana; orientador Ernane José Xavier Costa. -- Pirassununga, 2020.
61 f.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Mestrado Profissional Gestão e Inovação na Indústria Animal) -- Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo.

1. Decantação gravitacional de sólidos. 2. Clarificação de vinho de cana de açúcar. 3. Fermentação de açucares. 4. produção de etanol. 5. mosto de caldo de cana e melaço. I. Costa, Ernane José Xavier, orientador. II. Título.

Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte - o autor

Dedicatória

Aos meus pais que me ensinaram valores éticos e morais e princípios para a vida.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer a Deus por sempre ter me dado ânimo de conduzir este intento adiante.

E a presente dissertação de mestrado não poderia a bom porto sem o precioso apoio de várias pessoas.

Agradeço ao meu orientador, Professor Doutor Ernane Jose Xavier da Costa por toda a paciência, carinho, dedicação, empenho e principalmente ao seu tempo, Eterna Gratidão!

Agradeço a todos os meus colegas do Mestrado, que de alguma forma dedicaram seu tempo e atenção nas diversas dúvidas que surgiram no desenvolvimento as tarefas para ultrapassar um grande obstáculo.

Por último, quero agradecer a minha esposa por ter estado presente em todos os momentos desta caminhada, que não é nada fácil depois de uma certa idade aonde a memória já não ajuda muito.

EPÍGRAFE

Uma grande visão nasce de um pequeno olhar.

1 RESUMO

VIANA, Luiz Carlos Barbosa. **Adaptação da dorna pulmão de vinho levurado para separação de partículas inorgânicas por meio de decantação.** 2020, 61 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Inovação na Indústria Animal) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2020.

A produção de matéria prima para indústria sucroalcooleira, a colheita da cana-de-açúcar é um serviço de alto custo. A escassez de mão-de-obra e a legislação ambiental eliminou a queima dos canaviais o que impossibilitou a colheita manual, obrigando que a colheita fosse substituída para o mecanizado. Pela dificuldade de adaptação da máquina colhedora ao solo, este método contribuiu para o aumento das impurezas minerais na cana a ser moída. Nas operações de extração do caldo, são carreados vários tipos de impurezas entre elas a mineral para o processo de produção de etanol. Na clarificação industrial do caldo de cana as impurezas minerais excessivas passam através do fluxo do processo para a fábrica de etanol, mais precisamente para os reatores de fermentação. Após a finalização da fermentação o vinho é conduzido ao processo de centrifugação para separar o fermento do vinho a ser destilado e neste processo ocorre a obstrução dos bicos das centrífugas, causados pelas impurezas oriundas da fermentação. As centrífugas necessitam parar para limpeza, na média a cada duas horas de operação por causa da quantidade de materiais sólidos, impactando na produção e na manutenção das mesmas. Como na indústria de fabricação do etanol não existe equipamento para essa finalidade, então criou-se um separador gravitacional de impurezas minerais na dorna pulmão (dorna de passagem) baseado no processo de decantação por adensamento. Construiu-se uma planta piloto em chapa de aço carbono simulando um micro processo de separação e avaliou-se o equipamento através de balanço de sólidos no vinho usando picnômetria (densidade) com três vazões diferentes. Obteve-se valores de eficiência decrescente 6,45% no primeiro ciclo; 3,87% no segundo ciclo e 3,17% no terceiro ciclo. Utilizando o mesmo princípio do equipamento anterior, criou-se em escala industrial um separador de sólidos que atendesse a demanda urgente da indústria. Este separador de sólidos implantou-se na dorna pulmão existente, cujas eficiências de separação foram obtidas assim: 3,7% na primeira dorna; 4,9% na segunda dorna e 4,3% na terceira dorna. Após a instalação na indústria, a limpeza e manutenção das centrífugas reduziu-se a frequência de duas para cada oito horas de trabalho continuo. Se não houvesse esse equipamento, as impurezas de densidade maior do que 1,0615 seriam retornados pela centrifugação para o próximo ciclo fermentativo, elevando a concentração cada vez mais na fermentação.

Palavras-chave: bioetanol, picnometria, fermentação, impurezas inorgânicas.

ABSTRACT

VIANA, Luiz Carlos Barbosa. **Adaptação da dorna pulmão de vinho levurado para separação de partículas inorgânicas por meio de decantação.** 2020, 61 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Inovação na Indústria Animal) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2020.

The production of raw materials for the sugar and alcohol industry, the harvesting of sugar cane is a high cost service. The scarcity of labor and environmental legislation eliminated the burning of cane fields, which made manual harvesting impossible, forcing the harvest to be replaced for mechanized harvesting. Due to the difficulty of adapting the harvester to the soil, this method contributed to the increase of mineral impurities in the cane to be ground. In the juice extraction operations, various types of impurities are carried, including the mineral for the ethanol production process. In the industrial clarification of sugarcane juice, excessive mineral impurities pass through the process flow to the ethanol plant, more precisely to the fermentation reactors. After the end of the fermentation, the wine is taken to the centrifugation process to separate the yeast from the wine to be distilled, and in this process, the nozzles of the centrifuges are blocked, caused by the impurities from the fermentation. Centrifuges need to stop for cleaning, on average every two hours of operation because of the amount of solid materials, impacting their production and maintenance. As in the ethanol manufacturing industry there is no equipment for this purpose, so a gravitational separator of mineral impurities was created in the lung vat (passage vat) based on the process settling by densification. A pilot plant was built in carbon steel plate simulating a micro separation process and the equipment was evaluated through the balance of solids in the wine using pycnometry (density) with three different flow rates. Decreasing efficiency values of 6.45% were obtained in the first cycle; 3.87% in the second cycle and 3.17% in the third cycle. Using the same principle as the previous equipment, a solid separator was created on an industrial scale to meet the urgent demand of the industry. This solids separator was implanted in the existing lung vat, whose separation efficiencies were obtained as follows: 3.7% in the first vat; 4.9% in the second vat and 4.3% in the third vat. After installation in the industry, the cleaning and maintenance of the centrifuges reduced the frequency of two for every eight hours of continuous work. If this equipment were not available, impurities with a density greater than 1.0615 would be returned by centrifugation for the next fermentation cycle, increasing the concentration even more in the fermentation.

Keywords: bioethanol, pycnometry, fermentation, inorganic impurities

1 LISTA DE ABREVIATURAS

1.2 USGA *Usina Serra Grande Alagoas*

1.3 FAO.Organização das Nações Unidas para Agricultura
1.4. IICA.Instituto Interamericano de Cooperação para Agricultura
1.5 E.U.A. Estados Unidos da América
1.6 CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento
1.7 BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
1.8 CGEE. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
1.9 CONSECANA. Conselho de Representantes de produtores de cana-de-açúcar
2.0 USP. Universidade de São Paulo
2.1 Microserv Empresa de Pesquisa em Microbiologia.
2.2 Prosab Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
2.3 PH Potencial hidrogeniônico.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Fluxograma de processo de Álcool e Açúcar.....15
Figura 2 - Gráfico de crescimento microbiológico.....17
Figura 3 - Forças que atuam numa partícula 19
Figura 4- Movimento bidimensional de partícula.....21
Figura 5 - Esquema descritivo de um Hidrociclone.....22
Figura 6 - Esquema típico de funcionamento de Hidrociclone.....23
Figura 7 - Perfil de Velocidade tangencial no interior do hidrociclone.....25
Figura 8 - Perfil de velocidade vertical em axial no interior do hidrociclone.....26
Figura 9 - Curvas de partição típicas de hidrociclone.....28
Figura 10 - Ensaio de Adensamento de lodo por gravidade 31
Figura 11- Projeto da planta piloto.....34
Figura 12 - Picnômetro e balança digital.....37
Figura 13 - Estufa de secagem 37
Figura 14 - Dessecador.....37
Figura 15 – Equipamento industrial que foi avaliado.....38
Figura 16 - Esquema de fluxo operacional do equipamento avaliado 40
Figura 17 - Planta piloto (protótipo) do separador de partículas.....42
Figura 18 - Gráfico dos comportamentos das densidades na planta piloto.....44
Figura 19 - Diagrama representativo do balanço de sólidos ciclo 01 45
Figura 20 - Diagrama representativo do balanço de sólidos ciclo 02 46
Figura 21 - Diagrama representativo do balanço de sólidos ciclo 03 47
Figura 22 - Gráfico do decantado em função do tempo de cada ciclo.....48
Figura 23 - Fluxograma da planta industrial com introdução do separador.....50
Figura 24 - Gráfico do processo de separação de sólidos na indústria.....52
Figura 25 - Diagrama representativo do balanço de sólidos dorna 01 53
Figura 26 - Diagrama representativo do balanço de sólidos dorna 02 54
Figura 27 - Diagrama representativo do balanço de sólidos dorna 03 55
Figura 28 - Gráfico do decantado em função do tempo de cada dorna.....56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Proporções geométricas das “famílias” de hidrociclone.....23

Tabela 2 – Cálculos da vazão para ciclo do processo no protótipo.....43

Tabela 3 – Cálculo do volume do underflow.....43

Tabela 4 – Densidade e desvio padrão.....43

Tabela 5 – Vazões do processo do vinho nos ciclos 1,2 e 3.....44

Tabela 6 – Densidade do vinho coletado no protótipo ciclo 01.....45

Tabela 7 – Densidade no vinho coletado no protótipo ciclo 02.....46

Tabela 8 – Densidade no vinho coletado no protótipo ciclo 03.....47

Tabela 9 – Decantação em função do tempo da planta piloto 48

Tabela 10 – ANOVA.....49

Tabela 11 – Teste de Tukey.....49

Tabela 12 - Dados da coleta do processo e dimensões do equipamento.....51

Tabela 13 -Densidade do vinho no equipamento avaliado e desvio padrão.....51

Tabela 14 – Vazões do equipamento avaliado na indústria.....52

Tabela 15 – Densidade no vinho coletado o equipamento avaliado dorna 01.....52

Tabela 16 - Densidade no vinho coletado o equipamento avaliado dorna 02.....53

Tabela 17 - Densidade no vinho coletado o equipamento avaliado dorna 03.....54

Tabela 18 – Decantado em função do tempo no equipamento na Industria.....56

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO..... 13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....15
2.1 Processo produtivo do etanol.....15
2.1.1 Recebimento de matéria prima.....16
2.1.2 Extração de caldo.....16
2.1.3 Fermentação.....16
2.2 Mecanismo de distribuição de partículas.....18
2.3 Métodos de separação sólidos/líquido.....22
2.3.1 Classificações dos hidrociclones.....23
2.3.2 Desempenho em hidrociclones 24
2.3.3 Variáveis relevantes no estudo do hidrociclone..... 26
2.3.4 Dimensionamento de hidrociclones.....27
2.3.5 Separação por adensamento.....30
2.3.6 Densidades.....31
3 OBJETIVO.....33
3.1 Objetivo geral 33
3.2 Objetivos específicos.....33
4 MATERIAL E MÉTODOS 33
4.1 Desenvolvimento das análises de validação do processo 33
4.1.1 Descrição do protótipo a ser avaliado 33
4.1.2 Procedimento de operação da planta piloto.....34
4.1.3 Procedimento para cálculo da vazão de alimentação, underflow p/ciclo 35
4.1.4 Procedimento de coleta das amostras.....35
4.1.5 Metodologia de analise com uso do picnômetro.....35
4.1.6 Procedimento de analise da densidade.....36
4.1.7 Equipamentos utilizados na analises de densidades das amostras.....36
4.1.8 Descrição do vinho no experimento no experimento piloto.....37
4.1.9 Balanço de sólidos totais da planta piloto.....37
4.1.10 Aplicação do cálculo do balanço de sólidos.....37
4.1.11 Teste de estatística.....38
4.2 Metodologia das análises de validação de separação na indústria.....38
4.2.1 Descrição do equipamento a ser avaliado na indústria.....38
4.2.2 Procedimento de como operação na planta industrial.....39
4.2.3 Procedimento da coleta das amostras e análise laboratorial.....39
4.2.4 Materiais e equipamentos que serão usados na validação.....40
4.2.5 Descrição do vinho na planta industrial.....40
4.2.6 Metodologia das análises para validação dorna adaptada na indústria...41
4.2.7 Metodologia das análises com o uso do picnômetro.....41
4.2.8 Procedimento das analises.....41
4.2.9 Balanço de sólidos totais no equipamento avaliado na indústria.....41
4.2.10 Aplicação do cálculo do balanço de sólidos na indústria.....42
5 Resultado e discussão do protótipo e na indústria.....42

5.1 Cálculo do balanço de sólidos na planta piloto.....45
5.2 Cálculo do balanço de equipamento industrial.....52
6 Conclusão.....57
7 REFERÊNCIAS 58

LISTA DE SÍMBOLOS

c_v – concentração volumétrica de sólidos na alimentação ..... [-]

c_{vu} – concentração volumétrica de sólidos no *underflow* ..... [-]

c_w – concentração mássica de sólidos na alimentação ..... [-]

c_{wu} – concentração mássica de sólidos no *underflow* ..... [-]

d_p – diâmetro da partícula ..... [L]

d_{50} – diâmetro de corte ..... [L]

d'_{50} – diâmetro de corte reduzido ..... [L]

d^* – parâmetro dos modelos de distribuição granulométrica ..... [L]

D_a – diâmetro da alimentação do hidrociclone codificado ..... [-]

D_c – diâmetro da parte cilíndrica do hidrociclone ..... [L]

D_i – diâmetro do duto de alimentação ..... [L]

D_o – diâmetro do *overflow* do hidrociclone codificado ..... [-]

D_u – diâmetro do *underflow* ..... [L]

Eu – número de Euler ..... [-]

f_G – parâmetro que relaciona força centrífuga e a força da gravidade ..... [-]

F_c – força centrífuga ..... [$ML^{-1}T^{-2}$]

g – aceleração gravitacional ..... [LT^{-2}]

K – constante característica para cada família de ciclone e/ou hidrociclone ..... [-]

ℓ – comprimento do *vortex finder* ..... [L]

L – comprimento do hidrociclone ..... [L]

L_1 – comprimento da parte cilíndrica do hidrociclone ..... [L]

M_b – massa do béquer ..... [M]

M_{b+s} – massa do béquer com sólido seco ..... [M]

M_{b+su} – massa do béquer com suspensão ..... [M]

M_s – massa do sólido seco ..... [M]

M_{su} – massa de suspensão ..... [M]

n – parâmetro dos modelos de distribuição granulométrica ..... [-]

Q – vazão volumétrica de alimentação do hidrociclone ..... [L^3T^{-1}]

Q_A – vazão volumétrica de alimentação ..... [L^3T^{-1}]

Q_u – vazão volumétrica do *underflow* do hidrociclone ..... [L^3T^{-1}]

r – raio da parte cilíndrica do hidrociclone ..... [L]

R – raio da seção cilíndrica do hidrociclone ..... [L]

Re – número de Reynolds ..... [-]

R_L – razão de líquido ..... [-]

S_{tk50} – número de Stokes ..... [-]

u – velocidade axial simulada ..... [LT^{-1}]

u_c – velocidade superficial no corpo cilíndrico do hidrociclone ..... [LT^{-1}]

u_i – velocidade de entrada do fluido ..... [LT^{-1}]

u_θ – velocidade tangencial ..... [LT^{-1}]

u_z – velocidade axial do fluido ..... [LT^{-1}]

v – velocidade da suspensão no duto de alimentação ..... [LT^{-1}]

v_r – velocidade da partícula na direção radial ..... [LT^{-1}]

v_t – velocidade da partícula na direção tangencial ..... [LT^{-1}]

W – vazão mássica da alimentação ..... [MT^{-1}]

W_u – vazão mássica do *underflow* ..... [MT^{-1}]

X – fração mássica da partícula na alimentação menor que certo diâmetro analisado ..... [-]

ρ – densidade da suspensão da alimentação ..... [ML^{-3}]

ρ_s – densidade da partícula ..... [ML^{-3}]

ρ_{H2O} – densidade da água ..... [ML^{-3}]

ρ_u – densidade da suspensão do *underflow* ..... [ML^{-3}]

θ – ângulo do tronco de cone do hidrociclone codificado ..... [-]

σ – parâmetro do modelo de distribuição granulométrica Probabilidade log ..... [-]

μ – viscosidade da suspensão ..... [$ML^{-1}T^{-1}$]

η – eficiência total ..... [-]

η' – eficiência total reduzida ..... [-]

ΔP – queda de pressão do hidrociclone codificada ..... [-]

$\Delta\rho$ – diferença entre as densidades do líquido e do sólido ..... [ML^{-3}]

1 INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar marca a História do Brasil e teve a produção reconhecida desde o ano de 1.532. Os primeiros usos práticos do etanol como combustível deram-se entre meados dos anos 1920 e início dos anos 1930. No início da década seguinte com a queda nos preços do petróleo, este empreendimento não teve condições de prosseguir, a partir da crise do petróleo na década de 1970, o governo brasileiro, numa atitude isolada internacionalmente, criou o programa Proálcool (CORTEZ, 2016).

Durante muitos anos, colheu-se cana de maneira manual e após o início da industrialização do setor, aumentou-se a escala com investimentos maciços para produzir açúcar e álcool para abastecer o comércio interno e o externo. Essa pujante indústria, que criou no último ano, um produto interno bruto setorial superior a 40 bilhões de dólares, e proporcionou 1 milhão de empregos diretos (Lima, Urgel de Almeida; Aquarone, Eugênio; Borzani Walter; Shmidell; 2001)

Ao iniciar a década de 1990, iniciou-se uma nova estrutura para produção e exportação de etanol brasileiro. A retomada do setor foi incentivada, no início de 1999, por fatos externos provocando grande repercussão interna: como a elevação do preço do petróleo, e a desvalorização do real, que ficava oneroso para os consumidores brasileiros o carburante importado. No início do século XXI, os Estados Unidos foi o maior produtor e consumidor de etanol. (FAO, 2009b; IICA, 2009).

O Brasil e os EUA são os principais produtores de etanol, seguidos por China, Índia e França. O comércio internacional representa pouco mais de 10% da produção, sendo o Brasil responsável por quase dois terços das exportações com perspectiva de crescimento, evidenciou que a concorrência de um país está relacionada com a capacidade de tal país em inovar e melhorar (SCHUTTE; BARROS, 2014).

Com a intensificação da colheita mecanizada houve um aumento das impurezas colhidas juntamente com a cana-de-açúcar, isso repercutiu no processo de clarificação de caldo nas usinas, uma das operações unitárias mais complexas. A qualidade do clarificado é de grande importância no processo de filtração do caldo e a quantidade de impurezas pode alterar o cálculo do coeficiente de transferência de calor no evaporador o que acarreta uma elevação na quantidade de impurezas nos sólidos totais do produto final do processo de evaporação (DOHERTY; RACKEMANN, 2008).

O etanol pode ser obtido a partir do caldo de cana ou de uma mistura de caldo de cana e melaço (mel resultante da fábrica de açúcar com 50% de açúcar na concentração final). O caldo de cana é processado, aquecido e decantado, posteriormente é evaporado obtendo-se o caldo concentrado para produzir o mosto (mistura de caldo e melaço diluído em água para a concentração desejada), pronto para fermentação em reatores cilíndricos confeccionados em chapa de aço carbono, que na indústria chamamos de dorna.

A fermentação inicia com as leveduras Saccharomyces cerevisiae, que são introduzidas no mosto. O processo fermentativo necessita de 8 –12 h, para o término do fermentado, (vinho) contendo 7 a 10% de etanol. As leveduras são então recicladas através das centrífugas, e o vinho é destilado para recuperar o etanol. (BARBOSA et al.2010).

No processo de separação de fermento para o reciclo, ocorrem em várias unidades de produção de etanol dificuldade de centrifugação, devido as oscilações operacionais no processo de decantação, as impurezas são carreadas no mosto (caldo mais mel diluído a 20º Brix) para fermentação e após o período de fermentação em que o mosto é convertido em vinho a centrifugar para reciclar o fermento para fermentações posteriores, as impurezas presentes obstruem os bicos separadores nas centrífugas impactando as metas de produtividade da indústria de etanol.

A sedimentação nos fornece a solução para os pontos levantados anteriormente e faz-se necessário e importante, o estudo dos processos de sedimentação e espessamentos com uma alternativa de melhoria para clarificar o vinho que contém as impurezas de naturezas inorgânicas. Com base nesses estudos, verificamos a eficiência de uma dorna pulmão de vinho levurado adaptada para separação de partículas inorgânicas por meio de decantação gravitacional.

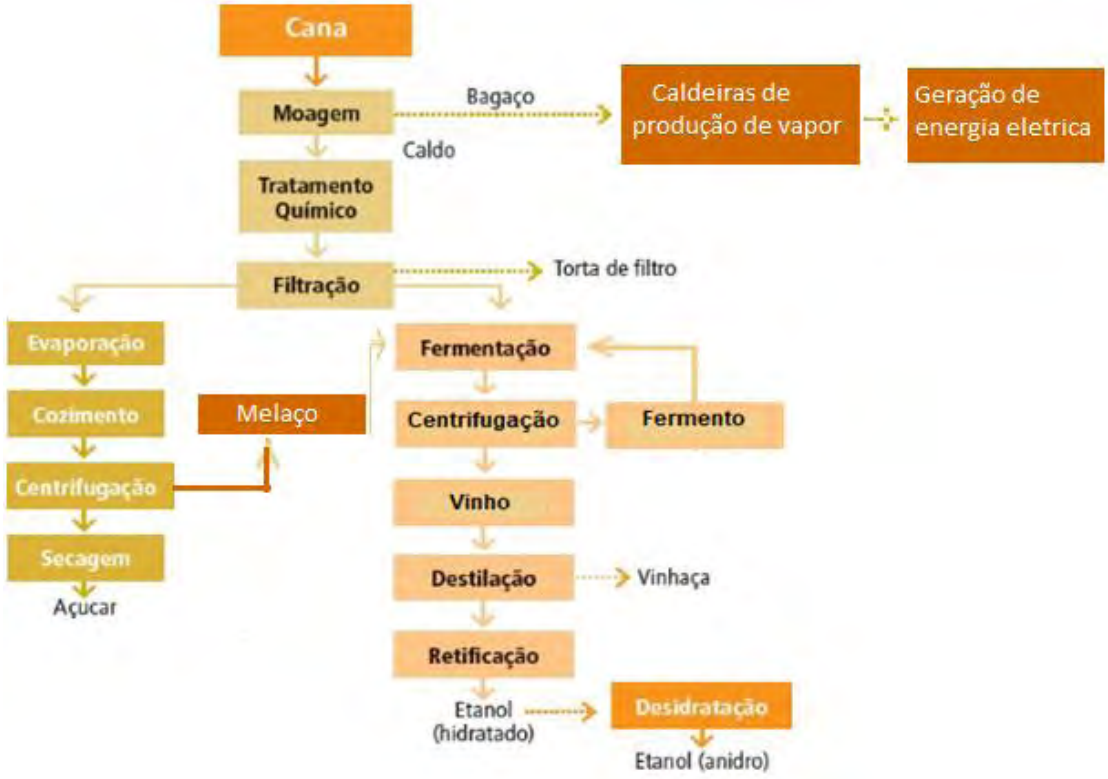
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentados aspectos gerais sobre a industrialização da cana-de-açúcar. As operações unitárias envolvidas no processamento da cana-de-açúcar, processos convencionais de clarificação do caldo de cana destinado a produção de Etanol já listados em base de dados. Apresentamos mecanismos da distribuição de partículas e alguns métodos relacionados com o princípio de separação no processo fermentativo.

2.1 Processo produtivo do etanol.

Segundo Lima (1975) é possível obter-se o etanol por três maneiras distintas: por via sintética, por via destilatória e por via fermentativa, sendo essa última a mais utilizada. O processo industrial do etanol está representado na figura (1) que consiste em várias etapas que envolvem desde a recepção da matéria prima até o armazenamento do produto final.

Figura 1 - apresenta o fluxograma das etapas da produção de etanol.



Fonte: Adaptado de SEABRA 2008

O Conselho de Produtores de cana-de açúcar (CONSECANA-SP) (2013) é quem rege controle de qualidade da matéria prima, através das análises do teor de sólidos totais e da leitura sacarimétrica do caldo, a pureza aparente do caldo, os açúcares redutores da cana. Através da pureza aparente da cana e os açúcares redutores da cana é determinado o açúcar total recuperável.

2.1.1 Recebimento de matéria prima.

Segundo ALCARDE, (2018)**,** a cana que chega na usina é pesada, analisada o percentual de açúcar presente na cana e suas impurezas tanto de natureza orgânica (palha) quando de natureza inorgânica (terra que foi coletado junto com a matéria prima). Os valores apurados das medições são informados a produção agrícola e a indústria, através de software para que sejam feitos os balanços de massa (açúcar) na unidade Industrial a fim de controlar a produção.

2.1.2 Extração do caldo

Toda cana que entra na usina é descarregada na mesa alimentadora e conduzida pelas esteiras para serem desfibradas por picadores que destroem os colmos. Nesse processo as células da cana são abertas sem perda do caldo e o caldo é extraído por conjunto de moendas que geralmente são 5 ternos, fazendo-se passar a cana desfibrada (triturada) em cada terno. À medida que a cana desfibrada vai penetrando no terno de moendas o caldo é extraído pela ação da pressão entre os rolos resultando em dois produtos, o bagaço, (fibra da cana) que pode ser utilizado para cogeração de energia e o caldo que alimenta o processo de clarificação para posterior destino fábrica de açúcar ou etanol(Site EMBRAPA 2019).

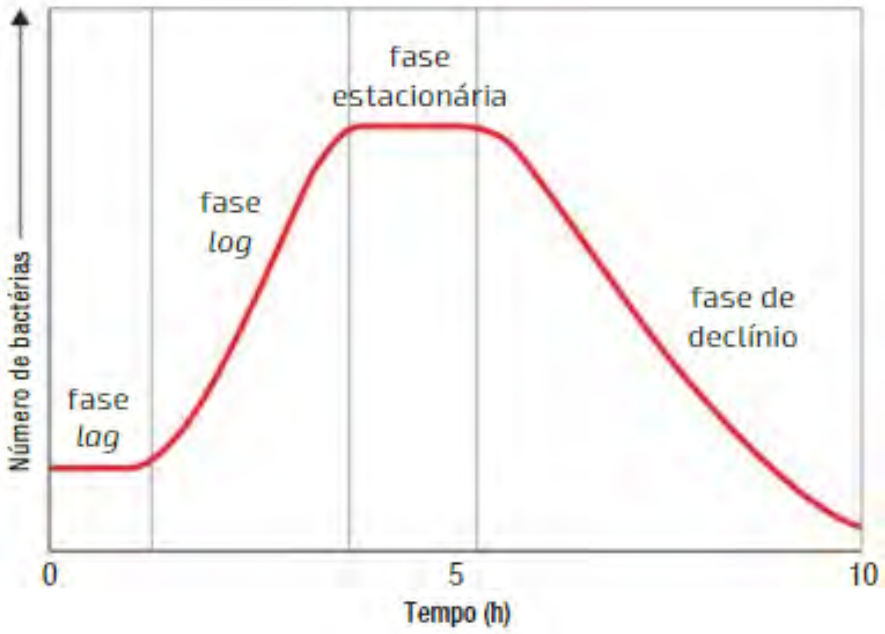
Segundo Payne (2010), o caldo resultante da extração pelas moendas precisa ser limpo (clarificado). Como caldo de cana é ligeiramente ácido necessita aumentar o PH = 7,2 (potencial hidrogeniônico) a fim de que o valor das perdas por inversão da sacarose permaneça num nível mínimo. Isso se faz com uso de leite cal. Para clarificar o caldo necessita elevar a temperatura deste entre 103 e 105º C. Esse processo em si elimina a contaminação microbiana e completa a floculação das impurezas presentes no caldo. Para obter a clarificação utiliza-se a decantação que produz caldo limpo isento de impurezas que através dos coletores que estão inseridos no decantador são bombeados para a fábrica de etanol e no underflow extrai-se o lodo nos filtros a vácuo, que consiste de um tambor rotativo, onde a parte inferior está inserido no cocho de lodo, com a finalidade de separar através de telas o caldo das impurezas contidas nele (PAYNE 2010). Após o caldo decantado (caldo limpo) sair do decantador vai para a fábrica de açúcar onde é concentrado e de lá como resíduo é obtido o melaço. Este é usado no preparo de mosto e é bombeado para o processo fermentativo, que está descrito abaixo.

2.1.3 Fermentação.

A Fermentação é um processo que se usa leveduras na presença de açúcares na forma de substrato. Esse substrato requer que a qualidade da água e melaço utilizado possuam parâmetros de sólidos compatíveis com as necessidades do processo. Para formar o composto no diluidor usa-se melaço para formar o mosto (melaço mais água diluído a um teor de açúcar 24° brix) para fermentação.

O processo fermentativo é dividido em três fases como está representado na fig. (2) abaixo: Fase log, fase exponencial e fase estacionária**.** (LIMA 1975).

Figura 2 - Curva de crescimento microbiano.



Fonte: Tortora G. J; Funke B. R; Case C.L. Microbiologia 8 ed. Porto Alegre Artmed. pg.172. ano 2005.

Depois das leveduras fabricarem o etanol nas dornas elas têm que ser separadas pelas centrífugas para o reciclo. Neste processo é fundamental importância do desempenho das centrífugas e de seus componentes. Sedimentos carreados pela água de diluição e as impurezas do melaço reduzem a vida útil de componentes das centrífugas, tais como: rotores das bombas, bicos de concentração, conjuntos de pratos tambor distribuidor e envelope.

A qualidade da água aqui definida, refere-se às características que podem afetar a operação de separação do levedo, ou seja, a relação entre qualidade da água e do mel e as necessidades do usuário. Esta qualidade é definida por uma ou mais características físicas, químicas e biológicas. (AQUARONE 1975).

Água e o melaço contendo sedimentos em suspensão têm sido a causa de sérios problemas ao sistema de separação do levedo, principalmente a obstrução dos bicos de concentração do levedo, ocasionando como consequência, perda de eficiência da separação deste. A perda do levedo pelo vinho delevurado (vinho que não deverá ter levedo) compromete o próximo ciclo do processo fermentativo reduzindo sua eficiência.

A quantidade de sedimentos presentes na água e melaço vai influenciar no tempo de centrifugação do vinho fermentado nas dornas, necessitando de mais tempo consumindo mais energia e reduzindo a quantidade de ciclos fermentativos do processo diário, além de aumentar a manutenção das centrífugas, como substituição de bicos e materiais de acionamento do conjunto separador, com

desbalanceamento e quebra de rolamentos aumentando o custo operacional. (BORZANI, 1975)

A obstrução física de componentes das centrífugas pode ser causado por fatores, tais como, a suspensão de partículas inorgânicas (areia, argila, etc.) e material orgânico (bagacilho, levedo floculado etc.). A manutenção preventiva e constante constitui-se na melhor solução para reduzir ou eliminar as causas de entupimento.

O bom dimensionamento do sistema de separação desses sedimentos é importante para o seu adequado desempenho. A escolha do tipo e capacidade do sistema de separação, é de fundamental importância, evitando-se assim o aumento dos custos de operação e manutenção das centrífugas, devido a necessidade de limpeza e trocas frequentes de seus componentes.

Para analisarmos a natureza dos problemas de impurezas no vinho, apresentamos a seguir o estudo do comportamento da distribuição das partículas imerso em um fluído.

2.2 Mecanismos de distribuição de partículas.

O estudo do movimento de distribuição de partículas tem grande importância a ser considerado na determinação da distribuição do tamanho de partícula e qual dimensão da partícula está sendo medida. Podemos observar o comportamento de uma partícula num fluido desde que seja averiguado o valor do atrito para um dado valor do número de Reynolds.

O comportamento de uma partícula que está sob ação de uma aceleração ou retardação tem sido objeto de uns grandes números de pesquisas, como numa revisão crítica por (TOROBIN e GAUVIN 1961). Os resultados mostraram que o fator de atrito está muitas vezes relacionado não apenas com o número de Reynolds, mas também com o número do diâmetro da partícula que a se deslocou desde o início do movimento. A princípio sugere-se que a partícula se comporte como se a sua massa tivesse sido aumentada de um valor proporcional a massa do fluido deslocado, mas esse conceito é mais interessante quando supomos que o fator de atrito é modificado pelos efeitos da aceleração.

Uma esfera pode ter o seu tamanho definido por um único valor: o diâmetro. Porém partículas com formatos irregulares necessitam de mais de uma medida para a quantificação do seu tamanho. Para expressar este valor em um único número, normalmente adota-se o valor de uma esfera equivalente.

Em um escoamento de fluido em regime permanente contendo corpos sólidos são geradas camadas limites e o fluido fornece uma resistência sobre o sólido. Está resistência é a combinação de arraste por uma camada limite e um arraste devido a forma que podemos expressar através de um coeficiente de arraste (CA) pela seguinte equação. (1). (Greankoplis 2003)

$$CA = \frac{2Fa}{Vcl^2.\rho s} \qquad (1)$$

onde: “F “é a força que atua sobre o sólido. “Vc” é a velocidade da constante livre em relação a partícula sólida e “S” é a área da seção reta do sólido na direção normal ao escoamento.

A equação (1) é de grande importância quando necessitamos examinar a transferência de momento numa fronteira fluido-sólido. Daí a grande importância quando dessa equação desejamos projetar sistemas de tubulações (WENZEL, LEONARDO A.1980.)

Matematicamente esta ocorrência leva a adoção de expressões médias e estatísticas para descrever as propriedades dos sólidos particulados. Podemos imaginar que uma partícula em movimento linear num fluido, conduzida por uma força externa. Que pode ser uma força da gravidade ou mesmo de um campo centrífugo. O estudo básico do movimento dos sólidos através dos fluídos estão ligados ao conceito dos movimentos dos corpos livres. Que é dado pela equação (2) apresentada a seguir:

$$Fgc = \frac{m.dv}{d\theta}$$

Onde: Fgc é a força resultante que atua sobre qualquer corpo
dv/dθ é a aceleração do corpo
m é a massa do corpo. (FOUST, ALAN S.1980)

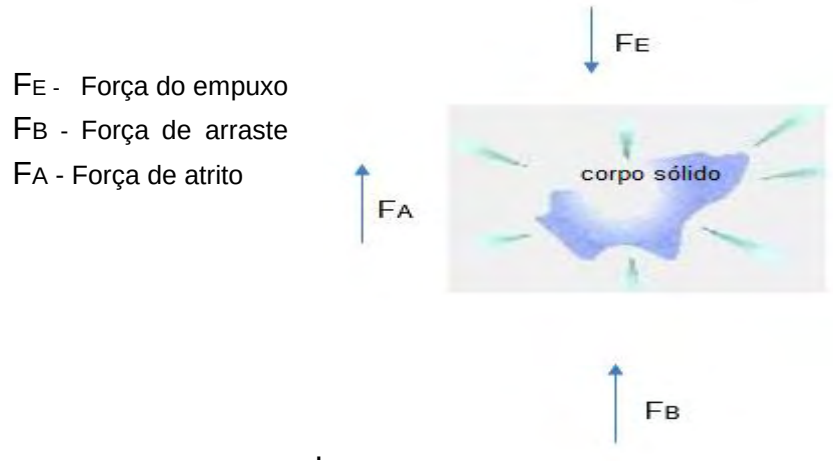
A Figura (3) apresenta uma representação das forças que atuam sobre o corpo em queda é a força de arraste (FE), a força de empuxo (FB) força de arraste (FA) devido ao atrito na direção da velocidade relativa entre o fluido e a partícula, dado pela fórmula a seguir:

$$(FE - FA - FB)\ g = m\frac{dv}{d\theta} \qquad (3)$$

a força externa (FE) pode ser expressa pela lei de Newton sob a forma

$$FEgc = ma \qquad (4)$$

Figura 3 – Forças que atuam num corpo.



Fonte: Rawle.

Em que FA é aceleração da partícula resultante da força externa. A força de arraste em que ρ é a densidade do fluido e VcL é a velocidade relativa entre a partícula e o fluido é obtida pela seguinte equação:

$$FAgc = \frac{CA.VCL^2.\rho s}{2} \qquad (5)$$

O princípio de Arquimedes, conforme mostrado na Equação (5), dá o empuxo. A massa do fluido deslocado é (m/ρs), em que ρs e ρ são densidade do sólido e do fluído respectivamente, portanto: (PAPINI, 2003)

$$FBgc = \frac{m}{\rho s}\rho AE \qquad (6)$$

levando a equação; (3) e (4) vem na equação:

$$\frac{dv}{d\theta} = \frac{aE - \rho aE\ .2m}{\rho s - CA.VCL^2.\rho s} \qquad (7)$$

A equação (5) é a equação geral da força total que age sobre um corpo em qualquer campo de forças. A sua resolução exige o conhecimento da natureza da força externa e do coeficiente de arraste. Se a força externa for a gravidade aE é igual a aceleração da gravidade "g" então a equação (8) assim demostrada.

$$\frac{dv}{d\theta} = g\left(1 - \frac{\rho}{\rho s}\right) - CA.V^2.\rho s \qquad (8)$$

Se a força externa é proveniente de um campo centrífugo dado que:

$$aE = r.\omega^2 \qquad (9)$$

r é o raio no ponto da trajetória

ω é a velocidade angular em radianos por segundo.

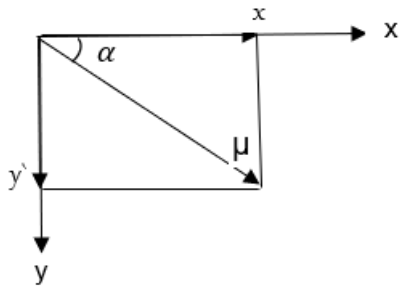
Fazendo a substituição obtemos a equação (10):

$$\frac{dv}{d\theta} = r.\omega^2\left(1 - \frac{\rho}{\rho s}\right) - \mathrm{CA.VL^2}.\frac{\rho s}{2m} \qquad (10)$$

As Equações. (7) e (9) são ambos importantes para resolver problemas de separação mecânica mediante fluidos. (LOUIS MAUS; ANDERSON 1980).

Considerando o movimento de uma partícula de massa **m** em um campo de ação gravitacional representado na figura 4, abaixo. Em um dado momento "**t**" a partícula estar-se-á a mover, segundo uma direção que faz um ângulo "**α**" com a horizontal, a uma velocidade "**μ**" pode, pois ser decomposta em duas componentes, x e **y**, nas direções horizontais e verticais. **x'** e **x''** serão usados para representar a primeira e segunda derivada do deslocamento **x** na direção **x** em relação ao tempo respectivamente e **y'** e **y''** as derivadas correspondentes na direção **y.**

Figura 4 - Movimento bidimensional de partícula.



Fonte: J.M. Coulson 1965

Analisando as decomposições do plano cartesiano acima Temos:

$$\text{Cos} \propto = \frac{\times}{\mu} \qquad (11)$$

$$\propto = \frac{\ddot{y}}{\mu} \qquad (12)$$

$$\mu = \sqrt{x^2 + \ddot{y}^2} \qquad (13)$$

Como há duas forças que atuam no corpo:

(1) Na direção vertical, o peso aparente da partícula:

$$mg\left(1 - \frac{\rho}{\rho s}\right) \qquad (14)$$

(2) A força de atrito, que é igual a R'A' e atua na direção tal que se opõe ao movimento da partícula. A direção da partícula varia quando ∝ varia. A' é a área projetada da partícula sobre um plano perpendicular à direção do movimento e o seu valor varia com a orientação da partícula no fluido. A força de atrito pode se representar pela equação:

$$F = \frac{R'}{\rho\mu^2}\rho\mu^2 A' \qquad (15)$$

Esta tem uma componente na direção X de:

$$\frac{R'}{\rho\mu^2}\rho\mu^2 A'^{cos} \cos \propto \; = \frac{R'}{\rho\mu^2} A' \rho\chi\sqrt{\chi^2 + \ddot{y}^2} \qquad (16)$$

E na direção Y:

$$\frac{R'}{\rho\mu^2}\rho\mu^2 A'^{sin} \sin \propto \; = \frac{R'}{\rho\mu^2} A' \rho y\sqrt{\chi^2 + \ddot{y}^2} \qquad (17)$$

As equações do movimento nas direções X e Y são, por conseguinte:

$$my = \frac{R'}{\rho\mu^2}\rho A' x\sqrt{x^2 + y^2} \qquad (18)$$

$$my = \frac{R'}{\rho\mu^2}\rho A' y\sqrt{x^2 + y} \; + \; mg\left(1 - \frac{\rho}{\rho^2}\right) \qquad (19)$$

Supondo que as velocidades x e y são positivas. Se x ou y forem negativos, a força de atrito atua em sentido contrário ao termo correspondente, leva sinal positivo. Em geral não é possível integrar diretamente a equação do movimento na direção x faz intervir a velocidade na direção Y e vice-versa, mas os casos seguintes podem obter-se uma solução:

(1) Fluxo em condições em que o atrito de forma é desprezível.

(2) Fluxo unidirecional, quando vertical, sob a ação da gravidade se pode desprezar:
(3) Fluxo unidirecional na direção vertical, sob a ação da gravidade.

Movimento de uma partícula (Atrito de forma desprezível).
Nestas condições, $\frac{R'}{\rho\mu^2}$ é dado pela relação:

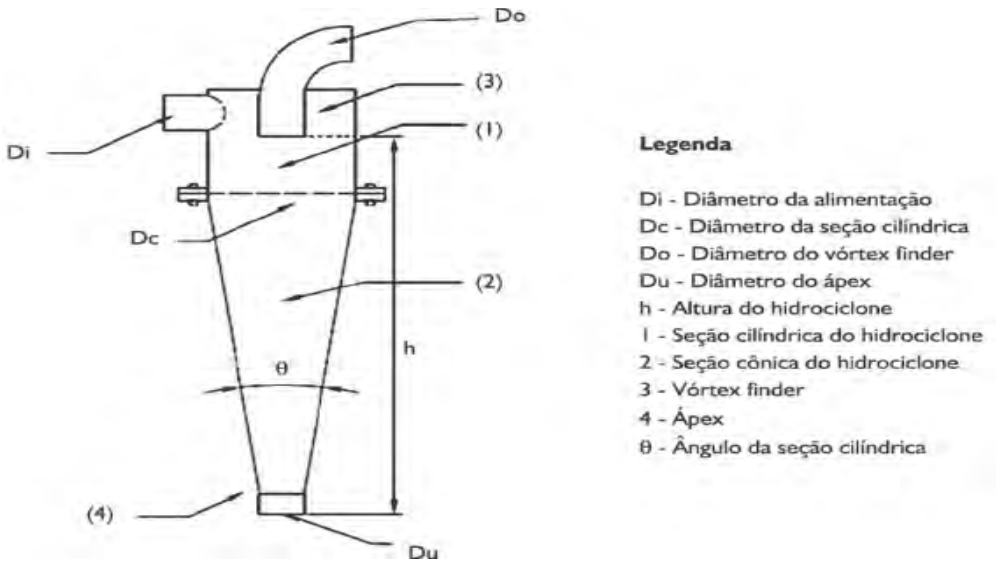
$$\frac{R'}{\rho\mu^2} = kRe'^{-1} \qquad (20)$$

Baseado nestes princípios foram desenvolvidos vários tipos de separadores como podemos ver a seguir.

2.3 Métodos de separação sólido/líquido

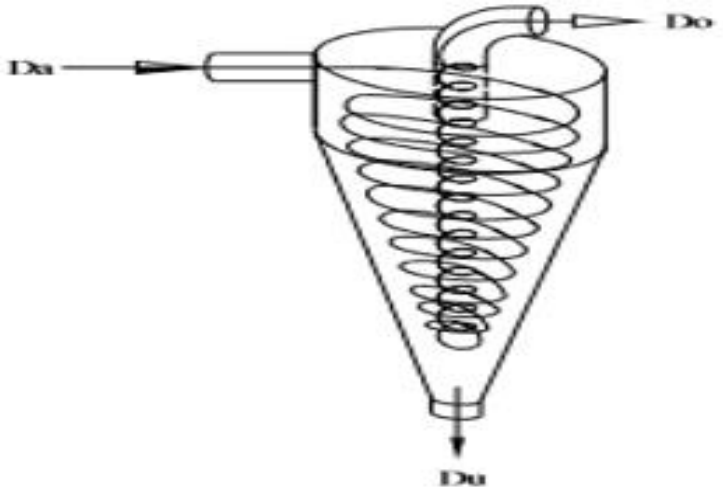
Os hidrociclones estão conquistando grande espaço no campo de aplicação na indústria petrolífera, principalmente petroquímica o que fez surgir um grande interesse pelo conhecimento de sua tecnologia. A grande vantagem é o fato de ser simples, de baixo custo de aquisição, fáceis de instalar, menor custo de manutenção se comparado às centrífugas e baixo custo muito Pequeno. Atualmente temos no Brasil várias fábricas que atendem os diversos seguimentos como a Multotec atende desde minérios serviço de captação de aguas para irrigação em fim quase todos os ramos da indústria no tocante a separação. Representado na figura (5) abaixo (CASTILHO; MEDRONHO, 2000).
A mistura sólida-líquido é inserido tangencialmente no corpo cilindro do hidrociclone, onde ocorre a separação em duas fases, overflow e underflow com auxílio dos efeitos da força centrífugas e da gravidade como ele o de baixo custo, permite a instalação de muitas unidades de equipamentos projetados para obter de uma boa separação muito eficiente, conforme seja necessário está representado na figura 6 abaixo.(SANTOS; ANDRADE, 2005).

Figura 5 - Esquema descritivo de um Hidrociclone.



Fonte: SVAROVSKY, 2000

Figura 6. - Esquema típico de um Hidrociclone e princípio de funcionamento.



Fonte: SVAROVSKY, 2000

2.3.1 Classificações dos hidrociclones.

Os hidrociclones receberam uma classificação baseado em famílias, e tendo com característica principal a relação entre suas medidas geométricas associadas com o diâmetro da parte cilíndrica. As famílias de hidrociclones mais conhecidas e de maior interesse técnico-científico são as famílias: “Bradley”, “Krebs” e “Rietema” (SVAROVSKY, 2000). As principais relações geométricas referentes a estas famílias de hidrociclones são apresentadas na Tabela (1).

Tabela 1 Proporções geométricas das “famílias” de hidrociclones.

Hidrociclone	D_i/D_c	D_o/D_c	L/D_c	L_1/D_c	ℓ/D_c	θ
Bradley	1/7	1/5	-	1/2	1/3	9°
Rietema	0,28	0,34	5	-	0,40	20°

Fonte: Castilho & Medronho (2000).

Feito um teste com Hidrociclone filtrante oriundo da família de Bradley, verificou-se que a vazão de alimentação sofre um decréscimo nos números de Euler (BARROZO et al., 1998), repetindo o mesmo teste com um Hidrociclone filtrante da família Rietema, verificou-se um comportamento contrário dessa família em comparação com a família Bradley.

Os hidrociclones são também conhecidos como filtros primários, são de grande importância, pois eles conseguem separar de partículas contido na água com muita facilidade e com baixo custo do equipamento, com perda de carga constante no decorrer do tempo, ocorre a separação o que também ocorre com vários tipos de

filtros utilizados em vários modelos de uso do Hidrociclone (KELLER; BLIESNER, 1990).

Relatos de Svarovsky, 1984, sobre os hidrociclones cilíndricos, que é um equipamento que tem sua como função principal selecionar partículas por densidade. Esta seleção varia com o tamanho, a densidade e o formato das partículas.

Estudos com mais profundidade por Yuan et al., 1996; (Medronho, Matta, Cilliers e Harrison, 2000 e 2003; medronho et at.,2005), verificou que se pode usar esses equipamentos para separação de microrganismos, reduzindo o tamanho do equipamento isto ainda está em sendo desenvolvido.

Observou-se que os hidrociclones líquido-líquido separam melhor quando a razão óleo/água, neste caso o objetivo, é abaixo de 25% (GAASEIDNESN; TURBEVILLE, 1999). A uma razão de 25% para óleo/água, no núcleo central em um hidrociclone, A razão de líquido (RL) é a relação das vazões na corrente de alimentação e corrente do underflow. As razões de líquidos são sensíveis à variação do diâmetro do underflow, ou seja, quanto maior o diâmetro do underflow, maiores serão os valores de RL. Em contrapartida, quanto menor o diâmetro do underflow mais concentrada será a corrente de underflow (VIEIRA, 2006).

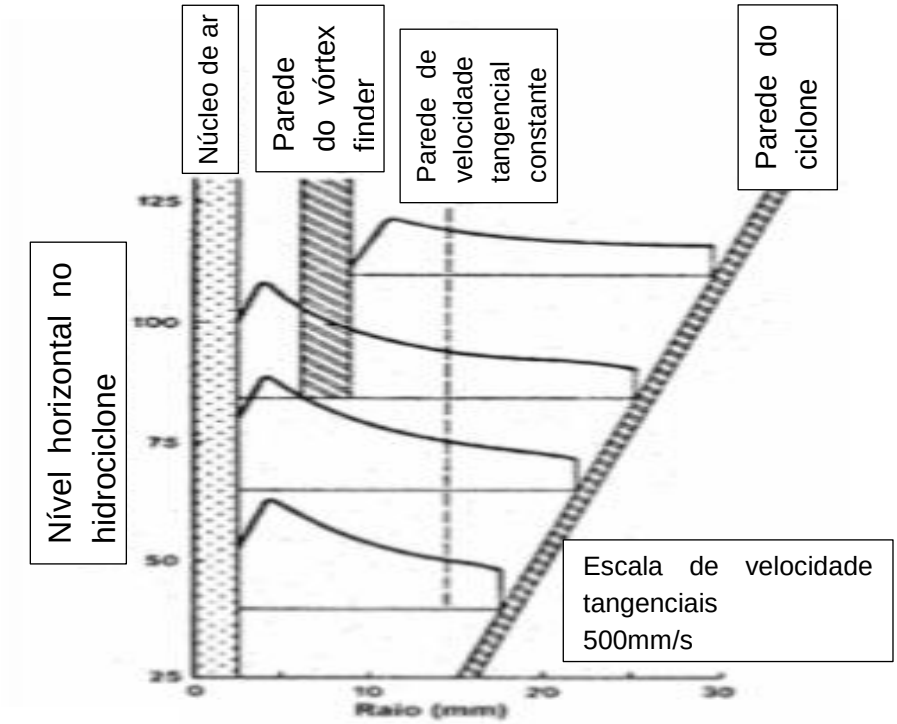
Os perfis de velocidade são bastante agudos no escoamento, causando fortes tensões cisalhantes que tendem a quebrar quaisquer flocos, aglomerados ou gotículas presentes. A descarga das partículas separadas no orifício de underflow se dão devido ao próprio escoamento, que dirige a camada de partículas para baixo rumo ao apex. Os perfis de velocidade podem ser divididos em três componentes principais: Tangencial, Radial, Vertical ou Axial. A componente tangencial é responsável pela origem da força centrífuga e o balanço de forças para a classificação e à força de arraste gerada pela velocidade radial. Ela é a componente mais importante dentro do hidrociclone, conferindo movimento de rotação à polpa, onde é mínima no centro do hidrociclone e aumenta proporcionalmente com o raio (BERGSTRÖM e VOMHOF, 2006; KELSALL et al., 1952).

2.3.2 - Desempenho em hidrociclones.

Quando usamos hidrociclones, a alimentação é introduzida no interior e o escoamento alcança a condição de permanente, uma parte do líquido junto as partículas de maior velocidade terminal é descarregada, por meio do orifício de saída do concentrado. O líquido resultante das partículas de menor velocidade terminal é descarregado, por um tubo de saída da suspensão diluída (SILVA, 1989). O hidrociclone ele promove a separação pela ação centrífuga, uma razão igual à razão de líquido. Isto ocorre porquê o hidrociclone executa uma divisão no escoamento, semelhante a uma conexão T em tubulações. Segundo KELSALL et al., (1952), verificou que a velocidade tangencial possui dois comportamentos

diferentes, um na porção mais interna e outro na parte mais próxima à parede do hidrociclone. O interior envolve o vórtex finder, que, tendo alcançado o máximo, a velocidade tangencial diminui em direção às paredes do vórtex finder e às paredes do hidrociclone conforme a Figura (7)

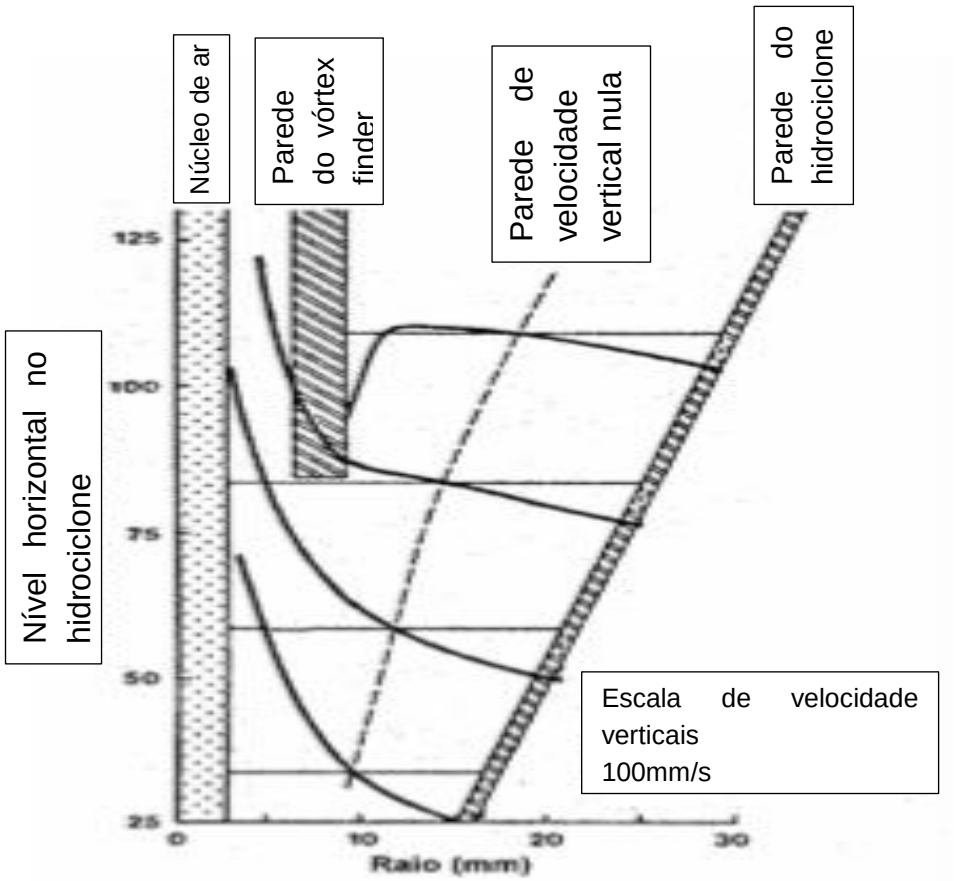
Figura 7 – Perfil de velocidade Tangencial no interior do hidrociclone.



Fonte: Tavares, 2005.

A componente radial é criada pela parte do fluido mais leve que não pode ser descarregada pelo apex, aparecendo um fluxo interno na direção do vórtex finder para seu descarregamento. Ela é responsável pela força de arraste, a qual se contrapõe à força centrífuga. De acordo com KELSALL (1952), a velocidade nas paredes atinge o máximo, decrescendo no sentido do centro do hidrociclone como observado na Figura (6). Fazendo um estudo das forças elas se apresentam entre as forças centrífugas e as radiais criadas pelo fluido, sendo que nas paredes do equipamento e próximo ao inlet a velocidade radial é bem maior do que a velocidade tangencial. Como está representado na figura (8), as partículas mais grosseiras são mais pesadas são direcionadas às paredes do hidrociclone, e as partículas mais finas são aplicadas ao campo centrífugo de baixa pressão, sendo conduzidos ao centro do hidrociclone (KELLY et al., 1982)

Figura 8 – Perfil de velocidade Vertical ou Axial no interior do hidrociclone.



Fonte: TAVARES, 2005.

2.3.3 – Variáveis relevantes no estudo de hidrociclones.

Fazer modelagem matemática do trabalho de hidrociclone é muito complexa. Uma das alternativas usadas para quantificar esse desempenho nestes equipamentos, baseia-se no teste experimental da relação dos números adimensionais que descrevem a natureza dos fenômenos envolvidos, como os números de Reynolds. Para encontrar esses números adimensionais, para suspensões diluídas, Svarovsky (1984), mostrou as seguintes variáveis:

- Viscosidade do fluido;
- Diâmetro de corte reduzido das partículas;
- Diâmetro da parte cilíndrica do hidrociclone;
- Massa específica do fluído
- Diferença entre as massas específica dos fluídos, ou do fluido e do sólido;
- Queda de pressão entre a corrente de alimentação e de overflow;
- Velocidade de alimentação.

2.3.4 - Dimensionamento de hidrociclones.

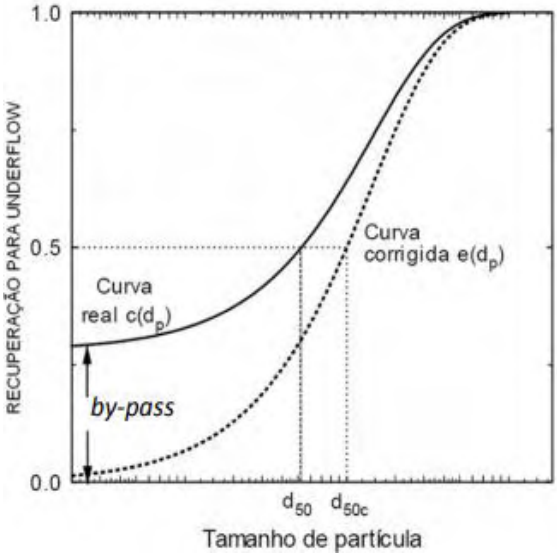
Stokes determina em sua lei que é governada por uma fórmula que previne o desempenho empírico de um processo de separação líquido-líquido. Podemos citar o exemplo, para o uso de ciclones na separação da mistura água-óleo (SCHUBERT,1983):

$$v = \frac{k.g(\rho w - \rho 0).d^2 o}{\mu} \qquad (21)$$

Em que:
v – velocidade de ascensão de gota de óleo
g – Aceleração gravitacional
d_o – diâmetro da gota de óleo
ρw – ρo – diferença entre as massas específicas da água (subscrito w) e do óleo (subscrito o)
μ - viscosidade absoluta da fase contínua (água)
Onde k e n são constantes e as massas específicas dos líquidos são elementos que não podem ser modificadas. O diâmetro da gota de óleo e a viscosidade da fase contínua (água) tem potencial para serem adaptada com vantagens. A performance de separação é proporcional ao volume da gota de óleo. Uma gota de 40μm pode-se fracionar em gotas de 20 ou 10 μm com um movimento de fluxo turbulento. A lei de Stokes determina o tempo consumido é quatro vezes maior para se separar uma fração líquida de 20μm e 16 vezes uma de 10 μm em comparação com a uma gota de 40 μm. Também mostra que a eficiência de divisão dos líquidos é inversamente proporcional a viscosidade em fase contínua e com um aumento de temperatura esse tempo é reduzido.

O Trabalho de separação de uma mistura líquido-líquido em hidrociclone é mais complicado do que o de sólido-sólido, por causa da diferença de sua massa específica de dois líquidos que não se misturam, mas as suas densidades são muito próximas da teórica em função da formação de emulsões. Verificamos que resultado dessas premissas, mostram dificuldades de se calcular previsões, necessita de algumas propriedades que podem variar durante o trabalho do equipamento. Esta dificuldade é a principal causa pela qual o trabalho de separação líquido-líquido com equipamento só ter sido aceito nos últimos 20 anos. A melhor maneira de descrever a curvas de partição é verificando o desempenho dos classificadores na de separação dos tamanhos ou seleção dos sólidos. Elas nos permitem mensurar o percentual de massa na alimentação, inserida em cada classe de tamanhos, podem ser direcionadas para underflow ou para overflow. Foi descrito uma curva de distribuição que é mostrada na Figura (8), que chamamos de curva de distribuição, de desempenho, de eficiência seletiva ou, ainda, curva de Tromp.

Figura 9 - Curvas de partição típicas de hidrociclones.



.

Fonte: Tavares, 2005.

As medidas que caracterizam o trabalho na separação de tamanhos são o d50 e o d50c, que determinam qual é tamanho de partícula indicado para o corte da população de partículas com a mesma possibilidade, que denominamos de diâmetros medianos de partição real e de partição corrigida, respectivamente. Neste caso da curva de partição corrigida o d50c é o tamanho para qual e(dp) é 0,5, chamamos de diâmetro de partição corrigida

As variáveis mais importantes ligadas ao estudo da performance dos hidrociclones são: a eficiência total e a eficiência total reduzida. A eficiência total (ET) do hidrociclone é definida pela divisão da massa total de sólidos extraído no apex (underflow) e total de sólidos avaliados na alimentação, usamos a seguinte equação (22) (SVAROVSKY, 2000).

$$\mathrm{ET} = \frac{Wsu}{Wsa} = \frac{Cwu.Wu}{Cwa.Wa} \qquad (22)$$

(1) em que,

ET- eficiência total, adimensional;

W_{su} - vazão mássica de sólidos recuperados no *underflow*, kg s^{-1};

W_{sa} - vazão mássica de sólidos na alimentação, kg s^{-1};

C_{wu} - concentração mássica de sólidos no *underflow*, adimensional;

C_{wa} - concentração mássica de sólidos na alimentação, adimensional;

W_u - vazão mássica da suspensão no *underflow*, kg s^{-1}

W_a - vazão mássica da suspensão na alimentação, kg $s^{-1.}$

A razão de líquido (RL) é calculada pela Equação (23):

$$RL = \frac{Qu}{Qa} \qquad (23)$$

RL - Razão de líquido, adimensional;
Qu - vazão volumétrica no *underflow*, L s^{-1};

Qa - vazão volumétrica na alimentação, L s^{-1}.

A eficiência total reduzida (ET') mostra a real eficiência do hidrociclone, pois considera só o potencial de separação do equipamento pela força centrífuga, desconsiderando o "fluxo morto" que é a razão de líquido, a ser subtraída da eficiência total (ET). Para verificar este parâmetro utiliza-se a equação (24) (SVAROVSKY, 2000).

$$ET` = \frac{Et-RL}{1-RL} \qquad (24)$$

(3) em que,
ET' - eficiência total reduzida, adimensional;

ET - eficiência total;

RL - Razão de líquido.

A eficiência total (ET) do hidrociclone equação abaixo dá a taxa de sólidos recuperados no underflow (Wsu).

$$Et = \frac{Wsu}{Ws} \qquad (25)$$

onde Wsu é o produto da vazão mássica do underflow pela concentração mássica da mesma corrente e Ws é o produto da vazão mássica da alimentação pela sua concentração mássica. Observa-se que o hidrociclone quando não há separação de partículas ele já está dividindo a corrente de alimentação em duas (Efeito T). A razão de líquido representado na equação (26) é a relação entre as vazões de líquido no underflow e na alimentação, ou seja:

$$\mathrm{RL} = \frac{Qu(1-Cvn)}{Q(1-Cv)} \qquad (26)$$

onde Qu e Q são respectivamente as vazões volumétricas no underflow e alimentação e Cvu e Cv, respectivamente, as concentrações volumétricas das mesmas correntes.

$$Cvu = \frac{Cwu}{\rho\, p}\left(1 - \frac{Cwu}{\rho 1} + \frac{Cwu}{\rho\, p}\right) \qquad (27)$$

$$\mathrm{Cv} = \frac{\frac{Cw}{\rho}p(1-Cw)}{\rho 1} + \frac{Cw}{\rho p}) \qquad (28)$$

onde ρp e $\rho 1$ são, respectivamente, as densidades do líquido e do sólido e Cw e Cwu são as concentrações mássicas da alimentação e do underflow. Considerando apenas a eficiência proveniente da força centrífuga deve-se subtrair a razão de líquido da eficiência total equação (29), obtendo-se desta forma a eficiência total reduzida (Svarovsky, 1984):

$$Et` = \frac{Et-RL}{1-RL} \qquad (29)$$

A eficiência granulométrica (G) representa a eficácia com que um determinado diâmetro é coletado no underflow. Sendo definida como o produto da eficiência total pela derivada da distribuição de tamanhos Equação (29). Define-se eficiência granulométrica reduzida (G') como a que considera apenas as partículas separadas por ação centrífuga e não pelo efeito T

$$G = E.\frac{dXu(d)}{dX(d)} \qquad (29)$$

$$G` = \frac{G-RL}{1-RL} \qquad (30)$$

O diâmetro de corte (d50) é definido como o diâmetro que é coletado com eficiência granulométrica de 50%, conforme observado na equação (30) enquanto que o diâmetro de corte reduzido (d'50) é definido como o diâmetro que é coletado com eficiência granulométrica reduzida de 50% equação (31).

$$G = Et = \frac{dxu(d50)}{dx(d50)} = 0{,}50 \qquad (31)$$

$$G` = \frac{Et.\frac{dxu(d`50)}{dx(d`50)} - RL}{1-RL} = 0{,}50 \qquad (32)$$

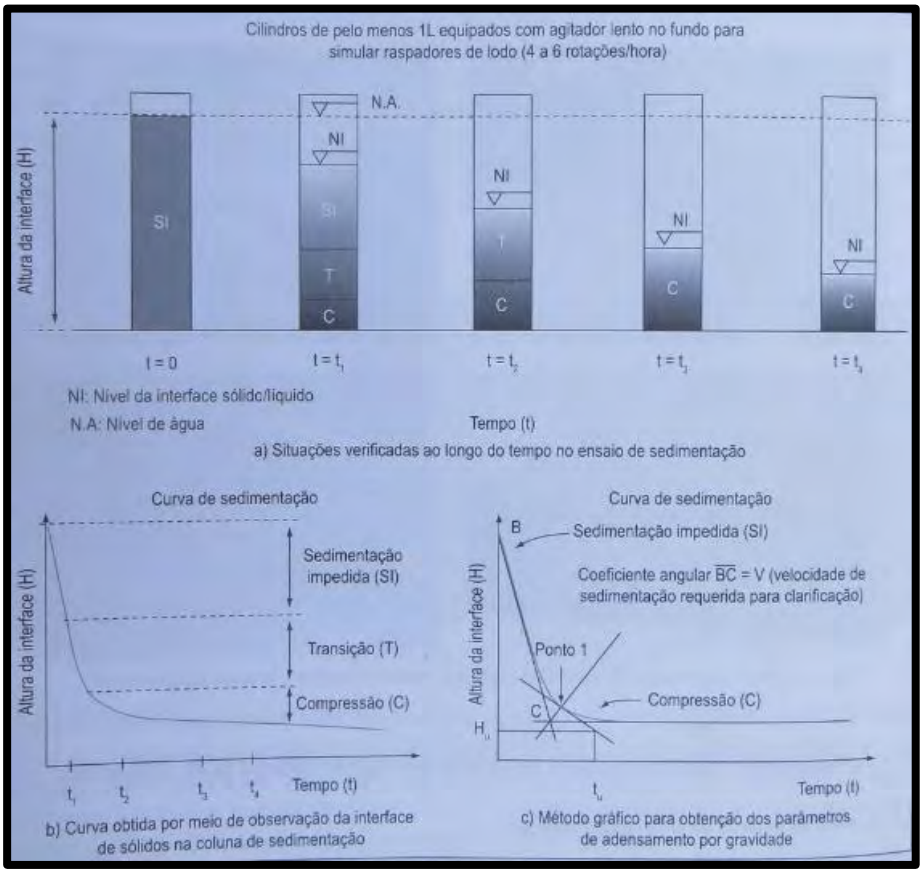
Mesmo com toda aplicação do hidrociclone conforme já citado no ano 2.000, vai ser adaptado a nossa proposta com esses mecanismos, toda parte de operações unitárias, balanço de massa do hidrociclone, serão utilizados nessa validação mais numa nova proposta por adensamento. Veremos a seguir o método por adensamento.

2.3.5 Separação por Adensamento

Segundo o Prosab (1999) O adensamento ocorre no interior das unidades de separação gravitacional em dois tipos de sedimentação de partículas. (sedimentação por zona é caracterizado pelo tempo de retenção e a sedimentação por compressão ocorre pela sua densidade maior que do que o líquido). Quando as partículas se encontram muito próximas umas das outras, elas sedimentam na forma de uma massa de partículas aparecendo uma interface clara entre a massa e o líquido clarificado. Para uma partícula simples, sedimentando em um tanque de grandes dimensões, o deslocamento ascendente do líquido alocado pela partícula é imperceptível, mas se o aglomerado de partículas for elevado, a velocidade do líquido ascendente torna-se considerável, com relação à velocidade das partículas que estão sedimentando. Como a velocidade de sedimentação da partícula é a mesma da água, o movimento ascensional do líquido tende anular a velocidade da partícula quando se aproxima do fundo da unidade. Esse fenômeno de sedimentação é notório quando a concentração de sólidos é alta. Isso chamamos de adensamento gravitacional.

A compressão ou sedimentação ocorre a partir do momento em que os flocos começam acumular no fundo da unidade de sedimentação.
A compressão é uma operação relativamente lenta, como podemos ver na figura (10) abaixo, encontra-se indicada as situações normalmente observadas durante a realização de um ensaio de sedimentação de lodo em uma coluna de laboratório. No início do ensaio (t=0), verifica-se ocorrência de sedimentação impedida (SI). Decorrido o tempo (T1) a massa de lodo sedimentou até o ponto de formação de uma zona de água clarificada acima da camada de lodo (S I) Abaixo da região onde se verifica a sedimentação a concentração de partículas torna-se tão grande que muitas acabam mantendo contato físico entre si, configurando a região de transição (T1) entre zona de sedimentação impedida (SI) e a zona de compressão (C) abaixo da região de transição aparece a zona de compressão onde as partículas se encontram em contato umas com as outras iniciando-se a compactação.

Figura 10 - Ensaio de adensamento de lodo por gravidade.



Fonte. PROSAB, 1999.

Para entendermos as sedimentações faz necessário estudo das densidades dos sólidos que apresentamos abaixo.

2.3.6 DENSIDADES.

Analisarmos as densidades seguindo o estudo das densidades dos materiais abaixo.

As propriedades que regem as substâncias são classificadas como intensivas e extensivas. As propriedades intensivas não estão relacionadas com o tamanho da amostra, enquanto as propriedades extensivas obedecem ao tamanho da amostra. As propriedades intensivas são muito importantes, já que a substância revela sempre a mesma propriedade intensiva, não depende da quantidade que estiver examinada (Brady e Humiston, 1986**).** A densidade de uma substância é uma propriedade intensiva, obtida pela razão entre duas propriedades extensivas. Esta grandeza é definida como a razão entre a massa de uma determinada substância que, no processamento mineral, pode ser uma amostra de rocha, minério ou mineral, e o seu volume (Atkins e Jones, 2001**).** Ademais, a densidade é função dos raios dos átomos e íons que constituem os minerais, quer dizer, depende da forma como esses constituintes arranjam-se na estrutura cristalina dos minerais. Assim, o peso atômico do potássio é 1,7 vezes maior que o do sódio.

Matematicamente, a densidade (d) é a razão entre a massa de uma substância (m) e o seu volume (V) está representado na equação (33) (Atkins e Jones, 2001).

$$d = \frac{m}{v} \qquad (33)$$

A densidade real ou relativa de uma determinada amostra de um minério sempre será maior que sua densidade aparente. A densidade relativa de uma substância pode ser obtida pela razão entre a sua densidade e a densidade de uma substância estabelecida como padrão (Andrade et al., 2006). O padrão usualmente escolhido é a água, cujo valor da densidade é 1,00000 g/cm^3 a 4°C. A densidade aparente de uma substância é aquela determinada no ar, sem referenciar as flutuações do mesmo. Já a densidade real de uma substância é medida no vácuo. A densidade aparente da água a 20°C é 0,99715 g/cm3 e a densidade real na mesma temperatura é 0,99823 g/cm3 (Salvagnini, 2006). Doravante, o termo densidade refere-se à densidade relativa ou real, um número adimensional. Cabe lembrar que as denominações em inglês “specific gravity” ou “relative density”, correspondem, em português, à densidade relativa, entretanto, o termo em inglês density corresponde, em português, ao peso específico, ou seja, o peso por unidade de volume (Dana, 1969). A densidade dos minerais é uma propriedade usada para auxiliar na identificação dos mesmos, podendo determinar a concentração de minerais por meio dos processos gravíticos.

Este procedimento abaixo podemos usar na quantificação da densidade de uma rocha, minério ou mineral, descreve, passo a passo, a determinação da densidade relativa (ds) (Silva, 2007).

Pesar o picnômetro vazio, previamente limpo e seco, em estufa, a 100°C e resfriado em dessecador.

Encher o picnômetro com água até transbordar, secar a água que molha a superfície externa do mesmo e, em seguida, pesar o picnômetro com água.

A diferença entre os pesos do picnômetro com água e sem água é a massa de água utilizada. Sabendo o volume de água colocada no picnômetro pode-se determinar a densidade da água ou de outro líquido utilizado.

3 OBJETIVOS.

3.1 Objetivo geral.

Avaliação do efeito de adaptação da dorna pulmão de vinho levurado para separação de partículas inorgânicas por meio de decantação em escala piloto e industrial.

3.2 Objetivos específicos.

- Construir uma dorna modificada em escala piloto (avaliar tudo em escala piloto e depois em escala industrial).
- Avaliar a retenção de sólidos de partículas de maior densidade (eficiência do equipamento).
- Verificar a eficiência de separação das partículas no protótipo piloto e industrial.
- Avaliar os equipamentos quanto à separação sólida.

4 MATERIAL E MÉTODOS.

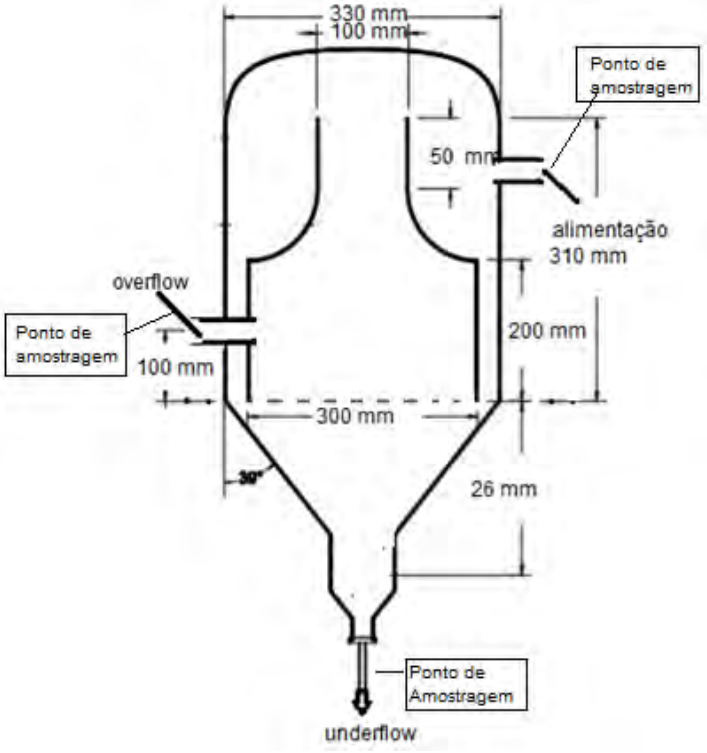
4.1 Desenvolvimento das análises de validação do processo de decantação de sólidos nos vinhos fermentados em uma planta piloto.

4.1.1 Descrição do equipamento do protótipo que foi avaliado.

Utilizando o princípio da decantação gravitacional, foi idealizado um projeto de construção de um separador de partículas em escala piloto porque na indústria não é possível controlar o processo de avaliação e amostragem sem prejudicar a produção e a rotina da mesma. O projeto idealizado conforme a figura (11) abaixo. A planta piloto é composta de um corpo externo construído em aço carbono com espessura de 3,17 mm, no formato espacial externo de um cone na base ligado ao um cilindro com tampa na parte superior com um orifício de 4,0 mm de diâmetro, para equalização das pressões internas, com um volume útil de 33 litros. Os detalhes internos foram compostos por um separador confeccionado em aço-carbono em chapa de espessura 1,58 mm, na forma geométrica espacial de tronco cilíndrico e cônico e reto, usado como separador do movimento turbulento do vinho com partículas. O equipamento montado possui três (3) orifícios laterais com a diâmetro de 3/4,” sendo a alimentação na lateral a 250 mm da base do cone. Este é conectado a uma bomba centrifuga elétrica, através de uma tubulação de pvc de diâmetro 3/4,” ligado ao tubo de alimentação, provida de uma sangria na mesma linha, permitiu coleta de amostras pontuais. O conjunto é conectado a um reservatório de 50 litros em pvc para a recepção do vinho.

O segundo orifício foi localizado a 100 mm de distância da base do cone inferior, que tem o nome de overflow é estar ao plano facial do cone reto no interior do separador, que descarregou o vinho teoricamente tratado no reservatório que alimentará a planta piloto em circuito fechado. Conforme mostra a figura (11) abaixo do terceiro orifício ficou localizado na ponta do cone inferior do corpo do equipamento que está conectado a uma válvula para coleta do underflow no recipiente de amostra.

Figura.11 – Projeto da planta piloto (protótipo) do separador de partículas inorgânicas por meio da decantação gravitacional.



Fonte: Autoria própria

4.1.2 - Procedimento de operação na planta piloto.

A fermentação iniciou com os seguintes produtos: Fermento Saccharomyces cerevisiae, mel residual fornecido pela usina da cidade de Delta – MG, e água para produzir uma solução com o brix de 20°. Colocou-se todos os ingredientes num recipiente de pvc de 40 litros, após o final do processo da fermentação, se iniciou o processo de clarificação do vinho levurado. A bomba elétrica foi então acionada e a vazão foi regulada pelo tempo de enchimento do separador. O volume foi aferido previamente com auxílio de balde com escala volumétrica usado um cronômetro para medir o tempo. Após esta operação, as válvulas de controle de vazão de alimentação foram lacradas e a operação para cada ciclo foi repetida. Com os dados coletados do processo, calculou-se a vazão (Q) conforme equação (34), e com as vazões montou-se uma tabela com os resultados dos cálculos para a vazão da alimentação no processo do ciclo de separação.

4.1.3 – Procedimentos para cálculo da vazão de alimentação, underflow em cada ciclo de processo.

Para calcular a vazão dos pontos de amostragem, foi necessário efetuar um balanço de massa, sendo que os dados da alimentação no processo de separação de sólidos no protótipo, foram calculados cronometrado o tempo total do ciclo para o volume útil do separador, usou a seguinte equação:

$$Q = \frac{V}{T} \qquad (34)$$

Q é a vazão do vinho.
V é a volume do vinho
T é o tempo.

Obtivemos as vazões de alimentação de cada ciclo. Com o valor da vazão de alimentação de cada ciclo, usou-se a equação (35) abaixo que representa um balanço de massa, obtive uma equação de um resultado e duas incógnitas. Ao atribuir um valor menor para underflow e proporcional a vazão da alimentação, substituiu-se na equação (35) encontrou-se a vazão do overflow. Fixou a vazão do underflow para todos os ciclos, essa vazão foi multiplicada pelo mesmo tempo da alimentação, então encontrou-se o volume do underflow de cada ciclo.

$$\Sigma \text{entrada} = \Sigma \text{ acúmulo} + \text{Saída} \qquad (35)$$

Com os valores encontrados construiu-se uma tabela de vazões para todos os de amostragem em todos os ciclos.

4.1.4. Procedimento de coleta das amostras.

As amostras foram coletas no protótipo com o seguinte procedimento: quando a fermentação no balde de 50 litros finalizar, a eletrobomba foi ligada. Três amostras de 500 mL pontuais da alimentação e foram coletadas de cada ciclo durante o processo de separação de sólidos, sendo a primeira no início outra no meio e outra no final nos seguintes pontos: alimentação do vinho na entrada, saída (overflow) e outra no decantado (underflow); outra na metade do tempo e a última antes do termino de cada ciclo. Depois homogeneizou-se cada grupo de amostras de alimentação do mesmo ciclo e extraiu-se uma amostra representativa de 500 mL em cada ponto da amostragem foram coletadas no total 9 amostras de 500 ml e conduzidas para análise.

4.1.5 - Metodologia de analise com uso do Picnômetro.

Usou-se um picnômetro de 100 mL, previamente lavado e seco na estufa a 100°C e resfriado em dessecador até peso constante em balança de duas casas de

precisão, anotou-se numa planilha o peso do picnômetro vazio e seco. A amostra coletada na indústria foi homogeneizada e colocada no picnômetro até a face do orifício superior sem deixar bolhas. Secou-se com papel toalha a parte externa do picnômetro e pesou-se em uma balança com duas casas de precisão. Os pesos foram anotados de forma que obtivemos o peso da amostra + picnômetro na planilha de cálculo. Cada amostra foi repetida três vezes as análises com o mesmo procedimento.

4.1.6 - Procedimento das análises de densidade.

No laboratório da (www.microservbio.com.br) foi feito as análises de densidade com a captura das imagens de cada ponto. Alimentação, overflow e underflow de cada conjunto de amostra em cada ciclo.
Utilizou-se a metodologia do uso do picnômetro. As análises dos pontos de amostragem foram ser repetidas por três vezes para que encontrar a média e o desvio padrão.
Cálculo das massas.
P1 = Peso do Picnômetro vazio a seco.
lavado e seco na estufa a 100°C e resfriado em dessecador até peso constante, na balança de duas casas de precisão, como nas figuras 11, 12 e 13. Abaixo:
P2 = Peso do picnômetro + amostra
Completou-se amostra no picnômetro até a face do orifício superior, inserir o tubo de respiro sem deixar bolhas, secar com papel toalha a parte externa do picnômetro e pesou-se em uma balança com duas casas de precisão e anotou-se o valor.
P3 = Peso do picnômetro + amostra – peso do picnômetro a seco.
P3 = P2 – P1
P3 = massa.
Com os dados obtidos na picnômetria, as densidades foram repetidas 3 vezes para cada ciclo, aplicando os valores das densidades no Excel obteve a densidade média para cada ponto amostrado do processo. Construiu-se uma tabela com os dados da densidade média e o desvio padrão de cada ciclo.

4.1.7 - Equipamentos que serão usados nas análises de densidades das amostras.

A figura 12, ilustra um picnômetro de tal capacidade de 100 ml que foi usado para determinar a densidade das amostras, balança digital com precisão de duas casas que foi usada nas pesagens. Na figura 13 tem-se uma estufa que é operada a 100°C para secar o picnômetro. Na figura 14 tem-se um dessecador que foi usado para resfriar o picnômetro a temperatura ambiente sem absorver água do meio ambiente.

Figura 12 – Picnômetro/ balança digital.

Fonte: Autoria própria.

Figura 13 - Estufa de secagem.

Fonte: Autoria própria.

Figura 14- Dessecador.

Fonte: Autoria própria.

4.1.8 Descrição do vinho usado no experimento piloto.

O vinho fermentado foi formado pela diluição do melaço concentrado, 80°brix, água potável para uma concentração final a um brix de 20° que se chama de “mosto” e o levêdo (levedura Saccharomyces cerevisiae), a 10% do volume do volume a fermentar cujo o melaço contém material granulado (sólidos) que foi oriundo da uma planta industrial localizada na cidade de Delta MG. Após 8 horas de processo fermentativo, o vinho ficou pronto.

4.1.9 - Balanço de sólidos totais da planta piloto.

O balanço de massa (sólidos totais) é um dos cálculos largamente utilizado na engenharia química. Ele consiste basicamente em uma descrição de fluxos de massa de entrada e saída de um processo, cujo princípio se baseia na lei de conservação de massa, sendo expresso pela equação (35)**.** No processo contínuo e operando em regime permanente (RP) não há modificações das varáveis no processo em relação ao tempo, o acúmulo é zero na equação.

4.1.10 - Aplicação do cálculo do balanço de sólidos.

Com os cálculos dos valores das vazões que formarão a tabela (5) e das densidades na tabela (4) aplicou-se na equação (35) encontrou-se os valores de sólidos separados em cada ciclo. Com os valores dos sólidos totais de cada ciclo e o tempo de retenção que está na tabela (2), aplicou-se na tabela (9) no Excel, obteve o gráfico (17) que se mostrou a tendência de decantação para cada ciclo. Com os dados do desvio padrão calculou-se o erro que avaliou a precisão na média amostral no protótipo.

4.1.11 – Teste de estatística.

Foram coletados dados de decantação na planta piloto nos três ciclos do processo de separação e um foi aplicado o teste de Tukey que avaliou o efeito nas médias e qual o melhor tempo de retenção.

4.2. Metodologia das análises de validação do processo de separação de sólidos nos vinhos fermentados na indústria.

4.2.1 - Descrição do equipamento avaliado na Indústria.

O equipamento usado foi instalado na planta de produção da indústria Delta na cidade Delta no Estado de Minas Gerais. O equipamento é constituído de um tanque de volume de 90 m³. O fundo é cônico e com ângulo de 45 graus de inclinação confeccionado em aço carbono 1.020 SAE, com alimentação em tubo de 12 polegadas de diâmetro, onde o overflow é formado por um tubo de 14 polegadas de diâmetro de 2.500 mm de comprimento onde capta (overflow). A altura faceará com a linha da base do cone, e a saída do underflow é instalada em um ponto inferior próximo ao tubo central do cone, em um tubo de 3 polegadas de diâmetro conforme ilustra a figura (15).

Figura 15 - Equipamento industrial que foi avaliado.

Fonte: Autoria própria.

4.2.2 - Procedimento de como operar na planta industrial o separador de sólidos.

Na indústria, o processamento do vinho ocorreu da seguinte forma: quando cada dorna de 600 m³ finalizou a fermentação do vinho, ele foi liberado para a fase de centrifugação. Neste equipamento a dorna adaptada, recebeu todo vinho de tal

forma que só foi liberado para a centrífuga após passar pelo cleanferm (dorna adaptada). Verificou-se que nesta dorna ocorreu a separação de impurezas do vinho fermentado.
Esta dorna adaptada encontra-se instalada e em operação na Usina Delta na cidade Delta – MG.

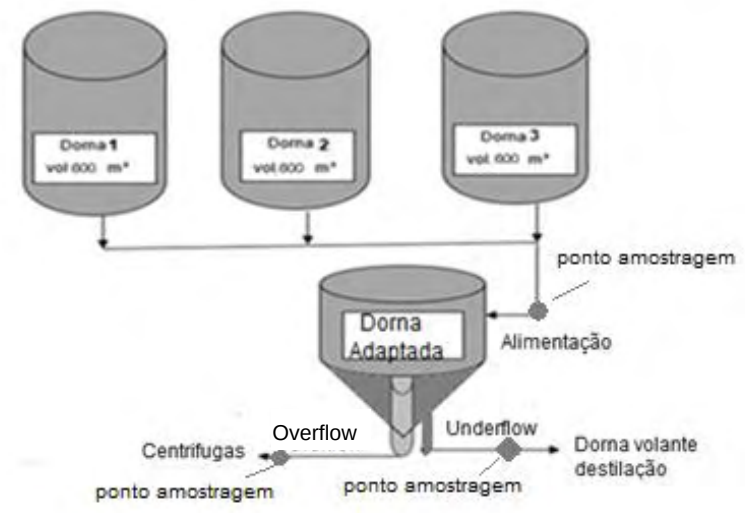
No processo descrito no parágrafo anterior, foi acionada a eletrobomba para realizar o transporte do volume total de vinho da dorna normal, que está conectada ao equipamento separador (dorna adaptada nesta novo lay-out). Este gerou dois fluxos localizados no interior do equipamento, um fluxo de overflow e outro fluxo underflow. O fluxo underflow foi descarregado no cone acumulador de impurezas, em que ao término de cada batelada, realizou-se o descarte da solução de impurezas. Este processo durou 15 minutos e usou-se uma bomba com vazão de 1000 litros/minuto.

4.2.3 - Procedimento de coleta das amostras e análise laboratorial da planta na indústria.

As amostras foram coletadas da seguinte forma: Inicialmente se fez a limpeza da dorna modificada para a separação de impureza. Escolheu-se aleatoriamente 3 dornas que foram as dornas 1, 2 e 3. Foram coletadas três amostras de 500 ml de cada dorna durante o processo de separação de sólidos sendo a primeira no início outra no meio e outra no fim nos seguintes pontos: alimentação do vinho na entrada, saída (overflow) que alimenta as centrifugas e outra no decantado (underflow) conforme a figura (16).

Depois foi homogeneizado cada grupo de amostras de alimentação da mesma dorna onde se extraiu uma amostra representativa de 500 mL em cada ponto da amostragem, e foram coletadas 9 amostras de 500 mL, onde foi conduzida para análise.

Figura 16 – Esquema de fluxo operacional do equipamento avaliado



Fonte: Autoria própria.

Os dados de processo foram anotados da planilha de processo da indústria, que indicou a vazão da dorna processada, as dimensões do equipamento que foi avaliado está apresentado na tabela (7).

4.2.4 Materiais e equipamentos usados na validação.

As dornas (reatores) onde ocorreu a fermentação, quando da finalização do processo fermentativo, ligou-se as bombas elétricas para realizar transferência do vinho para dorna pulmão adaptada com dispositivo para decantação, que ocorreu a separação das impurezas e o vinho clarificado que foi enviado para etapa final, a centrifugação. As amostras de 500 mL que foram coletadas e conduzidas para o Laboratório da Microserv Biotecnologia Ltda. Onde foi providenciado as homogeneizações das amostras com auxílio de vários Beckers. Testes físicos foram efetuados tais como: de densidade, com uso de um picnômetro de capacidade de 100 mL, balança digital com precisão de duas casas, estufa de secagem e dessecador de amostras conforme figuras (12), (13) e (14).

4.2.5 Descrição do vinho usado na Industria.

A formação do vinho fermentado na indústria, foi o resultado da diluição do mel concentrado, 78°brix oriundo do resíduo da fábrica de açúcar com água potável para uma concentração final a um brix de 20°, que se chama de “mosto” e o levêdo (levedura Saccharomyces cerevisiae), a 10% do volume do volume a fermentar, cujo o mel utilizado contém material granulado (sólidos). A indústria está localizada na cidade de Delta MG. Após 8 horas de processo fermentativo, o vinho fica pronto.

4.2.6 - Metodologia de analises para validação da dorna adaptada na indústria para separação de sólidos presente no vinho levurado.

4.2.7 - Metodologia de analise com uso do Picnômetro.

Com um picnômetro de 100 ml, foi previamente lavado e seco em estufa a 100°C e resfriado em dessecador até peso constante, na balança de duas casas de precisão, anotou-se o peso do picnômetro vazio e seco, na planilha. A amostra que foi coletada na indústria foi homogeneizada para depositar 100 ml da amostra no picnômetro até a face do orifício superior, depois inseriu-se o tubo de respiro sem deixar bolhas, secou-se com papel toalha a parte externa do picnômetro e pesou-se em uma balança com duas casas de precisão anotou-se o peso da amostra + picnômetro na planilha de cálculo, cada amostra foi repetido três vezes o mesmo procedimento.

4.2.8 - Procedimento das Análises.

Todas as amostras foram coletadas (total de 9 amostras de 500ml) na usina foram conduzidas até o laboratório da Microserv (www.microservbio.com.br) para fazer as análises de densidade, dos pontos de alimentação, overflow e underflow de cada conjunto de amostra em cada dorna. No início homogeneizou-se cada amostra e separou-se 100 mL da amostra de cada ponto, para o picnômetro. Foram repetidos três vezes com cada amostra.

Da seguinte forma, foi pesado o picnômetro vazio, previamente limpo e seco em estufa a 100°C e resfriado em dessecador.

Foi preenchido o picnômetro com água até transbordar, em seguida foi secada a água que molhar a superfície externa do mesmo. O picnômetro foi pesado com água. A diferença entre os pesos do picnômetro com água e sem água, será a massa de água utilizada. Com o volume de água colocada no picnômetro, foi determinada a densidade da água. A equação (34) descreve matematicamente a relação entre a densidade (d), a massa de uma substância (m) e o seu volume (V) (Atkins e Jones, 2001). O valor da densidade para a dorna 01,02 e 03 foram inseridos no Excel e calculou-se a densidade média o desvio padrão e com as medias da densidade plotou-se o gráfico.

4.2.9 - Balanço de sólidos totais na planta industrial

Balanço de Sólidos Totais.

Na engenharia química o balanço de massa (sólidos totais) é um dos cálculos de grande valia onde descreve os fluxos de massa de entrada e saída de um processo. Este princípio se baseia na lei de conservação de massa, sendo expresso pela seguinte equação**:**

Σentrada = Σacumulo + Saída

Equação do balanço de massa com acúmulo

No processo contínuo e em regime permanente não há modificações das varáveis no processo em relação ao tempo, o acúmulo é zero e a formula é representada da seguinte forma:

Σ entrada = Σsaída

BMT (balanço de material total): lei da conservação da massa para cada componente do sistema.

BMT: (Balanço de massa total). A = D + R (34)

4.2.10- Aplicação do cálculo do balanço de sólidos

Os dados das densidades dos pontos de amostragem, (alimentação) entrada, overflow e underflow de cada vazão a cada ciclo foi efetuado o balanço de material e com os dados do desvio padrão, calculou-se o erro que avalia a precisão na média amostral. Com os dados obtidos no balanço de sólidos e o tempo de residência de processo de separação para cada dorna, construiu-se uma tabela pela qual plotou-se o gráfico de tendência de decantação no processo de separação de sólidos na dorna adaptada para este fim.

5 - Resultados e discussão na planta piloto e industrial.

A figura 17 ilustra o protótipo desenvolvido, projetado e construído visando avaliar o processo de separação de sólidos por meio de decantação gravitacional (adensamento) em processo fermentativo.

Figura.17 – Planta piloto (protótipo) separador de partículas inorgânicas.

Fonte: Autoria própria

Apresentamos a tabela (2) obtidas dos resultados da avaliação no processo de separação gravitacional dos sólidos totais no vinho fermentado no protótipo. Verificou-se um volume constante e com a vazão da alimentação para ciclo 01 de 2,25 l/min para o ciclo 02 a vazão 3,91 l/min e no ciclo 03 a vazão 6,26 l/min observou-se também que o tempo de retenção reduziu.

Tabela 2 - Cálculo da vazão média para cada ciclo do processo.

Variáveis	Volume do protótipo (v)	Tempo cronometrado (t)	Vazão alimentação $Q = \frac{v}{t}$
Ciclo 01	33 litros	14:40 min.	2,25 L/min.
Ciclo 02	33 litros	8:26 min.	3,91 L/min.
Ciclo 03	33 litros	5:15 min.	6,26 L/min.

Fonte: Autoria própria.

A **tabela (3)** a partir do tempo total de retenção no interior do protótipo com a vazão constante de descarga do underflow, verificou-se que os volumes das amostras foram diferentes, Estes volumes foram usados para determinar as densidades e o balanço de sólidos de cada ciclo.

Tabela 3 - Cálculo do volume do Underflow

Ciclo	Tempo (min.)	Vazão Underflow (lts/min)	Volume (Lts)
01	14:40	0,123	1,77
02	8:26	0,123	1,01
03	5:15	0,123	0,63

Fonte: Autoria própria.

Amostras do processo de separação no protótipo foram analisadas por picnômetria, os valores encontrados da média deram origem a tabela (4) que mostra a variação das densidades nos pontos de amostragem de Alimentação; underflow e overflow com os seus respectivos desvios padrão em cada ciclo, para efetuar o balanço de material e cálculo de erro padrão.

Tabela 4 - Densidades e desvio padrão

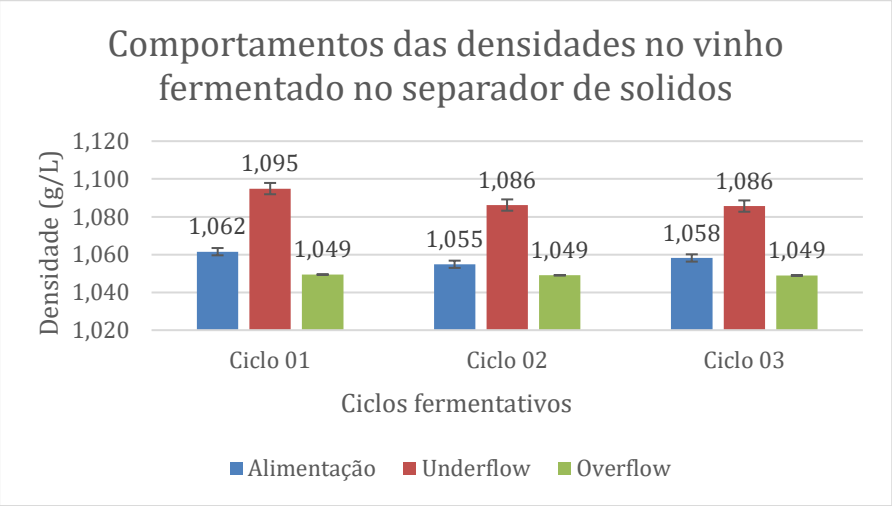
Variáveis	Ciclo (01) densidades	Desvio padrão	Ciclo (02) densidades	Desvio padrão	Ciclo (03) densidades	Desvio padrão
Alimentação	1,062	0,126	1,055	0,402	1,058	0,782
Underflow	1,095	1,758	1,086	0,270	1,086	0,492
Overflow	1.049	0,030	1,049	0,011	1,049	0,032

Fonte: Autoria própria.

Com os dados da tabela (4) plotou-se o gráfico da figura (18). Observou-se que protótipo reage com a variação do tempo de retenção do vinho no interior do

equipamento, mesmo com valores de sólidos na alimentação começando com densidade de 1.062 g/l. No 1º ciclo, o overflow entregou o vinho com densidade 1.049 g/l. No 2º ciclo a densidade do vinho na alimentação passou para 1.055 g/l e overflow permaneceu com o mesmo valor da densidade do ciclo do 1º ciclo. No 3º ciclo a densidade do vinho foi de 1.058 g/l na entrada e o overflow permaneceu no mesmo valor dos resultados das densidades do overflow anteriores, indicando que seu limite de separação não foi encontrado. Observou-se em todas as amostras realizadas do underflow que o valor da densidade foi sempre bem maior que a entrada (alimentação) e saída (overflow) justamente pelo efeito da decantação dos sólidos de maior densidade que entrou pela alimentação.

Figura. 18 – Gráfico das densidades do vinho no sistema.



Fonte: Autoria própria.

Os valores da tabela (5) abaixo, apresenta a vazão de entrada (alimentação) de vinho a ser separado das partículas sólidas, a saída (overflow) é o vinho que sofreu ação da gravidade no separador (protótipo) através do fluxo laminar precipitando as partículas de maior densidade e o descarte (underflow) é o vinho impregnado de partículas sólidas de maior densidade que decantou do vinho alimentado no protótipo em cada ciclo processado.

Tabela 5 – Vazões do processo de vinho nos ciclos 1, 2 e 3.

Vazão do processo	Ciclo (01)	Ciclo (02)	Ciclo (03)
Alimentação (L/min.) (A)	2,250	3,910	6,260
Underflow (L/min.) (D)	0,123	0,123	0,123
Overflow (L/min.) (R)	2,127	3,787	6,137

Fonte: Autoria própria.

5.1 – Cálculo do balanço de sólidos totais no protótipo:

Inicialmente reuniu-se os dados referente ao processo do ciclo 01 coletados da tabela (6) e os dados das vazões do item **(a)** substituiu a equação do balanço de material pelos os valores e o erro padrão.

a) Dados fornecido pelo experimento coleta no ciclo 01:

Vazão de alimentação de sólidos (A) = 2,25 L /min
Vazão de saída sólidos underflow (D) = 0,123 L / min
Vazão de saída sólidos overflow (R) = 2,127 L / min
Tempo de residência (T) = 14:40 min.

Tabela 6 – densidade do vinho fermentado ciclo 01.

Ciclo 01	Densidade (g/L)	Desvio Padrão
Alimentação	1,060	0,126
Underflow	1,095	1,758
Overflow	1,049	0,030

Fonte: Autoria própria.

Temos.

A = D + R (34)

A x (%) = R x (%) + D (%)

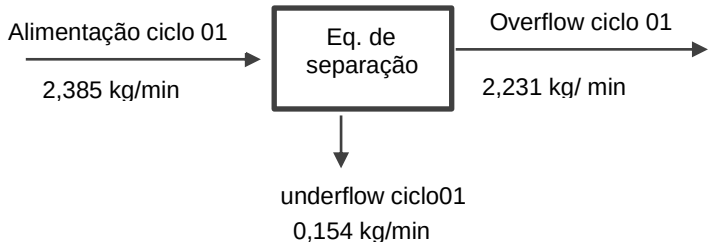
2,25 L /min x 1,060(g/l) = R x (%) + 2,127 L / min x 1,049(g/L)

R x (%) = 2,385(kg/min) – 2,231 (kg/min)

R x (%) = 0,154 (kg/min) x 0,095 = 14,63 g/min. De massa seca.

Representa 6,45% da vazão mássica do **ciclo 01**, que está representado na **figura 19** abaixo.

Figura. 19 – Diagrama representativo do balanço de sólidos ciclo 01.



Fonte: Autoria própria.

O erro padrão avalia a precisão do cálculo na média amostral.

Substituindo os valores na formula temos;

$Sxa = 0{,}126/\sqrt{1{,}060} = 0{,}122$

$Sxu = 1{,}758/\sqrt{1{,}095} = 1{,}680$

$Sxo = 0{,}03/\sqrt{1{,}049} = 0{,}029$

O erro padrão: alimentação: 0,122; underflow: 1,680; overflow: 0,029

b) Dados fornecido pelo experimento coleta no ciclo 02:

Vazão de alimentação de sólidos (A) = 3,91 L /min
Vazão de saída sólidos underflow (D) = 0,123 L / min
Vazão de saída sólidos overflow (R) = 3,78 L / min
Tempo de residência (T) = 8:26 min.

Tabela 7 – densidades do vinho fermentado, Ciclo 02

Ciclo 02	Densidade	Desvio Padrão
Alimentação	1,055	0,402
Underflow	1,086	0,270
Overflow	1,049	0,011

Fonte: Autoria própria.

Fazendo o balanço de sólidos:
Temos.

A = D + R (34)

A x (%) = R x (%) + D (%)

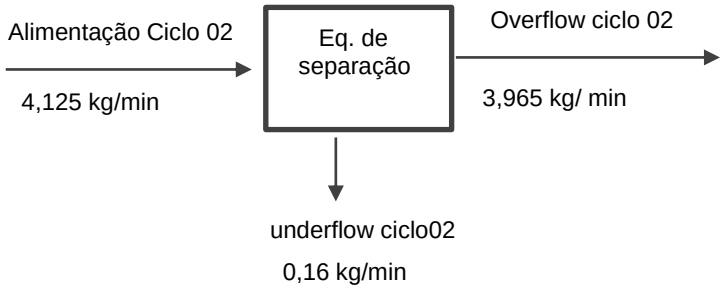
3,91 L /min x 1,055 (g/l) = R x (%) + 3,78 L / min x 1,049(g/L)

R x (%) = 4,125 (kg/min) – 3,965 (kg/min)

R x (%) = 0,16 (kg/min) x 0,086 = 13,76 g/h. De massa seca.

Representa 3,87 % da massa do ciclo 02. Que está representado na figura20 abaixo.

Figura. 20 – Diagrama representativo do balanço de sólidos ciclo 02.



Fonte: Autoria própria.

O erro padrão avalia a precisão do cálculo na média amostral.
Substituindo os valores na formula temos;

$Sxa = 0{,}402/\sqrt{1{,}055} = 0{,}391$

$Sxu = 0{,}270/\sqrt{1{,}086} = 0259$

$Sxo = 0{,}011/\sqrt{1{,}049} = 0{,}010$

O erro padrão: alimentação: 0,391; underflow: 0,259; overflow: 0,010

c) Dados fornecido pelo experimento coleta no **ciclo 03:**

Vazão de alimentação de sólidos (A) = 6,26 L /min
Vazão de saída sólidos underflow (D) = 0,123 L / min
Vazão de saída sólidos overflow (R) = 6,137 L / min
Tempo de residência. (T) = 5:15 min.

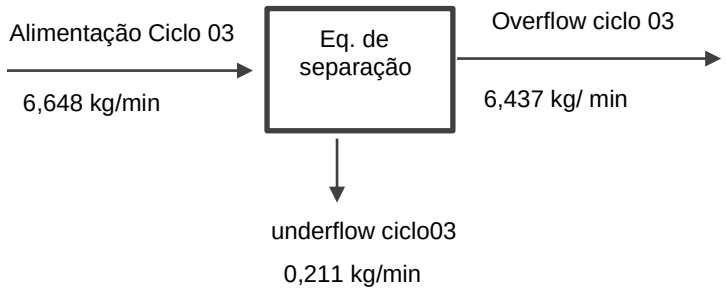
Tabela 8 – densidades do vinho fermentado Ciclo 03.

Ciclo 03	Densidade (g/L)	Desvio Padrão
Alimentação	1,062	0,782
Underflow	1,086	0,492
Overflow	1,049	0,032

Fonte: Autoria própria.

Fazendo o balanço de sólidos:
Temos.
A = D + R (34)
A x (%) = R x (%) + D (%)
6,26 L /min x 1,062(k/l) = R x (%) + 6,137 L / min x 1,049(kg/L)
R x (%) = 6,648 (kg/min) – 6,437 (kg/min)
R x (%) = 0,211 (kg/min) x 0,086 = 18,14 g/min. De massa seca.
Representa 3,17 % do **ciclo 03**, que está representado na figura 21 abaixo.

Figura. 21 – Diagrama representativo do balanço de sólidos ciclo 03.



Fonte: Autoria própria.

O erro padrão avalia a precisão do cálculo na média amostral.
Substituindo os valores na formula temos;

$Sxa = 0{,}782/\sqrt{1{,}062} = 0{,}805$

$Sxu = 0{,}492/\sqrt{1{,}086} = 0{,}472$

$Sxo = 0{,}032/\sqrt{1{,}049} = 0{,}031$

O erro padrão: alimentação: 0,805; underflow: 0,472; overflow: 0,031.

Cada ciclo processado foi cronometrado, a descarga do underflow está determinado no resultado do balanço de massa, com estes dados construiu-se a tabela (9) com os dados da tabela plotou-se a figura(21), pode-se afirmar que pela lei de Newton (gravidade) que a quantidade das impurezas no vinho decantada tem tendência a aumentar com o tempo de residência, ou seja quanto maior o tempo de residência do vinho no separador maior possibilidade de decantar impurezas de maior densidade.

Tabela 9 – Decantação em função do tempo.

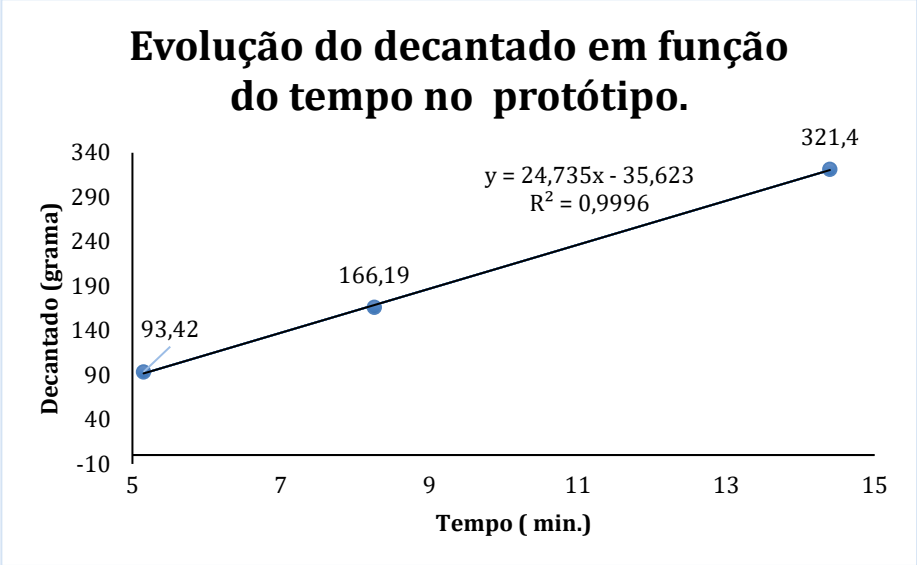
Variáveis	Tempo (min) residência	Underflow (g)
Ciclo 01	14,40	321,40
Ciclo 02	8,26	166,19
Ciclo 03	5,15	93,42

Fonte: Autoria própria.

O gráfico da figura 22 ilustra-se a tendência de decantação, aumenta à medida que se aumenta o tempo de residência do vinho no protótipo, se mantiver a mesma concentração de sólidos.

Na equação da reta o $R^2 = 0{,}9996$ isso aconteceu porque no protótipo podemos controlar as vazões.

Figura. 22 - Gráfico do decantado em função do tempo de residência.



Fonte: Autoria própria.

A estatística dos resultados das médias usando os valores calculados anteriormente estão descritos na tabela 9, para médias iguais, calculamos ANOVA que está na tabela 10.

Tabela 10 - ANOVA.

Fonte da variação	SQ	df	MQ	F	P
Entre grupos	14.678,3	2	7.339,14	0,3468	0,732
Dentro dos grupos	63.491,2	3	21.163,7		
Total	78.169,5	5	0,6458		

Pode ser observado que no processo de separação por decantação nos ciclos, não Se encontrou valor de P< 0,05, então podemos calcular o teste de Tukey apresentado na tabela 11.

Tabela 11 – Teste de Tukey.

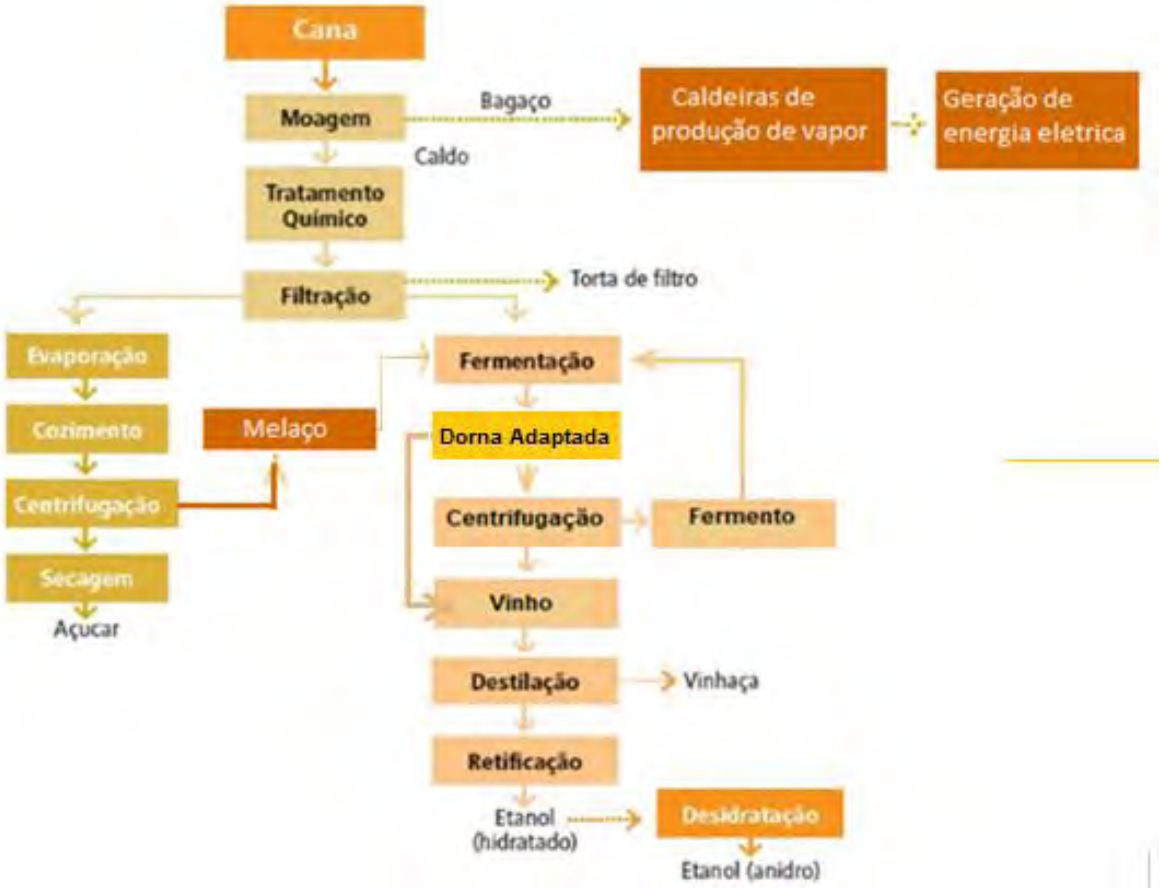
	Ciclo 01	Ciclo 02	Ciclo 03
Tempo		0,8517	0,7208
Decantado	0,7843		0,9636
C	1,153	0,3688	

Entre os ciclos no processo de separação não apresentou diferença significativa, Todos os valores encontrados, são estatisticamente iguais. Ou seja, as diferenças entre as médias são menores do que o (D.M.S.) diferença mínima significativa.

O separador de sólidos na planta piloto foi avaliado e o resultado para os ciclos de separação foi 6,45% no primeiro ciclo, de 3,87%, no segundo ciclo, de 3,17% no terceiro ciclo. A seguir avaliou-se o cleanferm, a separação de sólidos na planta

industrial usando a mesma metodologia empregada na avaliação do separador de sólidos no protótipo.
O diagrama de bloco na figura (23) ilustra em que etapa o equipamento é inserido no processo.

Figura 23 Fluxograma da planta industrial com a introdução do separador de sólidos dorna adaptada.



Fonte: Autoria Própria.

A dorna adaptada é um equipamento industrial que se encontra em funcionamento na usina em Minas Gerais na cidade de Delta, que através das coletas das amostras realizou-se as análises, verificou-se as densidades na alimentação do equipamento com vinho a ser separado as partículas de maior densidade, overflow que é vinho que atravessou o equipamento deixando precipitar as partículas de maior densidade para alimentar as centrifugas e underflow que é vinho com alto teor de sólidos que é o resultado da precipitação dos sólidos de maior densidade no equipamento através da gravidade ao passar pelo tubo separador de fluxo laminar.
A **tabela (12)** Foi constituída dos dados coletados de processos na indústria onde o cleanferm se encontra instalado e funcionando, tais como vazões do vinho de entrada e saída do equipamento de separação de sólidos, dimensões do

equipamento e vazões das bombas de transferência, que foram utilizados nos balanços de material, para cálculos das eficiências do processo de separação.

Tabela 12 – Dados da coleta do processo e dimensões do equipamento avaliado na Indústria.

Dornas	Vazão
Dorna 01	404m³/h
Dorna 02	325m³/h
Dorna 03	380m³/h
Diâmetro do equipamento avaliado	5.500mm
Altura do equipamento avaliado	6.300mm
Volume total do equipamento avaliado	90,0m³
Volume útil do equipamento avaliado	80,0m³
Volume do underflow descartado/dorna	15,0m³
Vazão da bomba de descarte underflow	60,0m³

Fonte: autoria própria.

A **tabela (13)** As amostras coletadas nos pontos de amostragem que estão na alimentação, no underflow e no overflow, o resultado foi obtida através das análises das densidades nas amostras obtida no processo de separação ocorrido no cleanferm na indústria, os dados foram alimentados na planilha do Excel, calculada a media, obtive-se o desvio padrão e a densidade. Que foi usado para calcular o balanço de material e o erro padrão.

Tabela 13 Densidades do vinho no equipamento avaliado e desvio padrão

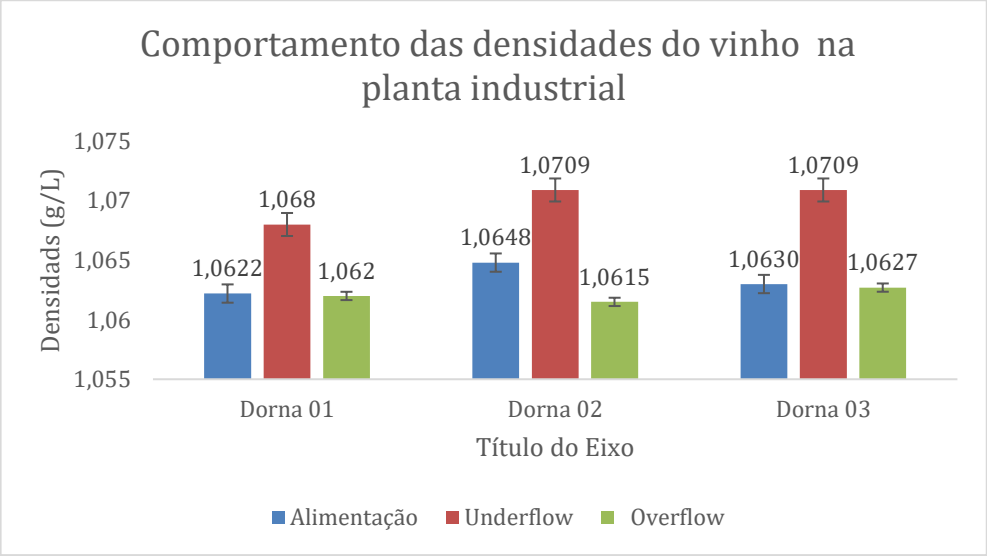
Variáveis	Dornas (01) densidades	Desvio padrão	Dornas (02) densidades	Desvio padrão	Dorna (03) densidades	Desvio padrão
Alimentação	1,0622	0,029	1,0648	0,1601	1,0630	0,079
Underflow	1,068	0,046	1,0709	0,1976	1,0709	0,390
Overflow	1.062	0,081	1,0615	0,5101	1,0627	0,0380

Fonte: Autoria própria.

Plotou-se abaixo a figura (24), gráfico do processo de separação de sólidos no equipamento avaliado, para visualizar melhor o comportamento das densidades no interior do equipamento separador de sólidos, observamos que o equipamento apresenta resultados com margens de oscilação na alimentação maior do que no overflow o que se observa através das densidades que há separação. Quando não se dispõe de um separador de sólidos na fermentação, o overflow é igual a alimentação, então esse sólidos que estão no underflow irão se alojar nos bicos de concentração da centrifugas, quando não obstrui a passagem do fermento pelo bicos, essa impureza volta para um novo ciclo, isso ciclo após ciclo fermentativos causa uma elevada concentração de impurezas, que provoca redução de fermento

nas dornas, os mesmo são desviados pela descarga do overflow nas centrifugas, reduzindo a população de leveduras no processo seguinte, podendo até perder o fermento ou separar pequenas quantidades de fermento para os próximos ciclos fazendo com haja necessidade de mais tempo para fermentar reduzindo assim a eficiência de fermentação, podendo causar parada para partir uma nova fermentação. Já que tem um separador de sólidos nunca irá acontecer tal fato acima relatado, pois o separador sempre vai desviar os sólidos mais pesados para o fundo do mesmo isentando as leveduras de impurezas tornando o processo de centrifugação eficiente e perene, separando as leveduras para o próximo ciclo.

Figura 24 – Gráfico do processo de separação de sólidos no equipamento industrial avaliado.



Fonte: Autoria própria.

5.2 – Cálculo do Balanço de Sólidos Totais.

A tabela 14 foi construída com os dados fornecidos pela planilha na indústria, o que verificamos que quando houve variação de vazão de alimentação o tempo de retenção no equipamento seguiu inversamente proporcional a vazão, isso é necessário para podermos avaliar o processo de separação de sólidos em cada dorna processada.

Tabela 14 - Vazões da dorna adaptada avaliado na indústria.

Vazão do fluxo do processo	Dorna (01)	Dorna (02)	Dorna (03)
Alimentação (L/h.) (A)	404.000	325.000	380.000
Underflow (L/h.) (D)	15.000	15.000	15.000
Overflow (L/h.) (R)	389.000	310.000	365.000
Tempo de retenção (min).	11,88	14,77	12,63

Fonte: autoria própria.

a) Dados fornecido pelo experimento coleta na dorna 01:

Vazão de alimentação de sólidos (A) = 404 m³/h
Vazão de saída sólidos underflow (D) = 15.000 L/h
Vazão de saída sólidos overflow (R) = 389 m³/h

A tabela -15, foi construída com os dados obtidos na análise das amostras de vinho da dorna 01, verificamos que as densidades do underflow é maior do que a alimentação isso ocorre devido o mesmo esta sempre sendo adicionado sólidos de maior densidade, enquanto que a alimentação arrasta os sólidos em menor quantidade , já o overflow se comporta com valores menores devido receber o vinho que atravessou o separador os mesmo deixou no underflow as partículas mais pesadas com isso a densidade do overflow é sempre menor do que alimentação e o underflow, com desvio padrão muito pequeno para todos pontos de amostragem.

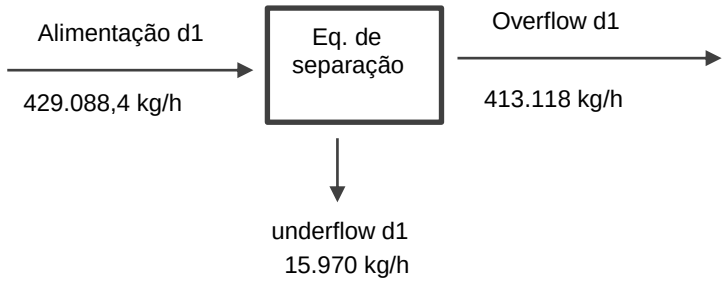
Tabela 15 –Densidade no vinho coletado no equipamento avaliado dorna 01.

Dorna 01	Densidade (g/L)	Desvio Padrão
Alimentação	1,0621	0,02
Underflow	1,0680	0,04
Overflow	1,0620	0,08

Fonte: autoria própria.

Fazendo o balanço de sólidos:
Temos.
A = D + R
A x (%) = R x (%) + D x (%)
404.000(L/h) x 1,0621(kg/L) = 389.000(L/h) x 1,0620 (kg/L) + D x (%)
429.088,4 kg/h = 413.118 k/h + D x (%)
D = 15.970,4 x 0,0680 = 1.085,98 kg/h (seco)
Representa 3,7 % da massa total da dorna. Que está representado na figura (25) abaixo.

Figura.25 - Diagrama representativo do balanço de sólidos na dorna 01.



Fonte: Autoria própria.

O erro padrão avalia a precisão do cálculo na média amostral.
Substituindo os valores na formula temos;

$Sxa = 0{,}02/\sqrt{1{,}0621} = 0{,}019$

$Sxu = 0{,}04/\sqrt{1{,}0680} = 0{,}038$

$Sxo = 0{,}08/\sqrt{1{,}0620} = 0{,}077$

O erro padrão: alimentação: 0,019; underflow 0,038; overflow: 0,077.

b) Dados fornecido pelo experimento coleta na dorna 02:

Vazão de alimentação de sólidos (A) = 325 m³/h.
Vazão de saída sólidos underflow (D) = 15.000 L/h.
Vazão de saída sólidos overflow (R) = 310 m³/h.

A tabela -16 segue o mesmo descritivo da tabela -15, verificamos que neste caso o desvio padrão houve maior diferença nos valores

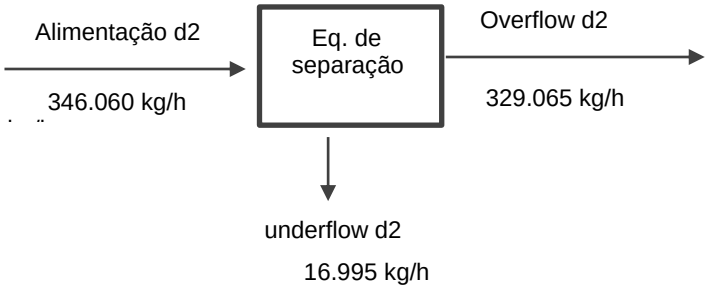
Tabela 16 – Densidade do vinho coletado no equipamento avaliado dorna 02.

Dorna 02	Densidade (g/L)	Desvio Padrão
Alimentação	1,0648	0,160
Underflow	1,0709	0,197
Overflow	1,0615	0,510

Fonte: autoria própria.

Fazendo o balanço de sólidos:
Temos.
A = D + R
Ax (%) = Dx (%) + R (%)
325.000(L/h) x 1,0648(g/L) = 310.000(L/h) x 1,0615 (g/L) + R (%)
346.060 kg/h = 329.065 kg/h + R (%)
R (%) = 16.995 kg/h x 0,0709 = 1.204,9 kg/h (seco)
Representa 4,91 % da massa total da dorna. Que está representado na figura (26) abaixo.

Figura.26 - Diagrama representativo do balanço de sólidos na dorna 02.



Fonte: Autoria própria.

O erro padrão avalia a precisão do cálculo na média amostral

Substituindo os valores na formula temos;

$Sxa = 0{,}16/\sqrt{1{,}064} = 0{,}155$

$Sxu = 0{,}19/\sqrt{1{,}07} = 0{,}183$

$Sxo = 0{,}51/\sqrt{1{,}06} = 0{,}495$

O erro padrão: alimentação: 0,155; underflow: 0,183; overflow: 0,495.

c) Dados fornecido pelo experimento coleta na dorna 03:

Vazão de alimentação de sólidos (A) = 380 m³/h.
Vazão de saída sólidos underflow (D) = 15.000 L/h.
Vazão de saída sólidos overflow (R) = 365.000 m³/h.

A tabela 17 – também seguiu o descritivo da tabela -15, já o processo de analises e avaliação é o mesmo ocorrendo o mesmo processo, com o desvio padrão com baixos valores de desvio.

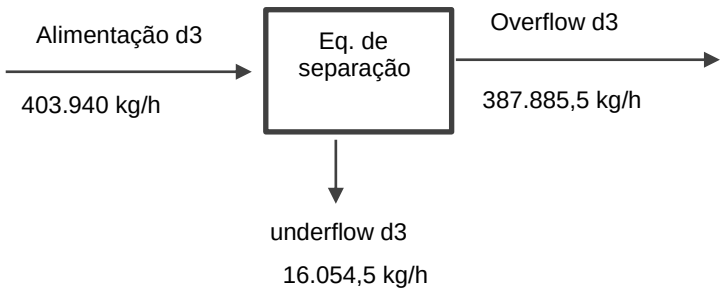
Tabela 17 – Densidade do vinho coletado no equipamento avaliado dorna 03

Dorna 03	Densidade (g/L)	Desvio Padrão
Alimentação	1,0630	0,03
Underflow	1,0706	0,39
Overflow	1,0627	0,38

Fonte: autoria própria.

Fazendo o balanço de sólidos:
Temos.
A = D + R
Ax (%) = Dx (%) + R (%)
380.000(L/h) x 1,0630(g/L) = 365.000(L/h) x 1,0627 (g/L) + R (%)
403.940 kg/h = 387.885,5 kg/h + R (%)
R (%) = 16.054,5 kg/h x 0,0706 = 1.133,44 kg/h impurezas secas.
Representa 4,3 % da massa total da dorna. Que está representado na figura (27) abaixo.

Figura.27 - Diagrama representativo do balanço de sólidos na dorna 03.



.

Fonte: Autoria própria

O erro padrão avalia a precisão do cálculo na média amostral.
Substituindo os valores na formula temos;

$Sxa = 0{,}03/\sqrt{1{,}063} = 0{,}029$

$Sxu = 0{,}39/\sqrt{1{,}070} = 0{,}377$

$Sxo = 0{,}38/\sqrt{1{,}062} = 0{,}368$

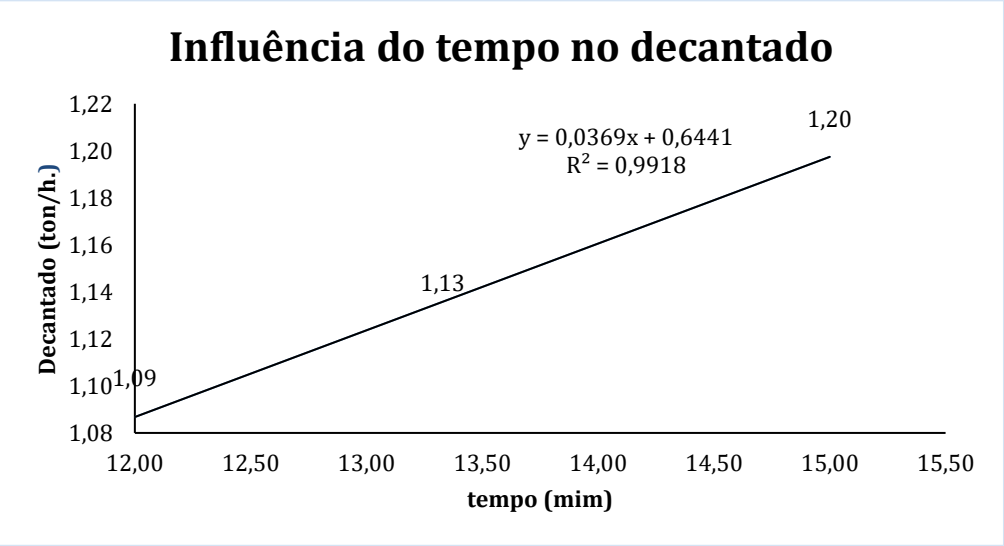
O erro padrão: alimentação: 0,029; underflow: 0,377; overflow: 0,368

Na tabela 18 - Cada ciclo processado foi cronometrado no seu tempo, a descarga do underflow está determinado no resultado do balanço de massa, com estes dados construiu-se a tabela abaixo com os dados da tabela plotou-se a figura(28), pode-se afirmar que pela lei de Newton (gravidade) quantidade das impurezas no vinho decantada, aumenta com o tempo de residência, ou seja quanto maior o tempo de residência do vinho no separador maior possibilidade de decantar impurezas.

Tabela 18 – Decantação em função do tempo.

Variáveis	Tempo (min) residência	underflow (ton.)
Dorna 01	12,00	1,09
Dorna 02	15,00	1,20
Dorna 03	12,63	1,13

Figura. 28 – Gráfico do tempo em relação ao peso do decantado.



Fonte. Autoria própria.

Os dados permitem avaliar o comportamento do equipamento na indústria em face ao que foi verificado no equipamento protótipo. A eficiência do protótipo foi bem maior que a eficiência do equipamento instalada na planta industrial. Esta diferença se deu principalmente devido ao fato de que na planta industrial não foi possível controlar as vazões e nem interromper a produção para ajustes do processo. Daí a importância do protótipo que permitiu avaliar este tipo de tecnologia sem causar paradas custosas na rotina da indústria. Além do mais, no protótipo o controle da vazão via densidade mostrou-se mais eficiente para o processo do que na indústria. Então, estes resultados permitem inferir na indústria a medida da densidade como parâmetro de controle da vazão.

6. CONCLUSÃO.

Construiu-se uma dorna modificada em escala piloto que permitiu avaliar o efeito de decantação de partículas presentes no vinho.
A retenção de sólidos de partículas de maior densidade foi observada e permitiu avaliar a eficiência do equipamento, tanto o em escala piloto quanto o industrial.
Verificou – se a eficiência de separação das partículas no piloto e no industrial.
A metodologia empregada permitiu avaliar os equipamentos quanto à separação sólida.
Foi avaliado o efeito de adaptação da dorna pulmão de vinho levurado para separação de partículas inorgânicas por meio de decantação em escala piloto e industrial e observou-se que a decantação de impurezas ocorre tanto no protótipo como no industrial.
As eficiências de separação foram avaliadas tanto no protótipo como na Industria e os seus valores estão descritos a seguir: Planta piloto no primeiro ciclo de separação houve uma redução de 6,45% de partículas, no segundo ciclo redução de 3,87% e no terceiro ciclo redução de 3,17%. Já na indústria a eficiência de separação na primeira dorna foi de 3,7%, na segunda dorna foi de 4,9% e na terceira dorna foi 4,3%. Na indústria houve um ganho no tempo campanha de limpeza das centrifugas de cada duas horas para cada oito horas, com estes dados pode-se concluir que o equipamento reduz a quantidade de partículas presentes no vinho.

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICA.

1 - ALCARDE, A. R. **Extração.** Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-deacucar/arvore/CONTAG01_103_22122006154841.html> Acesso em: 11 de agosto de 2018.

2 - ALCARDE, A. R. **Tratamento do caldo.** Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-deacucar/arvore/CONTAG01_104_22122006154841.html> Acesso em: 12 de agosto de 2018.

3 - BARROS, Talita Delgrossi. **Etanol.** Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fj1fm1eu02wyiv802hvm3jw2v4w j9.html>. Acesso em:14 ago. 2015.

4 - **Bioetanol de cana-de-açúcar**: energia para o desenvolvimento sustentável / organização BNDES e CGEE. – Rio de Janeiro: BNDES, 2008. 316 p

5 - Atkins, P. e Jones, L. **Princípios de Química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente, Porto Alegre: Bookman, 2001, p.39-40

6 - Brady, J. E. e Humiston, G. E. **Química Geral**, vol. 1, 2ª ed., Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1986, p.14-17.

7 - BNDES. et al. **Sugarcane-Based Bioethanol: Energy for Sustainable Development**. 1st ed. Rio de Janeiro: BNDES' Communication Department, 2008.

8 - BROUN, T., BOHNET, M., 1990, "**EIFLUISSS DER FESTTOFF-KONZENTRATIONAUF DAS TRENNVER HALTENUNDEN DRUCKVERLUST VON HYDROZYKLONEN**", CHEMICAL ENGINEERING TECHNOLOGY, V. 62, PP. 344-345**.**

9 - Chaves, A. P. Noções básicas. In: Chaves, A. P. (Ed.). **Teoria e Práticas do Tratamento de Minérios.v. 1**, São Paulo: Signus Editora, 2002, p.1-78

10 **–** CILLIERS, J. J. e HARRISON, S. T. L. (1997) "**The application ofmini hydrocyclonesin the concentration ofyeastsuspensions**", The Chemical Engineering Journal, vol. 65, p.21-26.

11 - CASTILHO, L.R., MEDRONHO, R.A., 2000, "**A simple procedure for design and performance prediction of Bradley and Rietema hydrocyclones**", Minerals Engineering, v. 13, n. 2, pp. 183-191.

12. DOHERTY, W. O. S.; RACKEMANN, D. W. **Stability of sugarcane juice** – a preliminary assessment of the colorimetric method used for phosphate analysis. Zuckerindustrie, v. 133, n. 1, p. 24-30, 2008

13 - Dana, J. D. **Manual de Mineralogia, Rio de Janeiro:** Livros Técnicos e Científicos, 1969.

14 - Di Bernardo, Luiz: **Seleção de tecnologias de tratamento de água Luiz Di Bernardo, Lyda Patricia Sabogal Paz**

15 - EMBRAPA – Disponível em **https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore***/CONTAG01*_103_2212200615484 26/03/2020.

16 - FAO. **A bioenergia e a segurança alimentar na América Latina** e o Caribe. Escritório Regional para América Latina e Caribe, 2009. Disponível em: http://www.rlc.fao.org/pr/prioridades/bioenergia/bioseguridaade.htm.

17 - Instituto Nacional de Tecnologia, **terças tecnológicas apresenta um panorama das pesquisas em biocombustíveis nos últimos 90 anos**. Página visitada em 10/01/2018. (em português)

18 - KELSALL, D.F., 1953, "**A further study of the hydrauliccyclone**", Chemical Engineering Science, v. 2, pp. 254-272.

19 - KELSALL, D.F., 1952, **"A study of the motion of solid particles in a hydrauliccyclone**", Transaction of the Institution of Chemical Engineers, v. 30, n. 2, pp. 87-108

20 - KELLY, E. SPOTTISWOOD, D. J., 1982, "**Introduction to mineral processing**". New York: Wiley.

21 - LIMA, Urgel de Almeida; AQUARONE, Eugênio; BORZANI, Walter. **Biotecnologia:Tecnologia das Fermentações**. Ano: 1975 Editora: Editora Edgard Blucher

22 - MEZAROBA, S.; MENEGUETTI, C. C.; GROFF, A. M. **Processos de produção do açúcar de cana e os possíveis reaproveitamentos dos subprodutos e resíduos resultantes do sistema. In:**

23 - Manual de Instruções. Disponível em: < http://**www.orplana.com.br/manual**_2006.pdf> Acesso em: 18 de agosto de

2015. **Etanol.** Disponível em: < http://www.novacana.com/etanol> Acesso em: 29 de julho de 2014

24 – Metcalf&Eddy, Inc**. Wastewater Engineering** – Treatment, disposaland reuse, third edition. McGraw-Hill book Co, 1991.

25 - McCarthy, P.L. **Chemistry for environmental Engineering**, third edition. McGraw-Hill book Co, 1978

26 - MATTA, V. M. e MEDRONHO, R. P. (2000 e 2003) "**A new method for yeastrecovery in batch ethanol fermentation**: Filteraidfiltrationfollowedbyseparationofyeastfromfilteraidusinghydrocyclones", Bioseparation, vol.9, p.43-53.

27 - MEDRONHO, R. A. SCHUETZE, J. e DECKWER W. D. (2005), "**Numerical simulation of hydrocyclones for cellseparation**", Latin American Applied Research. vol. 35, p. 1-8.

28 **- Proálcool 40 anos CORTEZ**, Luís Augusto Barbosa; CRUZ, Carlos Henrique de Brito; SOUZA, Gláucia Mendes; CANTARELLA, ... São Paulo: Blucher, 2016.224p.

29 - PAYNE, J.H. **Operações unitárias na produção de açúcar de cana**; tradução Florenal Zarpelon. São Paulo: Nobel S.A., 2010.

30 - PLITT, I. R., 1976, "**A mathematical model of the hydrocyclones classifier**". CIM Bulletin, v. 69, n. 776, p. 114-123.

31 – Renewable Fuels Association (6 de março de 2012). **AceleratingIndustryInnovation**2012

32 - RICHARDSON, J. F. e Meikle, R. A.: Trans. Inst. Chem.Eng.39(1961)357 **Sedmentation and Fluidisation**. Part IV Drag forçe on individual particules in na assemblage.

33 - RIETEMA, K., 1961, "**Performance and design of hydrocyclones**", Parts I to IV. Chemical Engineering Science, v. 15, pp. 298-325.

34 - São Paulo: Edgard Blucher, 1975. 285 p. MARQUES, D. **Conselho de Informações sobre Biotecnologia**, Guia da cana–de-açúcar. 2009.

35 **-** SCHUNTE; BARROS, **A GEOPOLÍTICA DO ETANOL – IPE** http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/3384

36 - SAMPAIO, J. A. (Ed.); FRANÇA, S. C. A. (Ed.); BRAGA, P. F. A. (Ed). **Tratamento de minérios: práticas laboratoriais**. Rio de Janeiro: CETEM, 2007. 570p.

37 - SAMPAIO J. A., OLIVEIRA G. P., SILVA A. O., 2007, **"Ensaios de classificação em hidrociclone**", CETEM, Rio de Janeiro.

38 - SVAROVSKY, L., 1990, "**Solid-Liquid Separation**" - 3rd Ed. – Butterworths – London.Sawyer, C.N.;

39 - SVAROVSKY, L., 1984, "**Hydrocyclones Holt",** Reinehartand Wiston, London, p. 198
40 - SVAROVSKY, L. (1981) "**Solid-liquid separation", Butterworths**, 2nd ed., London.http://www.hottopos.com.br/regeq3/densidad.htm

41 - SILVA, M. A. P., 1989, "**Hidrociclones de Bradley**: dimensionamento e análise de desempenho". Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio de Janeiro

42 - TSUNODA, Edgar S et al. **Sistema de Limpeza de Cana**. 2003. Disponível em: <http://www.isasertaozinho.com.br/congresso/pdf/at03-edgar-t-sistema-de-limpeza-de-cana.pdf>. Acesso em:

43 - TAVARES, L.M., SOUZA, L.L.G., LIMA, J.R.B., POSSA, M.V., 2002, "**Modeling classification in small diameter hydrocyclones** under variable rheological conditions", Minerals Engineering, v.15, pp. 613–622.

44 - TOROBIN, l. B e GAUVIN, W. H.: Can.J.Chen.Eng.38(1959). **Fundamental aspects of solids-gas flow.** Part III Acelerad. Motion of a partícule in fluid.

45 - GERMAN, R. M. **Powder Metallurgy Science**, 2°" ed., Princeton, NJ: MPIF, 1994.

46 - GERMAN, R. M. A **Measure of the Number of Particles in Agglomerates**, Int. J. Powder MetalL, v. 32, n. 4, p. 365-373, 1996