



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE ENGENHARIA
ENGENHARIA MECÂNICA

JOÃO VITOR ALVES DE JESUS

**PROPRIEDADES REOLÓGICAS DA VINHAÇA CONCENTRADA E ANÁLISE
COMPARATIVA NO ESTUDO DA PERDA DE CARGA**

DOURADOS-MS

2023

JOÃO VITOR ALVES DE JESUS

**PROPRIEDADES REOLÓGICAS DA VINHAÇA CONCENTRADA E ANÁLISE
COMPARATIVA NO ESTUDO DA PERDA DE CARGA**

Monografia apresentada ao Programa de
Graduação da Faculdade de Engenharia
Mecânica, como parte dos requisitos para
obtenção do título de **BACHAREL EM
ENGENHARIA MECÂNICA.**

Orientador: Prof. Dr. Bruno Arantes
Moreira

Área de concentração: 3.05.00.00-1
Engenharia Mecânica

DOURADOS-MS

2023

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

J58p Jesus, João Vitor Alves De

PROPRIEDADES REOLÓGICAS DA VINHAÇA
CONCENTRADA E ANÁLISE

COMPARATIVA NO ESTUDO DA PERDA DE CARGA
[recurso eletrônico] / João Vitor Alves De Jesus. -- 2023.

Arquivo em formato pdf.

Orientador: Bruno Arantes Moreira.

TCC (Graduação em Engenharia Mecânica)-Universidade
Federal da Grande Dourados, 2023. Disponível no Repositório
Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde
que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

ANEXO D - AVALIAÇÃO FINAL DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aluno: **JOÃO VITOR ALVES DE JESUS**

Título do trabalho e subtítulo (se houver): **PROPRIEDADES REOLÓGICAS DA VINHAÇA CONCENTRADA E ANÁLISE COMPARATIVA NO ESTUDO DA PERDA DE CARGA**

BANCA EXAMINADORA

1. Presidente (orientador):

Prof. Dr. Bruno Arantes Moreira, Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD

2. Membro:

Prof. Dr. Augusto Salomão Bornschlegell, Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD

3. Membro:

Prof. Dr. Edilson Nunes Pollnow, Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD

De acordo com o grau final obtido pelo aluno, nós da banca examinadora, declaramos **APROVADO** (Aprovado/Reprovado) o aluno acima identificado, na componente curricular Trabalho de Conclusão de Curso (TCC-II) de Graduação no Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Grande Dourados.

Dourados, 19 de abril de 2023.

Prof. Dr. Bruno Arantes Moreira

Prof. Dr. Augusto Salomão Bornschlegell

Prof. Dr. Edilson Nunes Pollnow

AGRADECIMENTOS

Sou grato...

Primeiramente a Deus por permitir a realização deste trabalho e ter me concedido sabedoria, força e, principalmente, fé para a conclusão do mesmo.

A minha mãe Sandra Alves dos Anjos que sempre me apoiou e não mediu esforços para a minha formação.

Aos professores do curso de Engenharia Mecânica da UFGD por todos os momentos, experiências e conhecimento compartilhado.

Aos amigos que estiveram comigo nesta caminhada sempre me apoiando.

Aos meus amigos de graduação, pelos agradáveis momentos de convivência e, também, companhia em grupo de estudos e momentos difíceis.

Ao meu professor e orientador Bruno Arantes Moreira pela oportunidade, paciência e confiança depositada em mim para a realização deste trabalho.

RESUMO

A vinhaça ou vinhoto é um subproduto líquido obtido durante o processo que transforma a cana-de-açúcar em etanol. A vinhaça se tornou ferramenta essencial no setor sucroalcooleiro, devido ao seu potencial de biofertilizante, pois, a mesma possui nutrientes necessários ao solo. Embora a utilização deste resíduo industrial seja bastante comum nas usinas sucroalcooleiras, informações sobre suas propriedades reológicas e as características do escoamento deste fluido ainda são escassas na literatura. Neste contexto, este trabalho tem a finalidade de avaliar as características reológicas da vinhaça concentrada, bem como, realizar uma análise comparativa da perda de carga quando se tem o bombeamento do fluido com vinhaça e com água, pois, tal análise é de suma importância para o projeto de sistemas de bombeamentos. Os resultados exibiram que a vinhaça concentrada apresentou comportamento pseudoplástico, contudo, tal fluido não apresentou indícios de dependência com o tempo, ou seja, não foi verificada presença de tixotropia. Os resultados referentes a perda de carga da vinhaça concentrada, foram substancialmente maiores quando comparados com os valores da água. Entretanto, tal diferença foi reduzida com o aumento da velocidade de escoamento, tendo em vista a característica de pseudoplasticidade da vinhaça e a consequente redução da viscosidade aparente com o aumento da velocidade de escoamento do fluido.

Palavras chave: Vinhaça concentrada, reologia, perda de carga.

ABSTRACT

Vinasse or vinasse is a liquid by-product obtained during the process that transforms sugarcane into ethanol. Vinasse has become an essential tool in the sugar and alcohol sector, due to its potential as a biofertilizer, as it has nutrients needed by the soil. Although the use of this industrial waste is quite common in sugar and alcohol plants, information about its rheological properties and the flow characteristics of this fluid are still scarce in the literature. In this context, this work aims to evaluate the rheological characteristics of the concentrated vinasse, as well as to carry out a comparative analysis of the head loss when the fluid is pumped with vinasse and with water, since such an analysis is of paramount importance for the design of pumping systems. The results showed that the concentrated vinasse showed a pseudoplastic behavior, however, this fluid did not show signs of dependence over time, that is, the presence of thixotropy was not verified. The results referring to the head loss of the concentrated vinasse were substantially higher when compared with the water values. However, this difference was reduced with the increase in the flow velocity, considering the characteristic of pseudoplasticity of the vinasse and the consequent reduction in the apparent viscosity with the increase in the fluid flow velocity.

Keywords: Concentrated vinasse, rheology, carga loss

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS	11
3. REFERENCIAL TEÓRICO	12
3.1 Usinas Sucroalcooleiras.....	12
3.2 Fertilizantes.....	12
3.3 Fertilizantes no Brasil.....	14
3.4 Biofertilizantes	15
3.5 Vinhaça	15
3.6 Fluidos não - Newtoniano.....	16
3.6.1 Fluidos Pseudoplásticos	18
3.7 Tixotropia	18
3.8 Histerese.....	19
3.9 Perda de carga.....	20
3.10 Fator de Atrito para Fluidos não – Newtoniano	20
3.11 Fator de atrito para fluidos newtonianos	22
4 MATERIAIS E MÉTODOS	23
4.1 Materiais.....	23
4.2 Preparação para os ensaios experimentais.....	24
4.3 Ensaio no viscosímetro.....	25
4.3.1 Diagrama de Viscosidade	26
4.3.2 Ensaio de Histerese	26
4.4 Análise de perda de carga em fluidos Newtonianos e pseudoplásticos	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
5.1 Diagrama de Viscosidade	30
5.2 Tixotropia	31
5.3 Análise de perda de carga	32
6 CONCLUSÕES.....	37
REFERÊNCIAS	38

1. INTRODUÇÃO

O setor sucroalcooleiro é de suma importância para a sociedade devido ao seu significativo papel na economia, elevado número de agroindústrias em regiões do país e geração de milhares empregos. De acordo com IPEA, o setor respondeu por 2,4% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro em 2020. O Brasil é referência na produção de cana-de-açúcar e etanol, além de ser um dos maiores exportadores de açúcar e biocombustíveis. Na obtenção desses produtos, diversos subprodutos são gerados que são totalmente reutilizados, como por exemplo a vinhaça e a torta de filtro destinados à adubação e à fertirrigação.

A vinhaça também é conhecida pelos nomes vinhoto, tiborna ou restilo. Quando a cana-de-açúcar é fermentada, restam aproximadamente 12 litros de vinhaça para cada litro de álcool produzido. Algumas usinas já utilizam vinhaça em 70% da área cultivada, outras utilizam bem menos (NETO, 2005). Na planta industrial esta é denominada de vinhaça convencional, pois, a mesma tem uma parcela significativa de água em sua composição.

Sob essa ótica, a vinhaça tornou-se uma ferramenta fundamental nas usinas sucroalcooleiras, no aspecto de atuar como fonte de adubação natural, caracterizando-se como biofertilizante. Além da questão ambiental, a mesma também se destaca por sua viabilidade econômica, pois, com sua utilização reduz-se a importação de fertilizantes que contém em sua fórmula constituintes essenciais ao solo, já presentes na vinhaça.

O método tradicional de utilização da vinhaça é via fertirrigação. Este é um método de aplicação de fertilizantes por meio da água de irrigação, é muito diferente da compostagem via solo, principalmente porque acelera a reciclagem dos nutrientes utilizados. A disponibilidade de fertilizantes solúveis no mercado, o custo da mão de obra rural na adubação tradicional, o aumento da área irrigada no Brasil, a irrigação por pressão, tudo isso estimulou os produtores a empregarem a fertirrigação, pois o custo de implantação em relação ao custo total permite sua utilização (COELHO et al. 2010).

Nesse sentido, visto a importância desse biofertilizante, muitas usinas estão realizando processos para tornar a vinhaça o mais concentrada possível em nutrientes. Esse procedimento, também ocorre em virtude do sistema de aspersão da vinhaça convencional, o qual é realizado por meio de tubulação adutora. Nessas circunstâncias em áreas distantes da planta industrial a aplicação da vinhaça convencional seria inviável devido aos elevados custos com extensos sistemas de tubulação. Desse modo, retira-se parcela significativa de água presente no resíduo

através do processo de vaporização, ao término deste, o que era chamado de vinhaça in-natura ou convencional, recebe o nome de vinhaça concentrada. O volume necessário da vinhaça concentrada é menor quando comparada com a vinhaça in natura tornando possível o transporte por meio de caminhões para áreas distantes da indústria onde não seria possível realizar a aspersão na forma convencional.

Assim sendo, o conhecimento das propriedades reológicas da vinhaça, bem como, a análise comparativa da perda de carga da mesma com a água, é de suma importância para o dimensionamento de tubulações e projeto de bombas.

2. OBJETIVOS

Dentro do contexto apresentado, o presente trabalho tem como principais objetivos:

- A avaliação das propriedades reológicas de um dos principais subprodutos do processo de produção do etanol, a vinhaça.
- Análise comparativa da perda carga quando se tem o bombeamento do fluido com vinhaça e com água.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Usinas Sucroalcooleiras

A trajetória da cana-de-açúcar na história remonta inúmeras disputas entre nações, a origem da mesma vem das áreas mais tropicais da Ásia, Sul e Sudoeste, no entanto, a planta se adaptou perfeitamente ao clima brasileiro, que logo tornou-se monopólio mundial. Dessa forma, desde o período que o Brasil foi colonizado, esse produto se desenvolveu agronomicamente e industrialmente. Em função disso, a nação brasileira é líder no ranking mundial relacionado a produção e exportação de cana-de-açúcar e etanol.

O setor sucroalcooleiro, é caracterizado por ser um ramo da agroindústria destinado à produção de açúcar, de álcool e de outros derivados da cana-de-açúcar, como o etanol e solventes. A disseminação da cana-de-açúcar em solo brasileiro ocorre em virtude da valorização do etanol, sendo este uma fonte de energia limpa, visto que o mundo necessitou encontrar alternativas em relação a sua matriz energética. Nos últimos 30 anos, o setor sucroenergético teve grande progressão, alcançando altos níveis em relação à aspectos tecnológicos, tornando este ramo sucroalcooleiro um dos mais prósperos da agricultura brasileira. A bioeletricidade é considerado um grande marco para o setor, esta se configura, pela utilização do bagaço e da palha da cana-de-açúcar na geração de energia. Nesse sentido, foi possível abrir uma ampla fronteira para a difusão e o fortalecimento do setor, já que a bioeletricidade é hoje considerada umas das mais significativas fontes de geração de energia elétrica. (GOES; MARRA; SILVA, 2008).

Tendo em vista que, a crescente produção e o intuito de alcançar um progresso na qualidade do produto final, anexado a tecnologia e ao aumento das áreas agricultáveis de cana-de-açúcar, promovem elevada geração de resíduos, destacando-se, o bagaço e a vinhaça, estes, se forem reutilizados eficientemente, são caracterizados como subprodutos (EIT, 2006). No caso da vinhaça, este pode ser aproveitado para ser utilizado com fertilizante nas lavouras de cana-de-açúcar.

3.2 Fertilizantes.

De acordo com a Lei nº6.984 (Brasil,1980,p.1), os fertilizantes são considerados como

substâncias do tipo: mineral; orgânica; sintética, e são responsáveis por fornecer um ou mais nutrientes para as plantas, tornando-se imprescindível para uma larga produção agrícola e alimentação global.

Perante a definição geral, os fertilizantes minerais são materiais naturais ou manufaturados, que contêm nutrientes essenciais para o crescimento normal e o desenvolvimentos das plantas. O uso destes na agricultura originou-se no continente Europeu, em meados do século XIX, no entanto, um aumento considerável ocorreu após a 2ª Guerra Mundial. Desde à antiguidade o homem neolítico já utilizava cinzas e esterco de animais como fontes de nutrientes para a produção de plantas, essa prática foi disseminando-se por todo território europeu, de tal forma que o adubo tornou-se escasso.

Nesse sentido, em 1842, Justus Von Liebig, percebeu por meio de pesquisas que plantas alimentícias, desenvolvem-se melhor quando adiciona-se três elementos químicos: nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). Tomando esta referência como ponto de partida, teve início o legado dos fertilizantes químicos, baseados na fórmula NPK., assim o esterco começava a ser substituído por compostos químicos, possibilitando produzir alimentos em alta escala. Desde então, a indústria dos fertilizantes segue esta referência para a produção. Atualmente, este mercado movimenta mundialmente um valor que gira em torno de US\$ 171 bilhões, segundo levantamento da consultoria Global Market Insights.

Há indícios que a primeira fábrica de fertilizantes surgiu em 1843, na Inglaterra, onde se fabricava superfosfato simples. No entanto, o mundo dos fertilizantes deu grandes passos com a síntese da amônia, o que levou ao surgimento de fertilizantes nitrogenados (QUARTUCCI, 2007).

O advento de novas tecnologias, possibilitou incorporar a variedade de fertilizantes, quanto a forma: sólida, líquidas, granuladas e em pó – de acordo com a necessidade do cliente. Assim, os fertilizantes são ser divididos nos seguintes grupos (UDOP, 2022).

- **Orgânicos:** Talvez um dos primeiros desenvolvidos, o fertilizante orgânico pode ser preparado em casa a partir de resíduos orgânicos como casca de frutas, esterco animal e farinha de ossos.
- **Mineral:** Também conhecido como inorgânico ou sintético, o fertilizante mineral é produzido a partir de processos industriais e leva em sua formulação macro e micronutrientes químicos como NPK, cálcio, ferro e manganês.
- **Organomineral:** Estes são originados com a mistura de fertilizantes minerais e

orgânicos, resultando em um produto capaz de melhor absorção pelo solo..

- Biofertilizantes: Diferente do fertilizante orgânico (geralmente utilizado em forma sólida), os biofertilizantes são preparados a partir de resíduos orgânicos que passam pela fermentação anaeróbica (sem a presença de ar), resultando em um produto líquido.

3.3 Fertilizantes no Brasil

Nos dias atuais há em solo brasileiro cerca de 329 milhões de hectares de terras cultiváveis, dos quais 80 milhões (24,3%) são destinadas ao cultivo de lavouras anuais e perenes e 172 milhões (52,1%) de hectares são pastagens (SANTOS, 2021). Corroborando com o clima diversificado, chuvas regulares, energia solar abundante e uma parcela significativa da água doce disponível no planeta, criando ótimas condições para o desenvolvimento do agronegócio. Por isso, o setor tem sido uma importante força motriz para a economia brasileira.

A chegada dos fertilizantes no Brasil foi na época de ouro do café em 1895, na região de Campinas (SP). Inicialmente apenas 30% do solo cultivado usava adubação. Nesse sentido em 1967, criou-se a Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), uma ação que compactuou 14 empresas. Atualmente o país é umas das referências entre os países consumidores de fertilizantes do mundo (ANDA, 2007 apud RAMOS, 2020).

No Brasil, a indústria de fertilizantes iniciou a partir das fases finais de fabricação, como a mistura, granulação, armazenagem e distribuição, utilizando-se de matérias-primas intermediárias importadas. Dessa forma, pode-se afirmar que o setor brasileiro de fertilizantes teve um desenvolvimento contrário, partindo dos produtos acabadas para a extração e produção de matérias-primas (TRAGE, 2019).

No Brasil, há uma grande demanda por fertilizantes, em 2021 importou cerca de 89% das 43 milhões de toneladas consumidas na produção agrícola. No país, as culturas de soja, milho e cana-de-açúcar respondem por mais de 73% do consumo de fertilizantes. No entanto, o setor agrícola ainda é altamente dependente de importações, a Rússia é reponsável por fornecer 25% dos fertilizantes para o Brasil. Junto com a Bielorrússia, chega a fornecer mais de 50% do potássio consumido pelo agricultor brasileiro anualmente (EMBRAPA, 2022).

Vale mencionar que o conflito instaurado no início de 2022 entre as nações da Rússia e da Ucrânia, tornou claro a forte dependência do setor agrícola brasileiro quanto a importação de fertilizantes, em decorrência da guerra instaurada, o Brasil passou por dificuldades em importar fertilizantes e, conseqüentemente, há incertezas ao desenvolvimento do agronegócio

brasileiro. Dessa maneira, é fundamental dizer que o país necessita encontrar alternativas, e uma das pautas a se discutir são os insumos de origem orgânica, como por exemplo, os biofertilizantes (PINHEIRO, 2022).

3.4 Biofertilizantes

Os biofertilizantes são produtos obtidos após a decomposição de matéria orgânica, que se decompõem em fertilizantes por meio de fenômenos físicos, químicos e biológicos, podendo ser utilizado junto ao solo na forma líquida, foliar ou sólida. Os biofertilizantes para produção orgânica são apoiados pelos agricultores agroecológicos por sua eficácia a curto, médio e longo prazo (ALVES, 2019).

Estes contém compostos biologicamente ativos resultantes da digestão biológica de compostos orgânicos de origem animal e vegetal. Células vivas ou dormentes de microrganismos metabólicos e fermentativos aeróbicos e anaeróbicos (bactérias, leveduras, algas e fungos filamentosos) no seu conteúdo, bem como metabólitos e quelatos organometálicos em substâncias solúveis em água. (MEDEIROS; LOPES, 2006).

O biofertilizante atua direta ou indiretamente no solo e no sistema vegetal, e tem finalidade a eliminação de insetos e bactérias, bem como, repelir roedores. Também serve ao metabolismo das plantas e à ciclagem de nutrientes do solo, pode substituir fertilizantes químicos e pesticidas e tem as vantagens de baixo preço e menores danos ao meio ambiente (MEDEIROS; LOPES, 2006 apud SALBEGO, 2021).

O uso de biofertilizantes já está em curso no Brasil há alguns anos. Em culturas como café e arroz conseguiram ser protagonistas tornando o país líder mundial em produção orgânica. Em lavouras de hortifrútiis, as técnicas agroecológicas ganharam mais adeptos em virtudes das pressões por alimentos mais saudáveis. Em contrapartida, na soja e no milho, o papel dos biológicos tende a ser menor, visto que a fórmula NPK é comumente usada (PINHEIRO, 2022).

Neste contexto, no processamento da cana-de-açúcar, alguns subprodutos são gerados, dentre eles: o bagaço, a vinhaça, a torta de filtro e a levedura. Entre os citados, a vinhaça chama atenção devido ao seu grande volume produzido e por seu valor agrícola como fertilizante. Dessa forma, a mesma se consolida no setor sucroalcooleiro por ser uma fonte orgânica alternativa aos fertilizantes químicos, possibilitando adubação de qualidade a planta e redução de custos.

3.5 Vinhaça

A vinhaça é um líquido quente, turvo, ácido e malcheiroso que é composto principalmente de matéria orgânica. Além disso, contém certos minerais, como nitrogênio, potássio e cálcio, e é produzido em temperaturas elevadas ao deixar os destiladores. Estima-se que a produção de destilados resulta em aproximadamente 10 a 15 litros de vinhaça para cada litro de álcool produzido (BAPTISTA, 2020).

Além de fatores como a natureza dos ingredientes do vinho, o sistema de fermentação, etc., a composição quantitativa do vinhoto também pode variar dependendo do tempo, índice de maturidade, tipo de solo e matérias-primas utilizadas para a produção de etanol, tipo de levedura usada, tipo de processamento da levedura, usado para aditivos de fermentação, dispositivo de destilação, qualidade da água usada e componentes de desinfecção (ARAUJO; OLIVEIRA, 2016 apud SOUSA, 2018).

Embora o uso da vinhaça como biofertilizante obedeça a rígidas regras e padrões de controle ambiental estabelecidos pela CETESB do Estado de São Paulo, muitas vezes são levantadas questões sobre o potencial impacto ambiental dessa prática e pelo cheiro característicos. Em volta dele, lavagem de componentes de grânulos do dispositivo de destilação e lixiviação no solo e impacto potencial na qualidade das águas subterrâneas (SAA, 2017 apud CAMARGO, 2021).

Segundo Da Silva et al. (2007), aumentar a adição de vinhaça e matéria orgânica no cultivo de cana-de-açúcar pode melhorar a condição física do solo e facilitar maior mobilização de nutrientes, também por proporcionar maior solubilidade do efluente.

Do ponto de vista ambiental e produtivo, o uso controlado deste biofertilizante é uma boa prática no cultivo da cana-de-açúcar, pois permite a recuperação total dos resíduos gerados após o processamento e evita a poluição. Sob essa ótica, uma vez rejeitado este subproduto ele poderá causar sérios danos ambientais. Porém, reaproveitando-o eficientemente em outros processos, este pode aumentar a fertilidade do solo, reduzir a quantidade de água de irrigação e redução quanto ao uso de fertilizantes sintéticos (NOVACANA).

3.6 Fluidos não - Newtonianos

Um fluido não newtoniano é um fluido cuja curva de escoamento tem uma direção não linear ou mesmo uma direção linear que não passa pela origem (Moreira, 2018). De tal maneira

que estes fluidos, expressa-se a relação entre τ_{yx} e γ_{yx} , conforme abaixo:

$$\tau_{yx} = \eta \gamma_{yx} \quad (1)$$

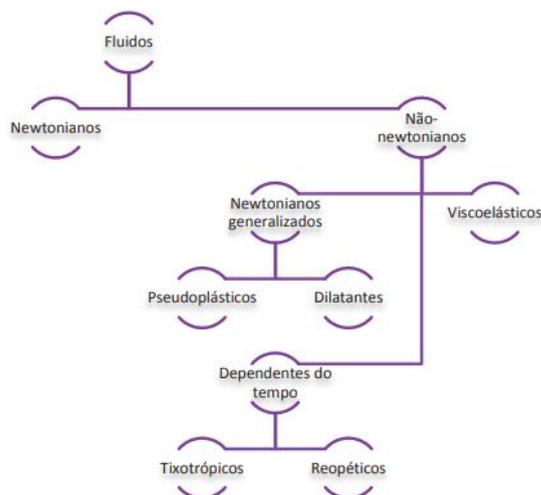
Onde η é a viscosidade aparente, uma função da temperatura (T), da pressão (P) e da taxa de deformação (γ). Alguns fluidos possuem também dependência com o tempo (t), de modo que:

$$\eta = \eta(T, P, \gamma, t) \quad (2)$$

Nesse contexto, os fluidos não-newtonianos pode ser definidos geralmente em três grupos (Moreira, 2018).

- Fluidos puramente viscosos, com viscosidade aparente independente do tempo, ou newtonianos generalizados. Nestes fluidos a taxa de deformação em um determinado ponto depende exclusivamente da tensão de cisalhamento aplicada naquele ponto e naquele instante.
- Fluidos com a viscosidade aparente dependente do tempo, materiais em que a relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação depende também de fatores como a duração em que o cisalhamento é imposto ou mesmo a trajetória percorrida pelo fluido anteriormente.
- Fluidos viscoelásticos, materiais que exibem características combinadas de um sólido elástico e um fluido viscoso, demonstrando desta forma uma recuperação elástica parcial, após a deformação.

Figura 3.6: Classificação dos fluidos.



Fonte: Moreira,2018.

3.6.1 Fluidos Pseudoplásticos

Quando estão em repouso, esse materiais têm partículas de fluido turbulentas, mas quando são submetidos à tensão de cisalhamento, suas partículas de fluido tendem a se alinhar na direção da força aplicada. Consequentemente, quanto mais força, maior é a ordem e menor é a viscosidade aparente. Tal fluido pode ser descrito por diversas equações, sendo comumente utilizadas: *Power-law*, *Ellis* e *Carreau* (SANTANA, 2019). Nesse sentido, o modelo de Ostwald-de-Waele ou modelo Power law (1923, 1925), é descrito conforme a expressão abaixo:

$$\eta = k(\gamma_{yx})^{n-1} \quad (3)$$

O índice de consistência do fluido é representado por k ($Pa \cdot s^n$), enquanto o índice de comportamento é expresso por n , adimensional. Quando n é menor que 1, o fluido apresenta propriedades pseudoplásticas, enquanto um n igual a 1 indica um comportamento newtoniano. Por fim, n maior que 1 indica um comportamento dilatante do fluido.

3.7 Tixotropia

Segundo Barnes, 1997, ao ser aplicada uma carga mecânica em um fluido verifica-se que em alguns tipos de materias, leva-se um determinado intervalo de tempo para recuperar sua microestrutura inicial, devido ao rearranjo espacial local dos componentes, desta forma, caracteriza-se então a tixotropia.

Fluidos desse grupo apresentam um comportamento reológico dependente do tempo. Um fluido tixotrópico é aquele no qual a viscosidade aparente diminui com o tempo quando o fluido é submetido a uma taxa de cisalhamento constante. Fluidos desse tipo são conhecidos por conter pequenas partículas (cristais ou biopolímeros) que são mantidos juntos por forças fracas. O cisalhamento do material separa as partículas agregadas e então ocorre uma menor resistência ao escoamento e a viscosidade decresce com o tempo até um valor constante ser alcançado (MCCLEMENTS, 2005 apud HAMINIUK, 2005).

A tixotropia é um fenômeno caracterizado por uma diminuição na viscosidade aparente ao longo do tempo quando o fluido é submetido a uma taxa constante de deformação (após a amostra ter estado previamente em repouso). A viscosidade aparente se recupera com o tempo após cessar o cisalhamento aplicado ao fluido. (MOREIRA, 2014).

De acordo com Moreira (2014), na literatura, muitos trabalhos definem a tixotropia

incorretamente. Assim, o autor deliberou elementos básicos que definem os fluidos tixotrópicos.

- a) A definição deve ser baseada na viscosidade;
- b) Quando um tixotrópico começa a fluir (inicialmente em repouso), a viscosidade aparente diminui com tempo;
- c) Quando o fluxo do fluido é reduzido ou o fluido está em repouso, o efeito redutor é reversível.

3.8 Histerese

Green e Weltmann introduziram a técnica de histerese em 1943. Isso envolve aumentar continuamente a taxa de deformação de zero até um valor máximo e, em seguida, diminuir a taxa de deformação na mesma velocidade de volta ao valor inicial. A esse respeito, observe o ciclo histerético para ver a tensão cisalhante em relação à taxa de deformação da amostra que apresenta comportamento tixotrópico, como observado na Figura 3.8 (Moreira, 2018).

Figura 3.8: Ilustração da técnica de histerese de um fluido dependente do tempo.



Fonte: Moreira, 2018.

Segundo Moreira (2018) a altura, a forma e a área do período de histerese se correlacionam com a duração do cisalhamento, a taxa de deformação na qual a carga aumenta ou diminui e o histórico de movimento da amostra. Deve-se notar que o comportamento do fluido em relação ao tempo será tanto maior, quanto maior for a área formada pelo ciclo.

3.9 Perda de carga

A força que um fluido exerce sobre um objeto devido ao movimento relativo é chamada de arrasto. Este fenômeno costuma ser um efeito indesejável, portanto, reduzi-lo é desejável. Um fluido em repouso exerce apenas pressão estática normal sobre objetos imersos nele. Por outro lado, o fluido em movimento também exerce forças de cisalhamento tangencial em sua superfície devido à condição de não deslizamento causadas pelos efeitos viscosos do fluido (ÇENGEL, 2006 apud RÊGO, 2018).

A perda de carga ou energia resulta da fricção interna do fluido, ou seja, da alteração da viscosidade do mesmo, da resistência da parede devido à sua rugosidade e do percurso das moléculas do fluido imposto pelos componentes e equipamentos inseridos no interior do duto (MACYNTIRE, 2010).

Além da perda de energia que ocorre ao longo da tubulação, também há perdas de energia em singularidades, válvulas. Estes acessórios também ocasionam perda de energia causando turbulência, mudanças de velocidade, mudanças na direção das linhas de correntes, aumento do atrito e faz com que as partículas do fluido colidam. Sob essa ótica, as perdas relacionadas ao que foi citado são denominadas chamadas de locais, localizadas ou acidentais (MACYNTIRE, 2010).

Nesse sentido, ao calcular a queda de pressão da tubulação, é necessário somar a queda de pressão correspondente a cada peça, acessório e válvula à queda de pressão normal, ou seja, a queda de pressão que ocorre ao longo da tubulação (MACYNTIRE, 2010).

3.10 Fator de Atrito para Fluidos não – Newtoniano

Muito se discutiu em relação as correlações de fator de atrito, de maneira que, El-Emam et al.(2003) analisaram diferentes dados experimentais presentes na literatura. Nesse sentido, os autores empiricamente desenvolveram uma nova correlação, admissível à faixa de escoamento turbulento, onde relaciona-se o fator de atrito de Fanning (f_f) e o número de Reynolds generalizado (Re_{MR}), (SANTANA,2019). Assim a equação, torna-se

$$f_F = \frac{1}{4} \left[\left(\frac{n}{3,072 - 0,1433n} \right) Re_{MR}^{\left(\frac{n}{0,282 - 4,211n} \right)} - 0,00065 \right] \quad (4)$$

Ressalta-se, que por meio de análises experimentais e comparações, determina-se que a utilização da Equação (4), concentra-se em uma faixa de $3000 < Re_{MR} < 10^5$.

Se faz necessário dizer, que para fluidos lei da potência, também utiliza-se o número de Reynolds generalizado, este foi introduzido por Metzner e Reed (1955). Os mesmos a partir da expressão para taxa de cisalhamento, desenvolvida por Rabinowitsch (1929), que leva em consideração fluidos que não possuem dependência com o tempo, conforme mostrado abaixo:

$$\dot{\gamma} = \frac{3n + 1}{4n} \frac{8\bar{u}}{D} \quad (5)$$

onde n deve satisfazer a condição referente a lei da potência, apresentada na equação (3)

$$\sigma = \frac{D\Delta p}{4L} = K \frac{3n + 1}{4n} \left(\frac{8\bar{u}}{D}\right)^n \quad (6)$$

No intuito de correlacionar a queda de pressão em um tubulação e o fator de atrito de Fanning com um número de Reynolds generalizado, Metzner e Reed (1955) usaram uma expressão matemática que considerará a queda de pressão em tubo reto, horizontal e sem singularidades, de maneira que obtém-se

$$f_F = \frac{\frac{D\Delta p}{4L}}{\frac{\rho\bar{u}^2}{2}} \quad (7)$$

Relacionando as equações (6) e (7), obtém-se:

$$f_F = \frac{16\gamma}{D^n \bar{u}^{2-n} \rho} \quad (8)$$

De modo que γ é o coeficiente de viscosidade generalizado e é expresso conforme abaixo

$$\gamma = K \left(\frac{3n + 1}{4n}\right) 8^{n-1} \quad (9)$$

Considerando $f_F = \frac{16}{Re_{MR}}$, atribuído a um escoamento laminar para fluidos não-

newtonianos, é possível dizer que o número de Reynolds generalizado é dado por

$$Re_{MR} = \frac{D^n \bar{u}^{2-n} \rho}{\gamma} = \frac{D^n \bar{u}^{2-n} \rho}{K \left(\frac{3n+1}{4n} \right) 8^{n-1}} \quad (10)$$

De tal forma que K e n são parâmetros obtidos por meio do ajuste *Power-law*, D o diâmetro da tubulação, ρ a densidade do fluido e u a velocidade do fluxo.

Salienta-se ainda, que para escoamentos laminares, utiliza-se uma simplificação para determinar o fator de atrito de Fanning, conforme mostrado abaixo,

$$f_F = \frac{16}{Re_{MR}} \quad (11)$$

3.11 Fator de atrito para fluidos newtonianos

Conforme visto anteriormente, o fator de atrito é um importante parâmetro a ser determinado no escoamento dos fluidos. Assim para fluidos com características newtonianas e regime turbulento, este é estimado experimentalmente por meio do diagrama de Moody. No entanto, para não ser dependente de métodos gráficos, é possível utilizar a equação de Colebrook, expressa a seguir.

$$\frac{1}{\sqrt{f_d}} = -2 \log \left(\frac{e}{3,7D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f_d}} \right) \quad (12)$$

Ressalta-se que é necessário o fluido ser newtoniano e estar em regime turbulento para utilização da equação (12). Ademais o número de Reynolds é dado por:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \quad (13)$$

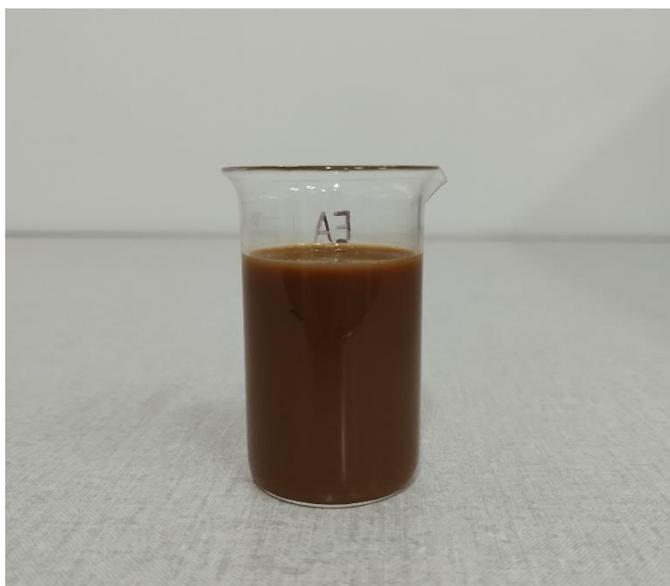
4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

Para realização do experimento, o material utilizado para fins de estudo foi o biofertilizante conhecido como vinhaça concentrada. Na Figura 4.1, é possível observar a imagem fotográfica da fertilizante utilizado por este trabalho. Tal material foi doado por uma usina sulcroalcooleira localizada nas proximidades da região de Dourados – Ms.

A vinhaça concentrada tem sido uma ferramenta bastante difundida no meio das usinas sulcroalcooleiras. Este biofertilizante pode ser obtido, a partir da vinhaça in-natura, onde retira-se o máximo de água durante o processo industrial de vaporização, com a finalidade de torná-la mais concentrada possível em nutrientes. Esta técnica é utilizada, pois para utilizar a vinhaça in-natura via tubulação adutora, seria necessário um extenso sistema de tubulação, o que inviabilizaria o processo em questão de custo. Dessa forma, ao término do processo o volume da vinhaça concentrada é menor quando comparada com a vinhaça in natura tornando possível o transporte por meio de caminhões para áreas distantes da indústria onde não seria possível realizar a aspersão na forma convencional. Ademais, a vinhaça concentrada é transferida para equipamentos tratorizados ou caminhões com implementos específicos e aplicado de forma terrestre.

Figura 4.1: Imagem fotográfica da vinhaça concentrada.



Fonte: Autor (2023).

4.2 Preparação para os ensaios experimentais

Previamente, se fez necessária a inicialização e configuração de cada componente, tendo em vista que o banho térmico teria que aquecer até a temperatura programada. Posteriormente, até que o banho térmico atinja à temperatura de 25°C, escolheu-se o spindle apropriado para a análise. É fundamental dizer, que cada spindle possui diferentes faixas de deformações, sendo assim, neste estudo optou-se pelo spindle Brookfield SC4-31, conforme apresentado na Figura 4.2.

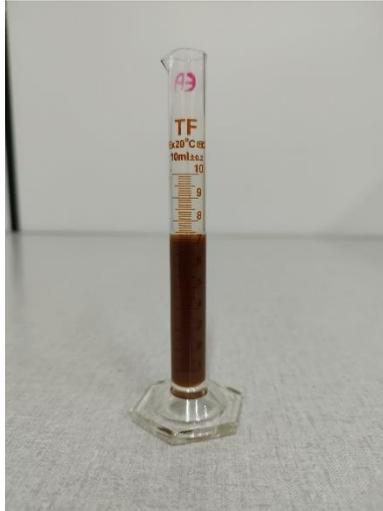
Figura 4.2: Imagem fotográfica do spindle Brookfield SC4-31.



Fonte: Autor (2023).

Ademais, utilizou-se uma proveta dotada de 7,4 ml de vinhaça, a qual o conteúdo desta foi adicionado ao recipiente de teste e acoplado no viscosímetro. A Figura 4.3 apresenta a proveta com a referida substância em estudo. O banho térmico é interligado ao suporte do recipiente, este circula água até a temperatura programada, transferindo ou retirando calor para a amostra.

Figura 4.3: Imagem Fotográfica da proveta dotada de vinhaça.



Fonte: Autor (2023).

4.3 Ensaio no viscosímetro

Para análise da amostra de vinhaça, utilizou-se o Viscosímetro Brookfield DV-II+ Pro, apresentado na Figura 4.4.

Figura 4.4: Imagem fotográfica do reômetro Brookfield R/S Plus.



Fonte: Autor (2023).

Para conduzir os ensaios a uma temperatura constante de 25°C foi utilizado um banho térmico auxiliar modelo TC-550 da Brookfield, conforme mostrado na Figura 4.5. Ressalta-se que o banho estava associado ao Viscosímetro Brookfield DV-II+ Pro.

Figura 4.5: Imagem fotográfica do banho térmico TC-550.



Fonte: Autor (2023).

4.3.1 Diagrama de Viscosidade

Para obtenção do diagrama e viscosidade para a vinhaça estudada, utilizou-se o viscosímetro, sendo este, programado para variar a taxa de deformação de forma crescente, e, obtendo como resposta, a tensão de cisalhamento, bem como, a viscosidade aparente do fluido. As taxas de deformação medidas por este trabalho foram escolhidas baseadas nas informações de vazão e diâmetro da tubulação obtidas em campo. Desta forma, estudou-se o comportamento do fluido para a seguinte faixa de taxa de deformação: 3,79 a 75,8 s^{-1} .

Vale mencionar que neste ensaio os pontos eram medidos durante 10 segundos, de forma a obter a condição de estado estacionário.

4.3.2 Ensaio de Histerese

Para avaliar a presença de efeitos de dependência no tempo da viscosidade da amostra (tixotropia), no fluido utilizado (vinhaça concentrada), foi utilizada a técnica de

histerese. Esta é uma curva crescente e outra decrescente (ida e volta), de modo que os pontos são medidos a cada 1s, justamente para não entrar em estado estacionário, possibilitando verificar a existência de histerese entre a curva ascendente e descendente. Dessa forma, eram iniciadas as medidas de tensão de cisalhamento enquanto a taxa de deformação aplicada ao fluido foi inicialmente de 3.79 s^{-1} e aumentada até o valor de 37.88 s^{-1} . Em seguida a taxa de deformação era reduzida até o valor inicial.

4.4 Análise de perda de carga em fluidos não Newtonianos e pseudoplásticos

Neste trabalho foi realizado um estudo de caso para avaliar a queda de pressão em função da velocidade do fluido para duas situações, sendo uma, o fluido escoando era a vinhaça concentrada e a outra, o fluido escoando era água.

O diâmetro da tubulação e densidade da vinhaça concentrada, foram disponibilizados pelo departamento relacionado à vinhaça e fertirrigação de um usina sulcrualeira, que reside na região de Dourados. Os valores para ambos são, respectivamente, 4'' e $1,125 \text{ g/cm}^3$.

Para analisar a perda de carga em fluidos pseudoplásticos, deve-se utilizar primeiramente, como ponto de partida, a expressão que relaciona a queda de pressão em trechos retílineos (ΔP) com as características do escoamento,

$$\frac{\Delta P}{\rho g} = f_D \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (14)$$

Onde f_D o fator de atrito de Darcy, L o comprimento da tubulação, D o diâmetro, v é a velocidade média do escoamento, ρ é a massa específica do fluido e g a aceleração da gravidade. De tal maneira, que relacionando o fator de atrito de Darcy com o fator de atrito de Fanning, têm-se:

$$f_D = 4f_F \quad (15)$$

Assim, substituindo a equação (15) em (14), obtém-se:

$$\frac{\Delta P}{\rho g} = 4f_F \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (16)$$

Rearranjando, a Equação (16) é possível obter uma expressão para queda de

pressão, conforme visto abaixo:

$$\Delta P = 2f_F \rho \frac{L}{D} v^2 \quad (17)$$

Visto que para escoamento laminares $f_F = \frac{16}{Re_{MR}}$, têm-se;

$$\Delta P = 2\rho \frac{16}{Re_{MR}} \frac{L}{D} v^2 \quad (18)$$

sendo, Re_{MR}

$$Re_{MR} = \frac{D^n \bar{u}^{2-n} \rho}{K \left(\frac{3n+1}{4n} \right) 8^{n-1}} \quad (10)$$

Desta forma, as Equações (10) e (18), foram utilizadas para estimar a queda de pressão em função da velocidade do fluido para a vinhaça concentrada. Os valores do índice de comportamento (n) e de consistência do fluido (K), foram obtidos a partir do ajuste não linear da equação de Power-law para amostra de vinhaça concentrada, realizado a partir dos pontos experimentais de viscosidade aparente, obtidos no viscosímetro. Para a água utilizou-se o valor da viscosidade da água na temperatura de 25°C e pressão de 1 atm e a Equação (14).

As velocidades utilizadas no estudo de caso foram próximas as taxas de deformações estudadas no viscosímetro. Tais velocidades estavam também próximas a velocidade de escoamento utilizada em campo, conforme informações obtidas pela indústria sucroalcooleira, tem-se uma vazão ideal de 234 l/min, o que confere aproximadamente uma velocidade de $u=0,47$ m/s para o diâmetro utilizado.

A relação da velocidade com a taxa de formação para um fluido pseudoplástico foi estimada a partir da expressão proposta por Rabinowitsch (1929),

$$\dot{\gamma} = \frac{3n+1}{4n} \frac{8\bar{u}}{D} \quad (5)$$

Pode-se substituir a Equação (5), na Equação de Power-Law (Equação 3), chegando a,

$$\eta = K \left(\frac{3n+1}{4n} \frac{8\bar{u}}{D} \right)^{n-1} \quad (19)$$

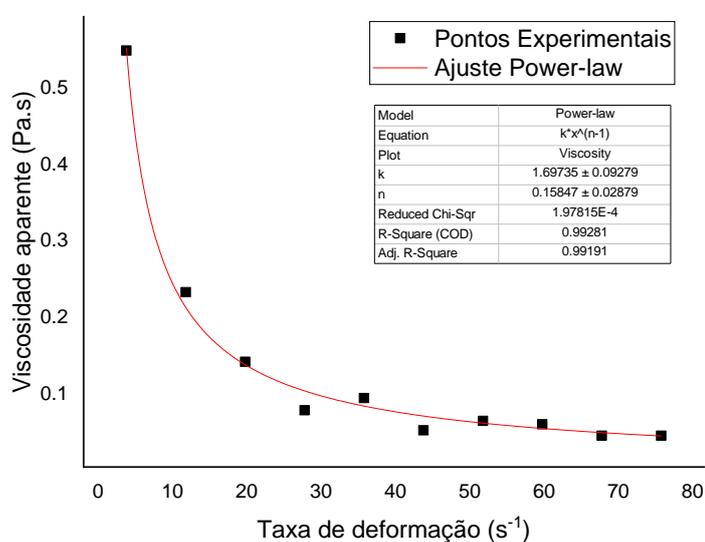
Por fim, vale mencionar que após análise do número de Reynolds para a faixa de velocidade estudada, foi verificado que todo o estudo da perda de carga para a vinhaça concentrada estava dentro do regime laminar. Por este motivo para do cálculo do fator de fanning, utilizou-se $f_F=16/Re_{MR}$, chegando assim, na Equação 17.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Diagrama de Viscosidade

Os resultados obtidos no viscosímetro da viscosidade aparente em função da taxa de deformação para a vinhaça concentrada na temperatura de 25°C estão apresentados na Figura 5.1.

Figura 5.1: Diagrama de viscosidade para a vinhaça concentrada.



Fonte: Autor (2023).

Observa-se na Figura 5.1 a redução da viscosidade aparente com o aumento da taxa de deformação, ou seja, o fluido é não-Newtoniano, com comportamento pseudoplástico. Os pontos experimentais foram ajustados com a equação de Power-Law, de forma que foram estimados o índice de comportamento (n) e o índice de consistência (k). Os valores são mostrados na Tabela 5.1.

$$\eta = k(\dot{\gamma}_{yx})^{n-1} \quad (3)$$

Tabela 5.1: Valores dos parâmetros do modelo Power-law estimados.

k	n	r
1.69735 ± 0.09279	0.15847 ± 0.02879	0.996

O coeficiente de correlação linear (r) indica o grau de relacionamento entre duas variáveis. Na Tabela 5.1 verifica-se que o valor do coeficiente de correlação linear (r) foi de 0.996, sendo o valor de 1 um ajuste perfeito. Desta forma, observa-se que o modelo Power-law representou de forma muito satisfatória o comportamento reológico do fluido estudado.

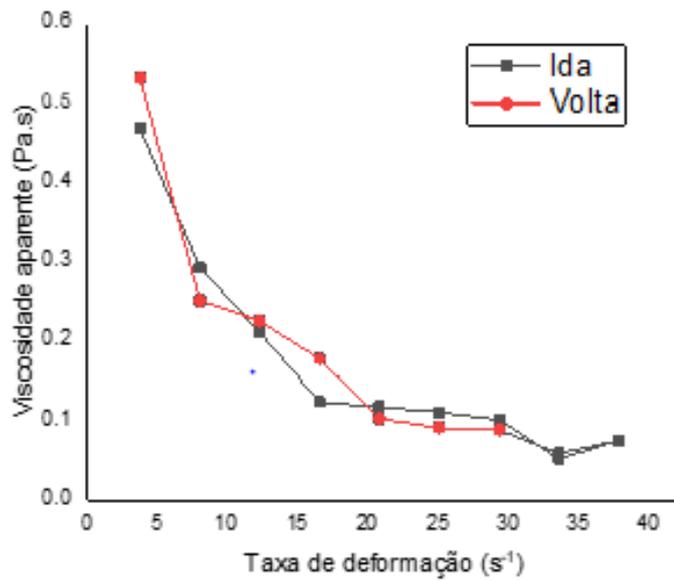
A partir da Tabela 5.1, é possível observar o valor referente ao índice de comportamento (n), de tal modo que o referido valor foi 0.15847, indicando um elevado grau de pseudoplasticidade. Cabe ressaltar, que quanto mais próximo de 1 menor será o comportamento não – Newtoniano, enquanto, quanto mais próximo de zero, maior o comportamento pseudoplástico.

Na Figura 5.1, observa-se também que para baixas taxas de deformação percebe-se alterações na viscosidade de forma bastante expressiva. Em contrapartida, para elevadas taxas de deformação é verificada pouca variação da viscosidade. Desta forma, pode-se afirmar que a partir de uma determinada taxa, a viscosidade torna-se aproximadamente constante.

5.2 Tixotropia

Os resultados experimentais obtidos a partir da técnica de histerese para amostra de vinhaça concentrada são apresentadas na Figura 5.2.

Figura 5.2: Análise da tixotropia.



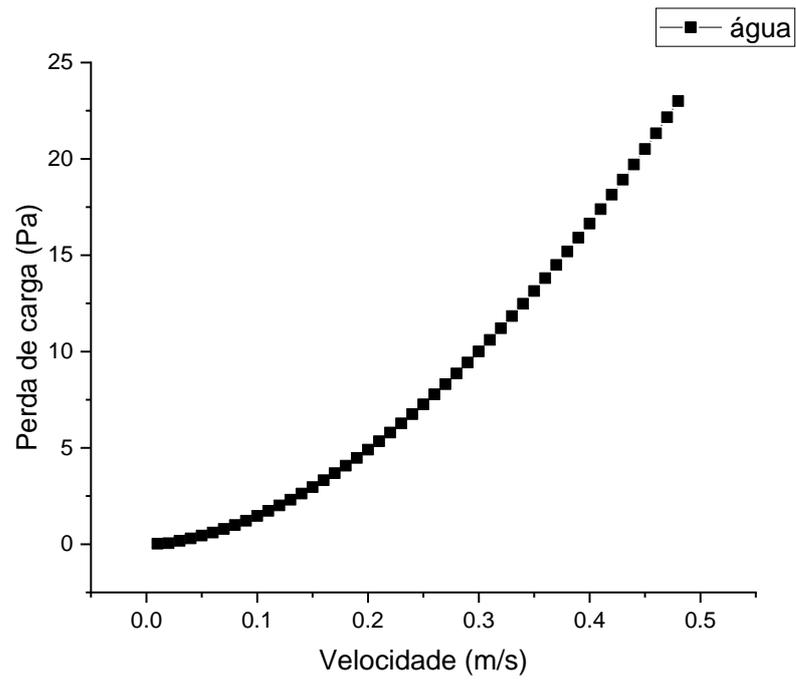
Fonte: Autor (2023).

A partir da Figura 5.2, é possível observar que não existem indícios de tixotropia, uma vez que não apresenta área e forma relevantes durante o ciclo de ida e volta que caracterizem o fenômeno de histerese. Ademais, com tal resultados pode-se afirmar que o comportamento da amostra estudada não apresentou dependência no tempo.

5.3 Análise de perda de carga

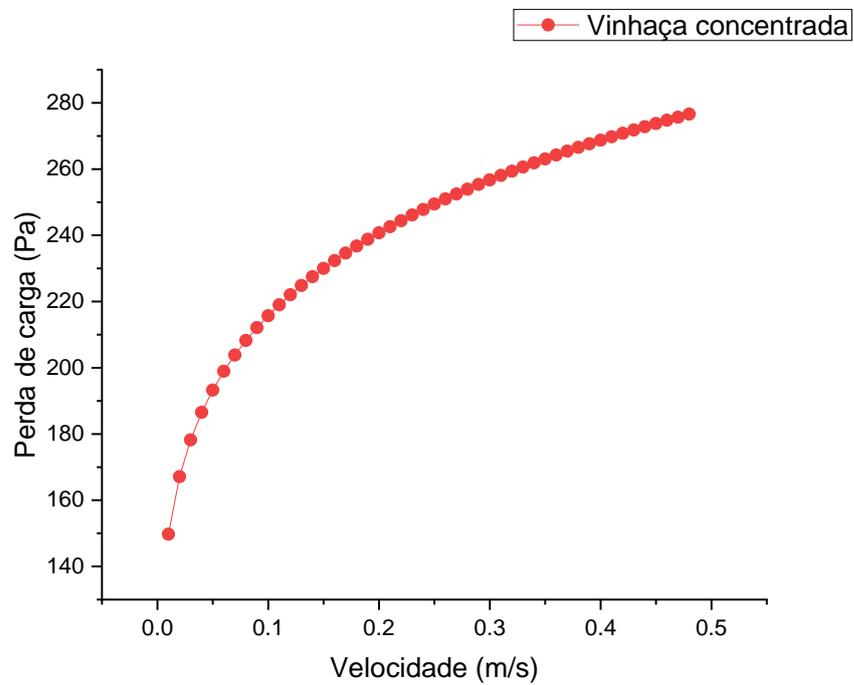
Os resultados obtidos através do estudo de perda de carga para os fluidos: água e vinhaça concentrada, são apresentados nas Figuras 5.3 e 5.4. Tais resultados foram obtidos a partir das Equações (10) e (17), bem como, com os valores estimados do índice de consistência do fluido (k) e índice de comportamento do fluido (n) dispostos na Tabela 5.1.

Figura 5.3: Perda de carga da água.



Fonte: Autor (2023).

Figura 5.4: Perda de carga da vinhaça concentrada



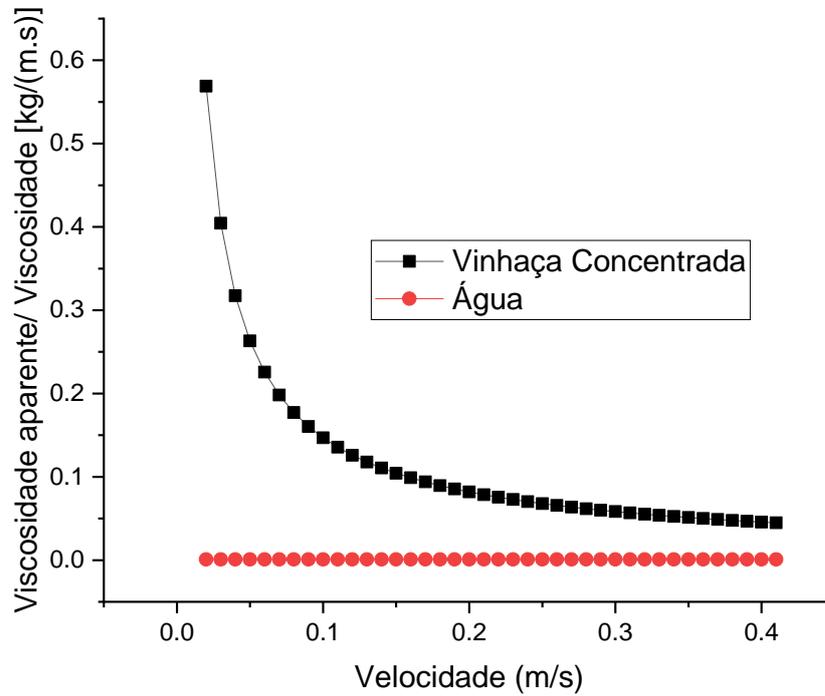
Fonte: Autor (2023).

Na Figura 5.3, é possível observar que a curva correspondente a água apresentou uma tendência de crescimento exponencial. Este é caracterizado por um constante acréscimo percentual com o aumento da velocidade. Tal comportamento, pode ser justificado tendo em vista que na equação para o cálculo da perda de carga, o termo da velocidade possui o expoente ao quadrado.

Ao analisar a Figura 5.4, é possível observar que as curvas seguem comportamento distintos, enquanto a água segue um tendência de crescimento exponencial, a vinhaça concentrada apresentou comportamento de crescimento logarítmico. Na vinhaça concentrada a taxa de crescimento da queda de pressão se torna menor a medida que a velocidade aumenta. Explica-se tal comportamento em virtude das propriedades pseudoplásticas da vinhaça. Enquanto o termo quadratico da velocidade presente na equação da queda de pressão influencia de forma exponencial no aumento da velocidade, tem-se uma atenuação no crescimento da queda de pressão devido a redução da viscosidade aparente, tornando o comportamento logarítmico.

Para o melhor entendimento da redução da viscosidade do fluido em relação ao aumento da velocidade de escoamento, na Figura 5.5 é apresentada tal relação desenvolvida para o estudo de caso avaliado por este trabalho.

Figura 5.5: Viscosidade aparente em relação a velocidade de escoamento do fluido para a vinhaça concentrada e a água a 25 °C.

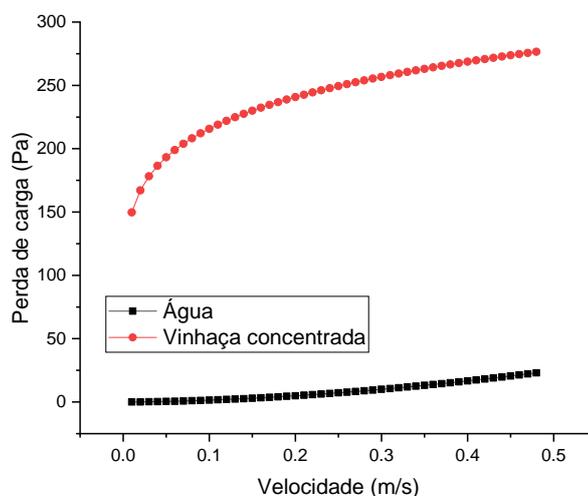


Fonte: Autor (2023).

Na Figura 5.5, observa-se que o aumento da velocidade do fluido reduziu a viscosidade da vinhaça. Tal comportamento era esperado tendo em vista o comportamento de pseudoplasticidade verificado na Figura 5.1. Verifica-se também na Figura 5.5, que a viscosidade da água é constante com o aumento da velocidade do fluido, tendo em vista que o fluido é Newtoniano.

Para um melhor visualização das diferenças existentes entre a vinhaça concentrada e a água, na Figura 5.6 é apresentada a queda de pressão com a velocidade para ambos os fluidos em um mesmo gráfico.

Figura 5.6: Análise comparativa entre a água e da vinhaça concentrada.



Fonte: Autor (2023).

Na Figura 5.6, é possível verificar que os valores da perda de carga na vinhaça concentrada são substancialmente maiores quando comparados com os valores da água. No entanto, tal diferença reduz com o aumento da velocidade, tendo em vista os diferentes comportamentos dos fluidos (crescimento exponencial para a água e crescimento logarítmico para a vinhaça concentrada).

É importante mencionar que o estudo da perda de carga para a vinhaça concentrada é fundamental levar em conta as suas propriedades reológicas. O projeto de uma bomba para a vinhaça sendo simplificado com a consideração de que o fluido é água pode levar ao subdimensionamento da bomba. Além disso, se no projeto da bomba levar em consideração a medida de viscosidade aparente da vinhaça sem levar em conta a sua redução da viscosidade com o aumento de velocidade (propriedades pseudoplásticas do fluido), pode-se subdimensionar ou superdimensionar o sistema de bombeamento, conforme a velocidade de escoamento do fluido utilizada na operação de fertirrigação.

6 CONCLUSÕES

Neste trabalho foram analisadas as características reológicas do biofertilizante designado pela indústria sulcroatoleira como vinhaça concentrada. No estudo foi realizado também a análise comparativa da perda carga quando se tem o bombeamento do fluido com vinhaça e com água.

Os resultados da análise das características reológicas do fluido indicaram que a viscosidade aparente da vinhaça reduziu com o aumento da taxa de deformação, ou seja, apresentou comportamento pseudoplástico.

Os resultados da técnica de histere mostraram que o fluido não é tixotrópico, uma vez que o comportamento da amostra estudada não apresentou dependência no tempo.

Os resultados comparativos da perda de carga em função da velocidade entre a água e a vinhaça concentrada apresentaram comportamentos bastantes distintos, enquanto a água apresentou comportamento de crescimento exponencial, a vinhaça mostrou um comportamento de crescimento logarítmico.

Os resultados referente a perda de carga da vinhaça concentrada, foram substancialmente maiores quando comparados com os valores da água. Entretanto, tal diferença foi reduzida com o aumento da velocidade. Explica-se este comportamento, tendo em vista as propriedades pseudoplásticas da vinhaça e a conseqüente atenuação no crescimento da queda de pressão devido a redução da viscosidade aparente para maiores valores de velocidade de escoamento.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-3:

ALVES, Marcelle da Silva. **O uso de biofertilizantes na produção de morangos orgânicos em propriedades rurais: Um estudo de caso no Morro da Borússia.** Trabalho de Conclusão de curso – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2019. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/197837>>. Acesso em: 30/03/2022

BAPTISTA, E.K.R. **Tratamento biológico da vinhaça com adição de aditivo biológico.** São Paulo, 2020. Iniciação Científica – XXVIII Congresso {virtual} de Iniciação Científica da Unicamp, Faculdade de Tecnologia – Campus I de Limeira.

CAMARGO, Renata Fernandes Vieira. **Desafios para o aproveitamento energético da vinhaça de cana-de-açúcar e sua inclusão na matriz energética paulista.** Trabalho de conclusão de curso – Escola de Administração de Empresas de São Paulo. Fundação Getúlio Vargas. São Paulo, 2021.

Canal Rural. Brasil tem estoque de fertilizantes até junho, informa Anda. **Canal Rural**, 03/03/2022. Disponível em: <<https://www.canalrural.com.br/noticias/agricultura/brasil-tem-estoque-de-fertilizantes-ate-junho-diz-anda/>>. Acesso em: 30/03/2022

Caravana FertBrasil vai a 30 polos agrícolas para mostrar como aumentar a eficiência dos fertilizantes. **Embrapa 50 anos**, Brasília, 04/03/2022. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/68714414/caravana-embrapa-fertbrasil-vai-a-30-polos-agricolas-para-mostrar-como-aumentar-a-eficiencia-dos-fertilizantes>>. Acesso em: 30/04/2022.

CETESB. Vinhaça – critérios e procedimentos para a aplicação no solo agrícola. CETESB / P4.231 /dez./06. Disponível em: < https://cetesb.sp.gov.br/camaras-ambientais/wp-content/uploads/sites/21/2013/12/P4_231.pdf >. Acesso em 04/05/2022.

CNA. Produtores rurais buscam alternativas para os altos custos e risco de escassez dos

fertilizantes. **CNA**, 11/03/2022. Disponível em:

<<https://www.cnabrazil.org.br/noticias/produtores-rurais-buscam-alternativas-para-os-altos-custos-e-risco-de-escassez-dos-fertilizantes>> . Acesso em: 30/03/2022.

Fertilizantes: O que são e de onde vêm? Udop, 14/03/2022. Disponível em:

<<https://www.udop.com.br/noticia/2022/3/14/fertilizantes-o-que-sao-e-de-onde-vemy.html>>. Acesso em: 03/04/2022.

HAMINIUK, Charles W. I. **Comportamento reológico e fracionamento péctico das polpas integrais de araçá (*Psidium cattleianum sabine*) e amora-preta (*Rubus spp*)**,2005. Dissertação (Mestrado) – Curso de Tecnologia de alimentos, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

Heringer. Mercado Brasileiro de Fertilizantes. **HERINGER**, 2021. Disponível em:

<http://www.heringer.com.br/heringer/web/conteudo_pti.asp?idioma=0&tipo=29504&> . Acesso em:30/03/2022.

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Ipea projeta crescimento de 3,2% para o PIB agropecuário em 2021. **IPEA**, 2020. Disponível em:

<[https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=36458#:~:text=De%20janeiro%20a%20julho%2C%20as,1%25\)%20foram%20os%20destaques](https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=36458#:~:text=De%20janeiro%20a%20julho%2C%20as,1%25)%20foram%20os%20destaques)>. Acesso em 10/03/2022.

JORGE, Marcos do Amaral. Pesquisas com novas variedades de fertilizantes podem abrir

caminho para diminuir dependência do Brasil de fornecedores internacionais. **JORNAL**

DA UNESP, 09/03/2022. Disponível em:<<https://jornal.unesp.br/2022/03/09/pesquisas-com-novas-variedades-de-fertilizantes-podem-abrir-caminho-para-diminuir-dependencia-do-brasil-de-fornecedores-internacionais/>>

Acesso em: 30/03/2022.

KRONENBERGER, G; ALBUQUERQUE, G. A. S. C. Perspectivas da indústria de fertilizantes no Brasil. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 08. Rio de Janeiro.

Anais... Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2000.: Disponível em:

<<http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/914>>. Acesso em: 30/03/2022

MACINTYRE, A. J. **Instalações hidráulicas prediais e industriais**, 4ªed., Rio de Janeiro: LTC, 2012. 597p.

MAFRA, Erich. Fertilizantes: o que são e de onde vêm?. Forbes, 11/03/2022. Disponível em:

<<https://forbes.com.br/forbesagro/2022/03/fertilizantes-o-que-sao-e-de-onde-vem/>>.

Acesso em 23/03/2022.

MEDEIROS, B.M.; LOPES, S.J. **Biofertilizantes líquidos e sustentabilidade agrícola**. Bahia Agrícola. v. 7, nº 3, p .24-25, 2006. Disponível em:

<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Biofertilizantes+1_000g76q0gvw02wx5ok0wtedt3kadue0d.pdf>. Acesso em 30/03/2022.

MOREIRA, B.A.; **ESTUDO DA SEDIMENTAÇÃO EM SUSPENSÕES DE FLUIDOS COM CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS PSEUDOPLÁSTICAS**, Tese de Doutorado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, UFU, 2014.

MOREIRA, B.A.; AROUCA, F, O; DAMASCENO, J, J, R; **FLUIDOS NÃO-NEWTONIANOS: DEFINIÇÕES E METODOLOGIAS DE CARACTERIZAÇÃO**, 2ª Edição Revisada, EDIBRAS, Uberlândia.

Nova Cana. Uso da Vinhaça na cultura da cana-de-açúcar. Disponível em:

< <https://www.novacana.com/cana/uso-vinhaca-cultura>>. Acesso em 18/03/2022.

PINHEIRO, Lana. A alternativa para os fertilizantes é natural e está no Brasil. **Isto é dinheiro**, 25/03/2022. Disponível em: <<https://www.istoedinheiro.com.br/a-alternativa-para-os-fertilizantes-e-natural-e-esta-no-brasil/>>. Acesso em: 06/04/2022.

Propeq. Venha conhecer a Indústria Sucroalcooleira e suas aplicações. **PROPEQ**, 13/07/2021. Disponível em:<<https://propeq.com/industria-sucroalcooleira-e-suas-aplicacoes/>>. Acesso em 12/03/22

QUARTUCCI, João Paulo. **Análise da Competividade do Cluster Da Indústria de Fertilizantes da região metropolitana de Salvador.**2007. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Salvador,2007.

RAMOS, Mateus Pinheiro. **Estudo da cadeia produtiva de fertilizantes no Brasil.** Rio de Janeiro,2020. Trabalho de Conclusão de curso (TCC) – Escola de Química. Universidade Federal do Rio de Janeiro,2020.

RÊGO, I. L. **Estudo experimental da influência da temperatura na perda de carga em tubulações.** 2016. 63p. Dissertação (Mestrado)- Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2018.

ROURE, de Marcel. Aproveitamento da vinhaça na indústria sucroalcooleira. **Instrumentação e Controle,** 2019. Disponível em: <[https://instrumentacaoecontrole.com.br/aproveitamento-da-vinhaca/#:~:text=O%20uso%20controlado%20da%20vinha%C3%A7a,graves%20danos%20ao%20meio%20ambiente!](https://instrumentacaoecontrole.com.br/aproveitamento-da-vinhaca/#:~:text=O%20uso%20controlado%20da%20vinha%C3%A7a,graves%20danos%20ao%20meio%20ambiente!>)>. Acesso em: 18/04/2022.

SALBEGO, Lourenço. **Associação da adubação biológica e química na cultura do milho.** Santa Maria, 2021. 62 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em agricultura de precisão, colégio politécnico da UFSM. Universidade Federal de Santa Maria,2021.

SANTANA, André L. K. P. **Estudo do escoamento de fluidos que contemplam características similares as lamas de perfuração: Análise da queda de pressão em soluções de goma xantana.** 2019. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Dourados, 2019.

SANTOS, Thulyani Duarte. **Balança Comercial de Fertilizantes no Brasil: Determinantes e Consequências.** Florianópolis, 2021. TCC (Trabalho de conclusão de curso) – Curso de Graduação em Ciências Econômicas, Departamento de Economia e Relações Internacionais, Universidade Federal de Santa Catarina, 2021.

SOUSA, Cristina Moreira. **Avaliação dos impactos gerados pela vinhaça bruta e após ajuste de pH, em representantes da fauna edáfica.** Tese (Doutorado) – Programa de Pós – Graduação em programa de Pós-graduação em ciências biológicas, Instituto de Biociências – Rio claro. Universidade Estadual Paulista – Júlio Mesquita Filho. Rio Claro, 2018.

Sucesso no Campo. Fertilizantes: Conheça um pouco da História. **Sucesso no Campo**, 15/03/2018. Disponível em: <<https://www.sucessonocampo.com.br/fertilizantes-conheca-um-pouco-da-sua-historia/>>. Acesso em 23/03/2022.

TRAGE, Dayane Regina. **Estudo do mercado de fertilizantes no Brasil por meio de previsões estatísticas.** 2019. 130 f. Monografia (Bacharel em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.