

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA QUÍMICA

PAULO HENRIQUE SCHUCK

**ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS NO  
ESCOAMENTO DE MISTURAS UTILIZADAS NO TRATAMENTO  
PREVENTIVO DO CULTIVO DA SOJA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

FRANCISCO BELTRÃO

2018

PAULO HENRIQUE SCHUCK

**ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS NO  
ESCOAMENTO DE MISTURAS UTILIZADAS NO TRATAMENTO  
PREVENTIVO DO CULTIVO DA SOJA**

Trabalho de Conclusão de Curso do Curso  
de Engenharia Química da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná.  
Orientador: Bruno Arantes Moreira

FRANCISCO BELTRÃO

2018



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Francisco Beltrão

Curso de Engenharia Química



## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **Trabalho de Conclusão de Curso – TCC2**

### **ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS NO ESCOAMENTO DE MISTURAS UTILIZADAS NO TRATAMENTO PREVENTIVO DO CULTIVO DA SOJA**

por

**PAULO HENRIQUE SCHUCK**

Trabalho de Conclusão de Curso 2 apresentado às 13 horas e 30 min., do dia 08 de junho de 2018, como requisito para aprovação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Francisco Beltrão. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho Aprovado.

Banca Avaliadora:

\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. André Zubber**

\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Bruno Arantes Moreira**

\_\_\_\_\_  
**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Irede A. L. Dalmolin**

\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Fábio J. Correa**

\_\_\_\_\_  
**Prof<sup>a</sup>.Dr<sup>a</sup>. Michele Di Domenico**

\*A Folha de Aprovação assinada encontra-se na coordenação do curso

“When somethings broke, I wanna put a bit of fixin on it  
When somethings bored, I wanna put a little exciting on it  
If somethings low, I wanna put a little high on it  
When somethings lost, I wanna fight to get it back again”  
Eddie Vedder, Pearl Jam

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais, Vanderlei Schuck e Rosa T. Schuck, pela criação e compreensão, principalmente à minha mãe, que possibilitou tudo o que tenho e terei, sendo minha referência para toda a vida, por seu amor e esforço excepcional para dar aos filhos o bem mais precioso que é a educação. À minha irmã, Ana C. Schuck, pelo entendimento e ajuda. E a toda minha família pelo carinho.

Agradeço aos meus amigos, Eduardo, Felipe, Marcos, Reinaldo e tantos outros, que foram uma das pilastros de minha sanidade para realizar este trabalho e toda a graduação. Em especial minha namorada Aline do Couto, pois além de amiga, foi compreensiva e parceira.

Ao meu orientador Dr. Bruno Arantes Moreira pela orientação, ensinamentos e oportunidades de crescimento pessoal e profissional, principalmente pela motivação e amizade.

À professora Dr. Larissa Maria Fernandes pela orientação e apoio, pelas conversas e disposição para me ajudar sempre, principalmente pela amizade construída e exemplo que ganhei.

Aos demais professores pelos ensinamentos transmitidos e paciência, aos colegas de classe pela companhia e união, aos laboratoristas pelas análises das amostras e demais funcionários da UTFPR que de uma forma ou outra contribuíram até esse ponto da minha graduação.

## RESUMO

SCHUCK, Paulo Henrique. **Análise das características reológicas no escoamento de misturas utilizadas no tratamento preventivo do cultivo da soja.** 2018. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Francisco Beltrão, 2018.

Como é garantida a autonomia ao produtor rural de formar a calda de defensivos agrícolas de maneira personalizada acaba surgindo uma grande variedade de possíveis combinações e características de mistura. A mecanização dos procedimentos realizados na agricultura criou uma identificação muito forte com processos industriais clássicos, como bombeamento e tanques de armazenamento, em sua devida escala. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo analisar o comportamento reológico que as misturas agrícolas compostas de diversos agrotóxicos e criar uma perspectiva da influência que essas misturas têm na operação de pulverização. Foram utilizados métodos clássicos de análise dos resultados obtidos experimentalmente, reogramas e diagramas de viscosidade em função da taxa de deformação. De maneira geral, este estudo fornece informações relevantes para agricultores e pesquisadores sobre a viscosidade e definição de comportamento newtoniano para as misturas agrícolas analisadas, podendo os resultados serem estendidos a outras composições de caldas agrícolas.

**Palavras-chave:** Reogramas, Viscosidade, Mistura agrícola.

## ABSTRACT

SCHUCK, Paulo Henrique. **Análise das características reológicas no escoamento de misturas utilizadas no tratamento preventivo do cultivo da soja.** 2018. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Francisco Beltrão, 2018.

As it is guaranteed the autonomy to the rural producer to form the mixture of pesticides in a personalized way ends up appearing a great variety of possible combinations and characteristics of mixture. The mechanization of the procedures performed in agriculture created a very strong identification with classic industrial processes, such as pumping and storage tanks, in their proper scale. In this context, this work aimed to analyze the rheological behavior of agricultural mixtures composed of several pesticides and to create a perspective of the influence that these mixtures have on the spraying operation. Classical methods of analysis of experimental results, like rheograms and viscosity diagrams, were used as a function of strain rate. In general, this study provides relevant information for farmers and researchers on the viscosity and definition of Newtonian behavior for the analyzed agricultural mixtures, and the results can be extended to other compositions of agricultural blend.

**Keywords:** Rheograms, Viscosity, Agricultural blend.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Esquema de bombeamento em um pulverizador agrícola.....	12
Figura 2 - Amostras de calda pronta.....	15
Figura 3 - Viscosímetro Brookfield DV2T. ....	17
Figura 4 - Diagrama exemplificando diferentes comportamentos reológicos. ....	20
Figura 5 - Diagrama exemplificando comportamento de fluidos independentes do tempo.....	23
Figura 6- Esquema de bomba pistonada.....	26
Figura 7 - Esquema de bomba de duplo diafragma.....	27
Figura 8 - Reograma obtido para a Amostra 1.....	28
Figura 9 - Reograma obtido para a Amostra 2.....	28
Figura 10 - Linearização para a Amostra 1.....	29
Figura 11 - Linearização para a Amostra 2.....	30
Figura 12 - Diagrama de viscosidade por taxa de deformação para a Amostra 1....	32
Figura 13 - Diagrama de viscosidade por taxa de deformação para a Amostra 2....	32
Figura 14 - Diagrama de viscosidade por taxa de deformação para a Amostra 1....	33
Figura 15 - Diagrama de viscosidade por taxa de deformação para a Amostra 2....	34
Figura 16 - Diagrama de Moody.....	36
Figura 17 - Coeficiente de Reynolds em função da vazão.....	37
Figura 18 – Diagrama comparativo de queda de pressão em regime turbulento. ....	38
Figura 19 – Diagrama de queda de pressão para escoamento de água em cada bico. .....	39
Figura 20 - Diagrama de queda de pressão para escoamento de Amostra 2 em cada bico.....	39



## LISTA DE SIGLAS E SIMBOLOS

$\rho$  - Densidade

$\mu$  - Viscosidade

cP - Centipoise

Re - Coeficiente de Reynolds

tc - Tempo necessário para a tensão de cisalhamento estar em uma condição de estado estacionário

$\gamma$  - Taxa de deformação

$\tau$  - Tensão de cisalhamento

$\eta$  - Viscosidade aparente

$f$  - Fator de Atrito

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Componentes misturados para o experimento. ....	15
Tabela 2 - Composição de cada componente. ....	16
Tabela 3 - Dados para o ajuste newtoniano .....	30
Tabela 4 - Propriedades das amostras. ....	35

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2 PROBLEMA .....</b>	<b>13</b>
<b>3 JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>13</b>
<b>4 OBJETIVOS .....</b>	<b>14</b>
<b>4.1 OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>14</b>
<b>4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>14</b>
<b>5 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>14</b>
<b>5.1 MATERIAIS .....</b>	<b>14</b>
<b>5.2 MÉTODOS .....</b>	<b>16</b>
5.2.1 Reogramas e diagramas de viscosidade pela taxa de deformação .....	17
<b>5.2.2 PERDA DE CARGA E TRABALHO DE BOMBA.....</b>	<b>18</b>
<b>6 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>18</b>
<b>6.1 CARACTERIZAÇÃO DOS FLUIDOS.....</b>	<b>18</b>
6.1.1 Fluidos newtonianos .....	19
6.1.2 Fluidos não-newtonianos .....	19
<b>6.2 TRABALHO DE BOMBA E PERDA DE CARGA .....</b>	<b>24</b>
6.2.1 Perda de carga.....	24
6.2.2 Bombas de deslocamento positivo.....	26
<b>7 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>27</b>
<b>7.1 REOGRAMAS .....</b>	<b>27</b>
<b>7.2 CURVAS DE VISCOSIDADE POR TAXA DE DEFORMAÇÃO.....</b>	<b>31</b>
<b>7.3 ANÁLISE DE PERDA DE CARGA.....</b>	<b>34</b>
<b>7.4 ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>36</b>
<b>8 CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....</b>	<b>40</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>41</b>

## 1 INTRODUÇÃO

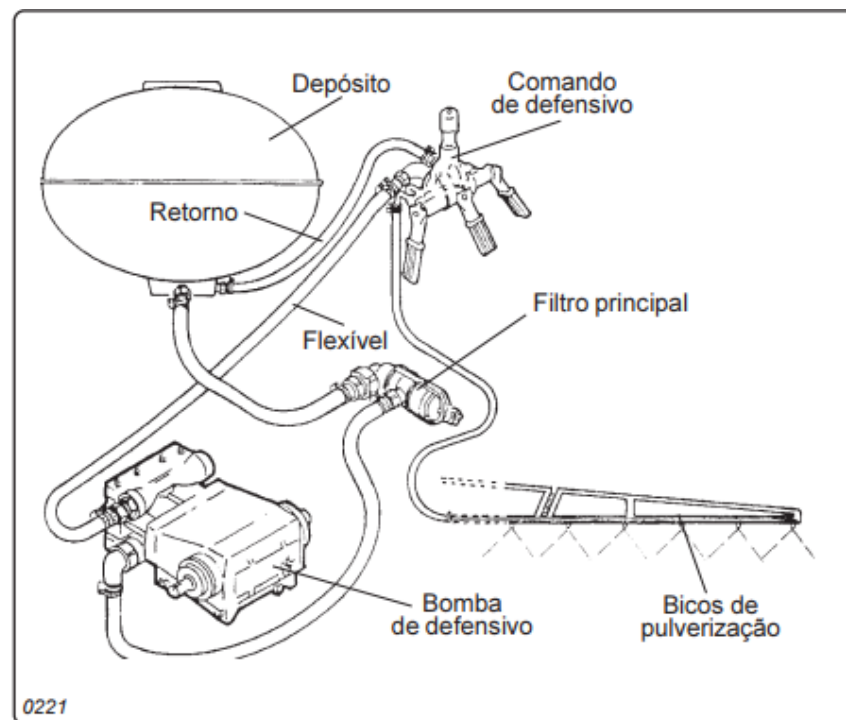
Nos últimos anos, verifica-se no Brasil um considerável crescimento de produtividade no campo. Tal aumento está diretamente influenciado pelo uso de novas tecnologias, como o uso de agrotóxicos, fertilizantes, melhorias genéticas e maquinário de elevado desempenho. Essas evoluções dos métodos de produção agrícola estabelecem novos parâmetros na qualidade tanto do processo quanto do produto. As técnicas utilizadas na produção agrícola cada vez mais contêm operações industriais clássicas, em diferente proporção, como bombeamento, pulverização, tanques de mistura e armazenamento. Assim sendo é possível utilizar noções e conhecimentos clássicos de engenharia, muito utilizados na indústria de transformação, para auxiliar o agricultor no emprego dos processos e maquinário. Logo, é compreensível o crescente aumento de pesquisas e programas de conscientização para que as informações cheguem ao campo.

Para a cultura da soja, muito comum na região sul do Brasil, agroquímicos como o glifosato proporcionaram o controle de ervas daninhas. Carbamatos e organoclorados, por exemplo, agem como inseticidas. Existem também adubos foliares que proporcionam adubação das plantas já na fase adulta, e esses agentes são ricos em minerais, macro e micronutrientes, como enxofre e magnésio (MOREIRA e PERES, 2003). Petter et al. (2011) complementa dizendo que muitos agricultores utilizam mistura em tanque de diferentes herbicidas e de herbicidas com inseticidas e/ou outras classes de defensivos, com o objetivo de aumentar o espectro de ação e reduzir o número de aplicações. Uma vez realizada a solução de agrotóxico com a água, as propriedades físicas e químicas são modificadas, como por exemplo a viscosidade, densidade e pH.

A forma convencional de manuseio dos agrotóxicos no processo de pulverização é através da diluição em água dos compostos químicos, sendo que as concentrações controladas garantem a atividade química. A atuação de agrônomos é importante para intermediar os resultados de estudos que relacionam as proporções de agrotóxicos utilizados e seus efeitos produzidos para que sejam repassados para os agricultores. Como não existe necessidade de padronização do caldo utilizado, por vias legais, cada produtor é responsável por produzir uma mistura única e particular.

A operação utilizada convencionalmente para o fluido ser aspergido pela plantação é a pulverização. O bombeamento é o processo que fornece energia para o fluido passar por bicos e pulverizar (Figura 1). Dentre as várias configurações de bombas disponíveis comercialmente as mais utilizadas nessa operação são as de deslocamento positivo, devido sua eficiência para fluidos viscosos ou com partículas sólidas, como a bomba pistonada e de diafragma. Fatores que influenciam na eficiência da bomba são incluídos no balanço energético e mecânico, sendo a perda de carga distribuída muito relevante em determinadas condições.

Figura 1- Esquema de bombeamento em um pulverizador agrícola.



Fonte: JACTO, 2010.

A determinação das propriedades reológicas pode ser realizada de forma empírica, utilizando aparelhos como reômetro e viscosímetro de Stokes, ou utilizando equações de modelagem para expandir os resultados obtidos em gamas maiores de condições operacionais (BARRA, 2004). A viscosidade obtida é utilizada nos cálculos de perda de carga distribuída e na determinação do tipo de fluxo e da bomba correta para o processo desejado.

Ao realizar o procedimento de pulverização sem o conhecimento prévio das características físico-químicas da mistura o agricultor está condicionado à possíveis problemas relacionados ao escoamento, como aumento de vibração do equipamento

e redução do poder de bombeamento, e problemas de sedimentação e coagulação dos agrotóxicos na calda. O acúmulo de pequenos problemas pode gerar despesa considerável ao produtor, visto a custo elevado dos agrotóxicos e maquinário utilizado, divergindo do desejo de economia ao realizar o preparo de caldas tão compostas.

## **2 PROBLEMA**

Observando a preparação de uma mistura para pulverização agrícola, foi constatado que a mistura final, dentro do tanque, possuía características reológicas aparentemente diferentes da sua maior concentração, a água. Eis que surgiu o primeiro questionamento, quais as características dessa mistura?

Ao se iniciar o procedimento de pulverização, o operador constatou que para a mistura atual é necessária maior potência do trator. Assim surgiu o segundo questionamento, como essa mistura influencia no poder da bomba ou na perda de carga?

Considerando que as concentrações utilizadas são específicas e de conhecimento único do profissional da área agrícola, encontrar boas amostras que representem uma mistura comum entre as utilizadas pelos agricultores e determinar se misturas de produtos variados e sem análise prévia de suas características pode ser desvantajosa a longo prazo.

## **3 JUSTIFICATIVA**

Buscando em um manual de pulverizador, foi constatado que não há nada sobre mudança de comportamento da bomba e sistema de pulverização para as diferentes misturas utilizadas, em forma de tabela ou gráfico, sendo somente de forma prática, pela pressão de saída do fluido, o controle de escoamento do fluido. Logo, a ideia de identificar o comportamento do fluido e seu escoamento se tornou sólida, para conhecimento tanto acadêmico quanto para quem trabalha com esses equipamentos e misturas.

A possibilidade de identificar as características do fluido com metodologias conhecidas, o baixo custo idealizado de pesquisa e o fator de ser uma pesquisa multidisciplinar, contribuem, para a viabilidade do projeto.

O fator econômico envolvido no desgaste acelerado de equipamentos e de gasto excessivo de combustível é de possível interesse da população rural e das próprias fabricantes de pulverizadores e agroquímicos.

## **4 OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo geral**

Estudar o comportamento reológico das caldas de defensivos agrícolas utilizados na produção de soja.

### **4.2 Objetivos específicos**

- Conhecer misturas de agrotóxicos utilizadas na agricultura da soja na região sudoeste do Paraná e planalto norte catarinense;
- Caracterizar o comportamento reológico das misturas agrícolas selecionadas;
- Analisar seus possíveis efeitos em bombas e de perda de carga;
- Explorar possíveis perdas econômicas causadas por excesso de componentes na calda utilizada;

## **5 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **5.1 Materiais**

Foram escolhidas para análise duas amostras de misturas agrícolas utilizadas no cultivo da soja na região do planalto norte catarinense, sendo uma para a fase de 1ª florada e outra para a fase de formação das vagens. As concentrações de defensivos agrícolas são as mesmas que utilizadas por agricultores daquela região, obtidas de forma conjunta entre produtores e agrônomos.

As amostras são compostas de água, captada em uma propriedade da região, e os componentes químicos, dados na Tabela 1, com suas concentrações por litro de água.

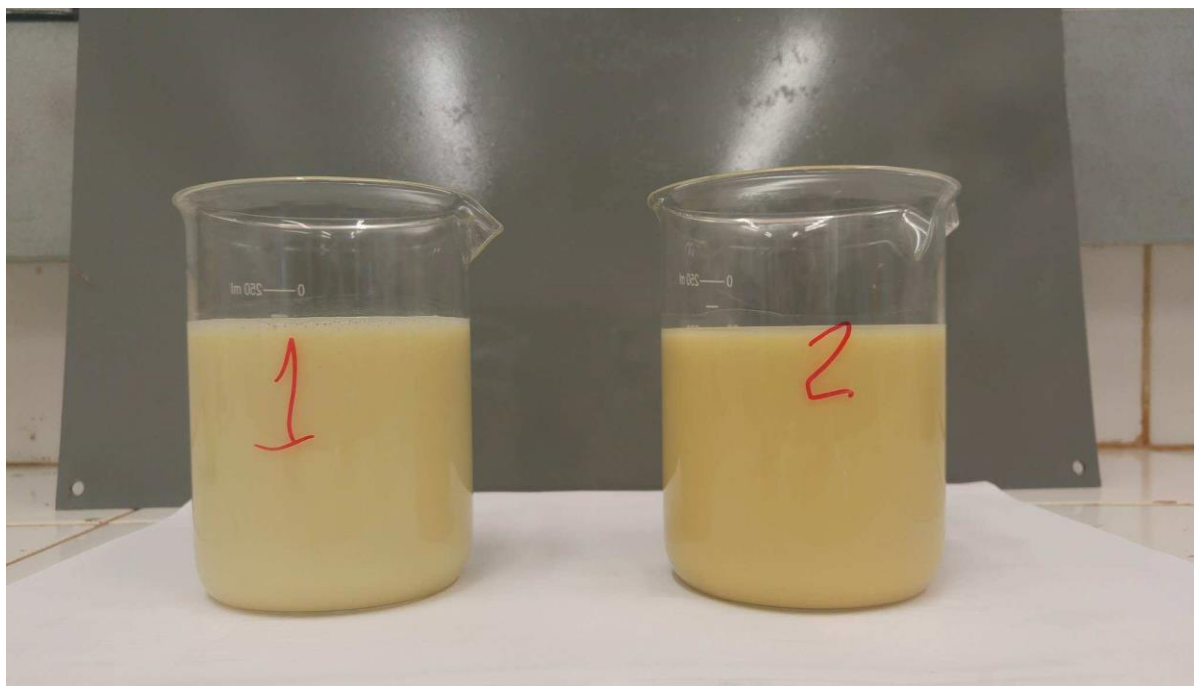
Tabela 1 - Componentes misturados para o experimento.

<b>1ª amostra</b>	<b>2ª amostra</b>
A – 2,5 mL/L	B – 7,5 g/L
B – 5 g/L	E – 3 mL/L
C – 3 mL/L	F – 1 mL/L
D – 1 mL/L	

Fonte - Autor

A Tabela 2 contém as concentrações e os componentes químicos presentes em cada produto agroquímico utilizado na produção das amostras, sendo as informações retiradas das bulas de cada embalagem no momento do preparo das amostras. A Figura 2 mostra as soluções prontas para a análise.

Figura 2 - Amostras de calda pronta.



Fonte - Autor



Tabela 2 - Composição de cada componente.

<b>Componente</b>	<b>Composição</b>
<b>A</b>	TRIFLOXISTROBINA – 150g/L PROTIOCONAZOL – 175g/L Outros Ingredientes – 775g/L
<b>B</b>	MANCOZEBE – 800g/Kg Ingrediente Inertes – 200g/Kg
<b>C</b>	IMIDACLOPRIDO – 100g/L BETA-CIFLUTRINA – 12,5g/L Ingrediente Inertes - 967,5 g/L
<b>D</b>	Óleo mineral – 760g/L Ingredientes Inertes – 80g/L
<b>E</b>	PYRACLOSTROBINA – 85g/L EPOXICONAZOL – 62,5g/L Outros ingredientes - 891,5 g/L
<b>F</b>	METOXIFENOZIDA - 240 g/L Outros ingredientes - 832 g/L

Fonte - Autor

## 5.2 Métodos

Para caracterização dos fluidos foram utilizadas duas técnicas: reogramas e diagrama de viscosidade por taxa de deformação. Essas tecnologias visam determinar as possíveis características não newtonianas presentes nas amostras. Os testes foram realizados em um viscosímetro Brookfield, modelo DV2T, Figura 3, com um spindle SC4-18 de faixa de operação 1,5-30.000 cP. Os dados obtidos foram compilados e estudados via softwares MS Excel e Origin8.

Figura 3 - Viscosímetro Brookfield DV2T.



Fonte - Brookfield (2017)

### 5.2.1 Reogramas e diagramas de viscosidade pela taxa de deformação

Gráficos que relacionam a tensão de cisalhamento com a taxa de deformação são conhecidos como curvas de escoamento ou reogramas. Esses diagramas são característicos para cada tipo de fluido, sendo uma reta de início na origem e angulação “ $\mu$ ” para fluidos newtonianos. E para os não-newtonianos, são curvas de tendência não linear ou linear, mas com início diferente da origem.

Para fluidos não-newtonianos com viscosidade aparente dependente do tempo, os valores da viscosidade mudam com o tempo para uma taxa de deformação constante. Logo, o procedimento para esses fluidos é diferenciado. O reograma deve apresentar os resultados em que a tensão de cisalhamento não varia mais com o tempo. O tempo necessário para a tensão de cisalhamento entrar em condição de estado estacionário varia com a grandeza da taxa de deformação imposta ao fluido. Assim, o tempo costuma ser de aproximadamente:  $t_c=1/\dot{\gamma}$ . Por tal motivo, verifica-se elevados tempos de espera (MOREIRA, 2014).

Neste trabalho, para realizar este teste, as amostras foram inicialmente submetidas a um cisalhamento intenso (taxa de deformação de  $264 \text{ s}^{-1}$ ) durante o período de 30 segundos. Em seguida as amostras ficavam em repouso durante o período de 5 segundos. Após o período estático, o fluido foi submetido a taxas de deformação, inicialmente a  $200 \text{ s}^{-1}$  por um período de 55 s, com aumento da taxa para  $210 \text{ s}^{-1}$ ,  $220 \text{ s}^{-1}$ ,  $240 \text{ s}^{-1}$  e  $260 \text{ s}^{-1}$ , respeitando o período médio de 1 minuto, medindo-se então valores, respectivamente, para a tensão de cisalhamento.

### **5.2.2 Perda de carga e trabalho de bomba**

Para realizar a análise de perda de carga e trabalho de bomba foi considerado como principal variável a viscosidade obtida experimentalmente e a sua influência, como o aumento do número de Reynolds ( $Re$ ) em comparação ao escoamento de água, ganho no fator de atrito para escoamento laminar, pela equação de Poiseulle, e para regime turbulento utilizando o diagrama de Moody.

A determinação da densidade das amostras foi tomada pelo método clássico, em que foi tomado um vaso de volume determinado e constante e preenchido com a amostra, a massa de fluido necessária foi mensurada para ambas as amostras.

## **6 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Em ordem de utilização do conhecimento, são dispostos nesse capítulo as informações relevantes sobre a reologia de fluidos, juntamente com suas classificações e comportamentos. Seguido pela apresentação da noção do trabalho de bombas e perda de carga.

### **6.1 Caracterização dos fluidos**

Definida a reologia como a ciência que estuda o escoamento da matéria, ou seja, sua deformação com o fluxo, é possível categorizá-los em newtonianos e não-newtonianos.

### 6.1.1 Fluidos newtonianos

Para essa categoria de fluido ocorre a proporcionalidade direta entre a tensão de cisalhamento ( $\tau_{yx}$ ) e a taxa de deformação ( $\gamma_{yx}$ ), sendo expressa pela Equação (1).

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

Assim,  $\mu$  é uma constante de proporcionalidade conhecida como viscosidade newtoniana, viscosidade dinâmica ou somente viscosidade. A viscosidade é uma propriedade termodinâmica, logo, independe da taxa de deformação ou da tensão de cisalhamento sob as quais o fluido está submetido, no entanto, pode ser afetada pela pressão e temperatura (CHHABRA, 2007). Os gráficos que relacionam a tensão de cisalhamento com a taxa de deformação são conhecidos como reogramas, que, para fluidos newtonianos, são retas de angulação  $\mu$  e início na origem.

### 6.1.2 Fluidos não-newtonianos

Para fluidos não-newtonianos a curva de escoamento segue a tendência não linear ou mesmo, linear que não passa pela origem. Assim a viscosidade não é dada por um valor constante, sendo dependente das condições de escoamento, do tempo de escoamento, pressão e temperatura, além da história cinemática (MOREIRA, 2014). Uma nova equação é formada, em que a tensão de cisalhamento se relaciona com a taxa de deformação proporcionalmente por meio de uma viscosidade aparente ( $\eta$ ).

Esses fluidos são, normalmente, divididos em três categorias (MOREIRA, 2014):

- a) Fluidos puramente viscosos, com viscosidade aparente independente do tempo, ou newtonianos generalizados. A taxa de deformação local depende exclusivamente da tensão de cisalhamento aplicado naquele ponto e instante.
- b) Fluidos com 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.

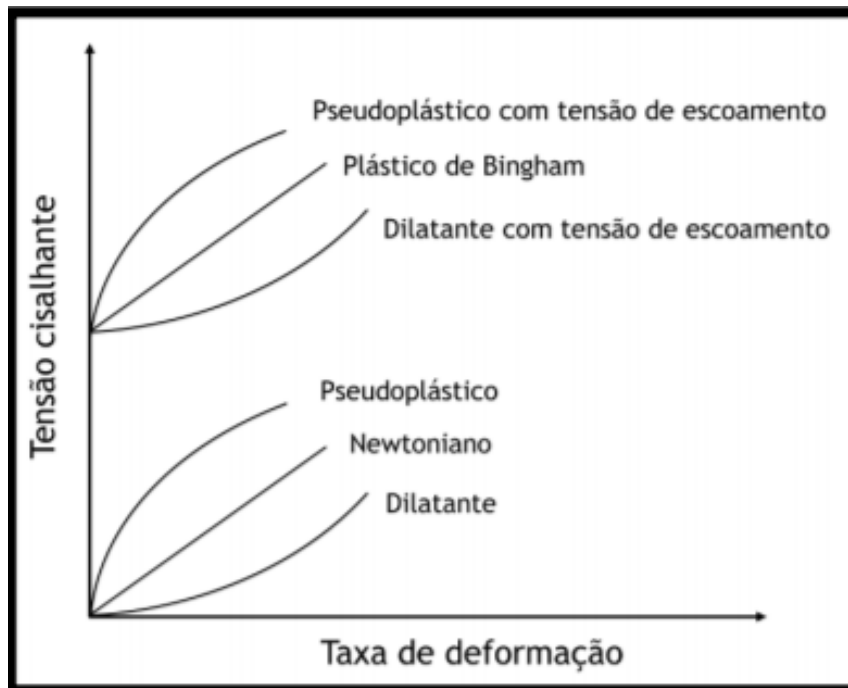
- c) Fluidos viscoelásticos, materiais que exibem características combinadas de um sólido elástico e um fluido viscoso, demonstrando desta forma uma recuperação elástica parcial, após a deformação.

### 6.1.2.1 Fluidos newtonianos generalizados

Quando a viscosidade aparente é uma função da duração do cisalhamento, caso dos fluidos newtonianos generalizados, apresentam-se gráficos com curvas de comportamento independente do tempo, sendo divididos em três subcategorias: pseudoplásticos, viscoplásticos e dilatantes. A relação matemática é dada pela Equação 2 e a Figura 4 abaixo mostra de forma simplificada o comportamento da tensão de cisalhamento em função da deformação.

$$\tau_{yx} = f(\gamma_{yx}) \quad (2)$$

Figura 4 - Diagrama exemplificando diferentes comportamentos reológicos.



Fonte: MOREIRA (2016)

O Comportamento pseudoplástico é verificado em condições específicas, que para baixas e altas taxas de deformação o fluido se comporta como newtoniano. Fluidos que em repouso suas moléculas estão em estado desordenado e quando

submetidas a uma tensão de cisalhamento, suas moléculas tendem a se orientar na direção da força aplicada. Logo, quanto maior a força aplicada e a ordenação das moléculas, tanto menor a viscosidade aparente.

Segundo Moreira (2014) a literatura é repleta de equações que expressam o comportamento pseudoplástico, sendo as mais utilizadas: *Power-law*, *Ellis* e *Carreau*. A equação de *Power-law* é amplamente utilizada devido sua simplicidade, apresentando dois parâmetros, representada na Equação 3 a seguir:

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

em que  $m$  ( $\text{Pa}\cdot\text{s}^n$ ) é o índice de consistência e  $n$  é índice de comportamento do fluido, adimensional. Para  $n < 1$ , o fluido exibe propriedades pseudoplásticas, para  $n = 1$ , comportamento newtoniano, e para  $n > 1$ , o fluido apresenta comportamento dilatante.

A equação de *Ellis* apresenta três parâmetros e é uma alternativa para quando os dados experimentais não se ajustam na equação de *Power-law*, condição de baixa taxa de deformação. Em um cisalhamento simples a viscosidade aparente é expressa como:

$$\eta = \frac{\mu_0}{1 + \left(\tau_{yx}/\tau_{1/2}\right)^{\alpha-1}} \quad (4)$$

em que  $\mu_0$  é a viscosidade de deformação zero e as constantes  $\alpha$  e  $\tau_{1/2}$  são parâmetros do modelo. O parâmetro  $\alpha$  é uma medida do grau de pseudoplasticidade do fluido e o parâmetro  $\tau_{1/2}$  representa o valor da tensão de cisalhamento quando a viscosidade de deformação zero ( $\mu_0$ ) é reduzida para a metade de seu valor (MOREIRA, 2014).

A equação de *Carreau* é adequada para situações de elevadas e baixas taxas de deformação que o modelo *Power-law* não é bom representante. Para um cisalhamento simples o modelo é representado por:

$$\frac{\eta - \mu_0}{\mu_0 - \mu_\infty} = \left[1 + (\lambda\gamma_{yx})^2\right]^{(n-1)/2} \quad (5)$$

em que  $\lambda$  e  $n$  são parâmetros de ajuste. O parâmetro  $n$  indica o índice de comportamento do fluido e o parâmetro  $\lambda$  é um tempo característico. A equação descreve o comportamento de fluidos pseudoplásticos em uma ampla faixa de taxas de deformação, abrangendo o comportamento newtoniano referente a viscosidade de deformação zero ( $\mu_0$ ) e a viscosidade de deformação infinita ( $\mu_\infty$ ), para as situações em que tais viscosidades estão presentes no fluido (MOREIRA, 2014).

Fluidos viscoplásticos apresentam tensões limites de escoamento, de forma que enquanto a tensão aplicada externa for menor que a tensão mínima de escoamento, o material tem característica de sólido elástico. Após a tensão aplicada superar a mínima, o comportamento de fluido em escoamento.

Uma das equações mais utilizadas para expressar viscoplásticos é de Herschel-Bulkley, dada a seguir:

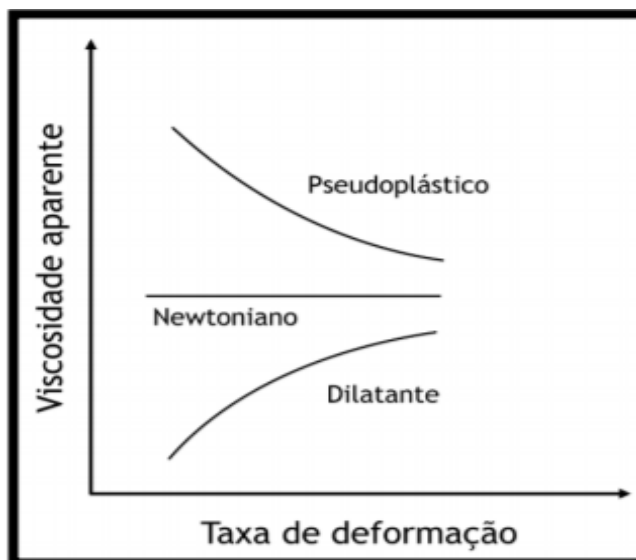
$$\tau_{yx} = \tau_0 + m(\gamma_{yx})^n \quad (6)$$

em que  $\tau_0$ ,  $m$  e  $n$  são parâmetros do modelo relacionados respectivamente a tensão de escoamento, ao índice de consistência e ao índice de comportamento do fluido. O ajuste de Herschel-Bulkley reduz-se ao modelo Power-law quando  $\tau_0=0$  e se reduz à lei da viscosidade de Newton quando  $\tau_0=0$  e  $n=1$  (CHHABRA, 2007).

São chamados de dilatantes as substâncias que apresentam um aumento de viscosidade aparente com a tensão de cisalhamento. No caso de suspensões, à medida que se aumenta a tensão de cisalhamento, o líquido intersticial que lubrifica a fricção entre as partículas é incapaz de preencher os espaços devido a um aumento de volume que frequentemente acompanha o fenômeno. Ocorre, então, o contato direto entre as partículas sólidas e, conseqüentemente, um aumento da viscosidade aparente (BARRA, 2004).

O diagrama que relaciona a viscosidade aparente com a taxa de deformação é um método visual e prático de terminar a característica do fluido estudado, um exemplo é dado na Figura 5.

Figura 5 - Diagrama exemplificando comportamento de fluidos independentes do tempo.



Fonte: MOREIRA (2016)

#### 6.1.2.2 Fluidos com viscosidade aparente dependente do tempo

Nos fluidos dependentes do tempo ocorre a redução gradual na variação da viscosidade aparente quando são submetidos a uma taxa de deformação constante. As quantidades de ligações estruturais do fluido diminuem com o passar do tempo devido a sua quebra, porém a taxa de reestruturação é inversamente proporcional. Após alcançar-se o estado de equilíbrio entre quebra/reforma das ligações a viscosidade aparente do fluido se torna constante.

A tixotropia é caracterizada pela redução na viscosidade aparente com o tempo quando o fluido é submetido a uma taxa de deformação constante, logo, garante que o fluido, após o cisalhamento aplicado encerrar, retorne (aumente) sua viscosidade aparente com o tempo. Sendo então reopexia o comportamento inverso da tixotropia, ou seja, o aumento da viscosidade aparente com o tempo, para uma deformação constante (MOREIRA, 2014)

O efeito de dependência da viscosidade com o tempo está relacionado às diversas transformações presentes na estrutura material e de sua cinética no processo de restauração desta estrutura. Assim, a viscoelasticidade poderia ser considerada um tipo de efeito tixotrópico, porém os estudos de viscoelasticidade são realizados independente dos reopéticos e tixotrópicos (MOREIRA, 2014).



## 6.2 Trabalho de bomba e Perda de carga

Em processos que envolvem o escoamento de fluidos muitas vezes é exigido o uso de bombas. Para o projeto dessas bombas é necessário conhecer a perda de carga gerada pelo atrito do fluido ao longo do sistema de tubulações (ZIMMERMANN, 2003).

### 6.2.1 Perda de carga

A avaliação da energia requerida pelo fluido em seu deslocamento é obtida realizando o balanço de energia mecânica do sistema. O desenvolvimento das equações da continuidade, conservação de energia e o balanço de quantidade de movimento resultam na Equação 7, que considera as hipóteses de regime estacionário, fluido isotérmico, homogêneo, incompressível e de uma fase.

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{\bar{u}_1^2}{\alpha_1} + gz_1 + W = \frac{p_2}{\rho} + \frac{\bar{u}_2^2}{\alpha_2} + gz_2 + \sum F \quad (7)$$

Onde os termos representam uma variação de energia por unidade de massa.  $\frac{p_2 - p_1}{\rho}$  é a variação de energia de pressão por unidade de massa.  $\frac{\bar{u}_2^2}{2} - \frac{\bar{u}_1^2}{2}$  é a variação de energia cinética por massa.  $g(z_2 - z_1)$  é a variação de energia potencial por unidade de massa.  $W$  é o trabalho de eixo realizado pelo equipamento por unidade de massa e  $\sum F$  é o termo somatório das perdas pelo atrito, tanto distribuídas quanto locais, por massa de fluido. A perda de energia causada pelo atrito entre o fluido e a parede da tubulação é denominada perda de carga distribuída, sendo que varia conforme as características do fluido, do tubo e das condições de escoamento. A perda de carga distribuída é expressa por uma função do fator de atrito  $f$ , que de forma matemática é disponível por correlações de origem empírica, como a de Darcy e a de Fanning (GOTSCHLICH, 2011). A Equação 8 abaixo é a expressão encontrada por Darcy e Weisbach para perda de carga distribuída e válida para qualquer líquido.

$$J = f \cdot \frac{L v^2}{D 2g} \quad (8)$$

O fator de atrito para fluidos newtonianos é dependente da condição de escoamento laminar, em uma tubulação, é dada pela equação de Poiseulle a seguir:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (9)$$

Em que  $Re$  é o número de Reynolds.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \quad (10)$$

De forma universal aos tipos de escoamento considera-se o diagrama de Moody, que apresenta uma forma prática de identificar o fator de atrito a partir dos dados de  $Re$  e rugosidade da tubulação quando o regime de escoamento for turbulento.

Para Gotschlich (2011) nos fluidos não newtonianos o fator de atrito a equação é similar ao dos fluidos newtoniano, porem o termo de número de Reynolds é substituído por número de Reynolds generalizado ( $Re_{MR}$ ). Uma correlação muito utilizada para Reynolds generalizado é a de Metzner e Reed (1955), dada como:

$$Re_{MR} = \frac{\rho \cdot v^{2-n} \cdot D^n}{k \cdot 8^{n-1}} \left( \frac{3n+1}{4n} \right)^n \quad (11)$$

em que  $k$  e  $n$  são parâmetros do ajuste *Power-law* para fluidos não newtonianos,  $D$  o diâmetro da tubulação,  $\rho$  a densidade do fluido e  $v$  a velocidade do fluxo.

Além de perdas de energia ocorridas ao longo do escoamento, as peças especiais, conexões, válvulas, etc, também são responsáveis por perda de energia, por causarem turbulência, alterarem velocidade, mudarem a direção, aumentarem o atrito e provocarem choques das partículas (MACINTYRE, 2012).

Existem ao menos três métodos para calcular essas perdas, vale citar os dois mais usuais. O primeiro é a utilização da fórmula geral, Equação 12, e de tabelas onde há valores para o coeficiente de perda localizada,  $K$ , para várias peças e conexões.

$$J = K \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (12)$$

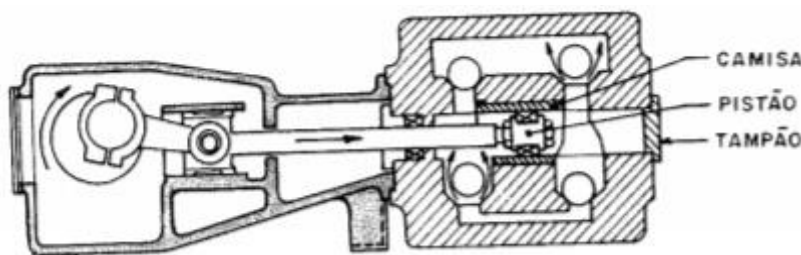
O segundo método é dos comprimentos virtuais ou equivalentes, em que se considera que cada peça produz uma perda de carga equivalente a um determinado comprimento de encanamento com o mesmo diâmetro.

### 6.2.2 Bombas de deslocamento positivo

Bombas volumétricas ou de deslocamento positivo são capazes de gerar alta pressões e baixas vazões, sendo amplamente utilizadas em sistemas hidráulicos de fluidos newtonianos ou não newtonianos com alta viscosidade. São as mais utilizadas em sistemas de pulverização agrícola.

A Figura 6 representa um esquema para bomba pistonada. O movimento do líquido é acionado pelo deslocamento alternado de um pistão cilíndrico. No curso de aspiração, o movimento do pistão tende a produzir vácuo, e a pressão exercida provoca a abertura da válvula de admissão, enchendo o volume do pistão. Na fase de compressão, o pistão força o líquido para fora do cilindro, empurrando-o, através da válvula de compressão. O movimento causado pelo pistão obriga o líquido a ter o fluxo na mesma direção e velocidade (MACINTYRE, 1997).

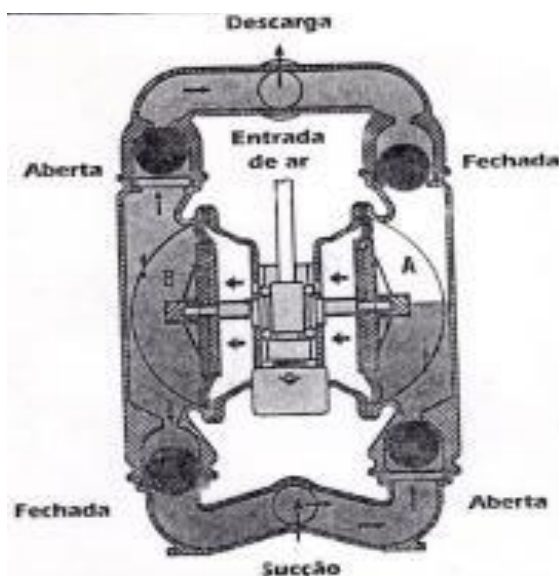
Figura 6- Esquema de bomba pistonada.



Fonte: Adaptado de MACINTYRE (1997)

Para bombas de diafragma, Figura 7, as membranas impulsionadas por hastes com movimento alternado fornecem a energia para o fluido. O movimento da membrana, num dos sentidos, diminui a pressão, admitindo líquido em seu espaço de trabalho. Ao se inverter o movimento, o volume é descarregado (MACINTYRE, 1997).

Figura 7 - Esquema de bomba de duplo diafragma.



Fonte: Adaptado de MACINTYRE (1997)

## 7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

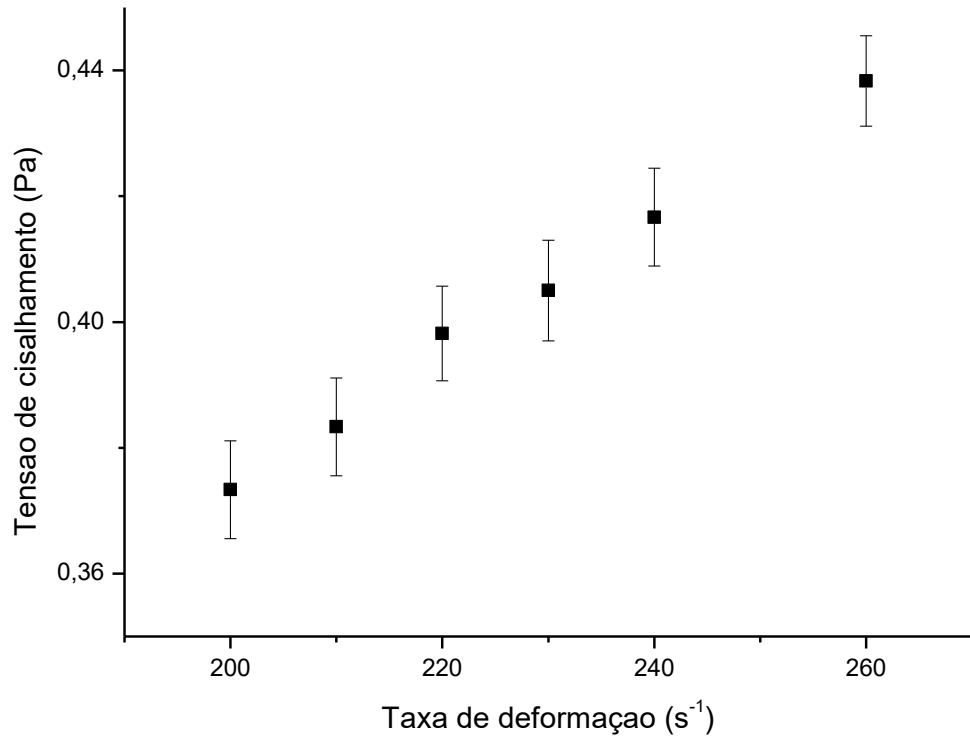
As seções a seguir apresentam os resultados obtidos e a discussão gerada visando atingir os objetivos do trabalho.

### 7.1 Reogramas

Os resultados obtidos pela análise das amostras utilizando o viscosímetro foram plotadas, tendo em mente que muitas informações sobre o comportamento do fluido podem ser rapidamente interpretadas pelo método gráfico.

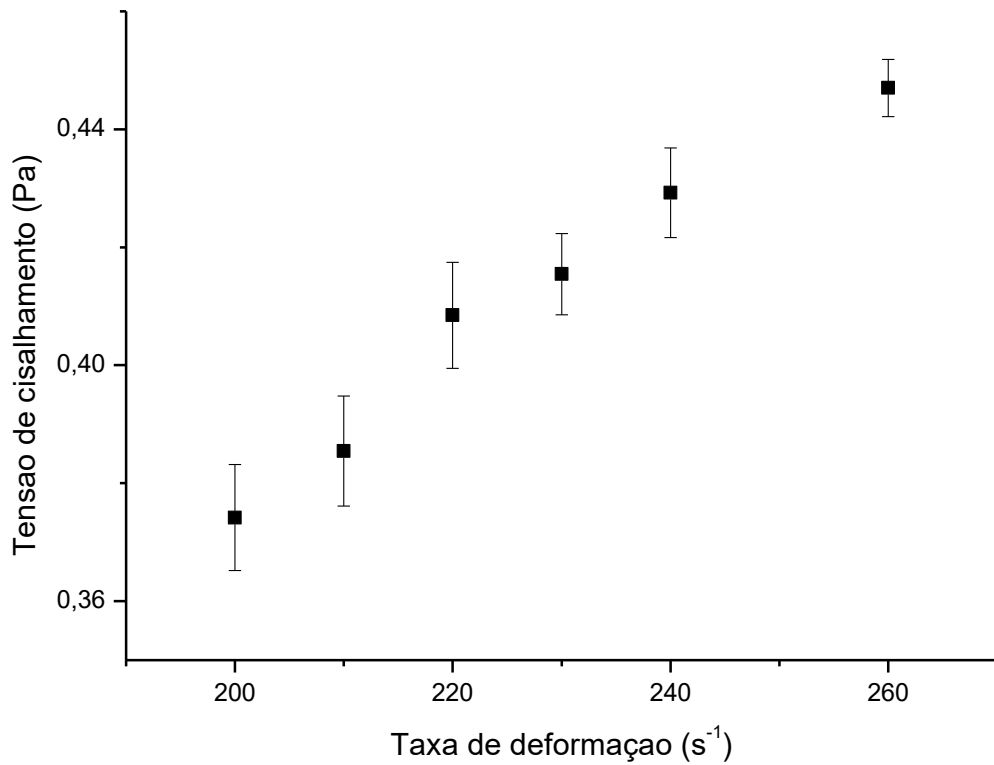
As Figuras 8 e 9 apresentam os dados de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação. A obtenção dos dados foi realizada em triplicata, logo os pontos no gráfico representam as médias calculadas juntamente com o desvio padrão.

Figura 8 - Reograma obtido para a Amostra 1.



Fonte - Autor

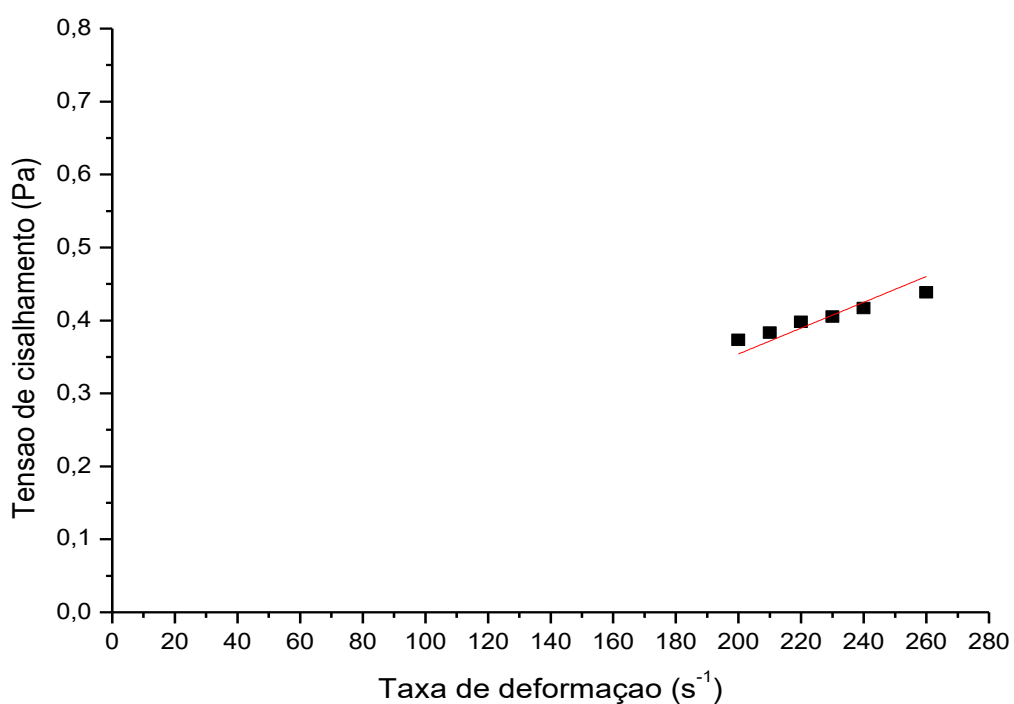
Figura 9 - Reograma obtido para a Amostra 2.



Fonte - Autor

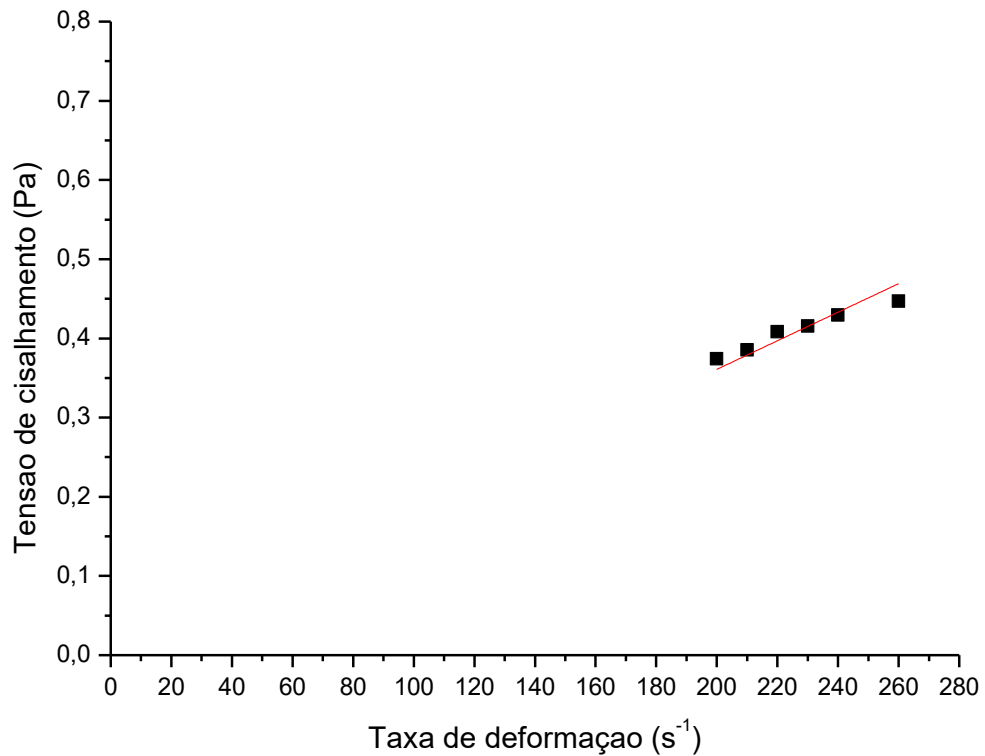
As Figuras 10 e 11 representam a predição do comportamento das amostras considerando fluido newtoniano. Considerando inicialmente que as amostras são de características de fluidos newtonianos as análises viscosidade foram realizadas com o ajuste linear dos dados, sendo a reta gerada partindo da origem, característica de fluido newtoniano.

Figura 10 - Linearização para a Amostra 1.



Fonte - Autor

Figura 11 - Linearização para a Amostra 2.



Fonte - Autor

A tabela x mostra o coeficiente de determinação,  $R^2$ , e o erro padrão estimado, para os ajustes de dados. O coeficiente angular da reta obtido tem significado físico, é a viscosidade newtoniana para os fluidos analisados, sendo  $\mu_1 = 1,77$  cP e  $\mu_2 = 1,8$  cP, respectivamente para a Amostra 1 e Amostra 2.

Tabela 3 - Dados para o ajuste newtoniano

Equação	$\tau_{yx} = \mu(\gamma_{yx})$	
	Amostra 1	Amostra 2
$R^2$	0,9986	0,9989
Erro padrão estimado	2,7032E-5	2,3483E-5
Coefficiente angular	0,00177	0,00180

Fonte - Autor

Ao analisar os valores de  $R^2$  obtidos pelo ajuste linear com início na origem é assertivo dizer que o comportamento dos fluidos é newtoniano.

Considerando o trabalho de autores como Jesus (2014), Fernandes et al. (2015) e Decaro Jr. (2015), trabalhos que obtiveram valores de viscosidade para caldas agrícolas para determinar diâmetro de gota durante a pulverização, a viscosidade manteve-se numa faixa de 0,9 cP a 1,2 cP, valores até 100% menor que os encontrados neste trabalho.

Analisando a composição das caldas utilizadas no trabalho de Jesus (2014) encontramos apenas um defensivo agrícola solvido juntamente com os adjuvantes selecionados. O fato das misturas agrícolas estudadas serem compostas de mais de um tipo de defensivo agrícola e adjuvantes é a possível explicação para esse aumento da viscosidade.

Os adjuvantes são compostos, adicionados às formulações ou à calda de pulverização, trazendo benefícios como aumento no molhamento, na aderência, no espalhamento, na redução de espuma. No caso das amostras o componente D, composto de óleo mineral, desempenha essa função.

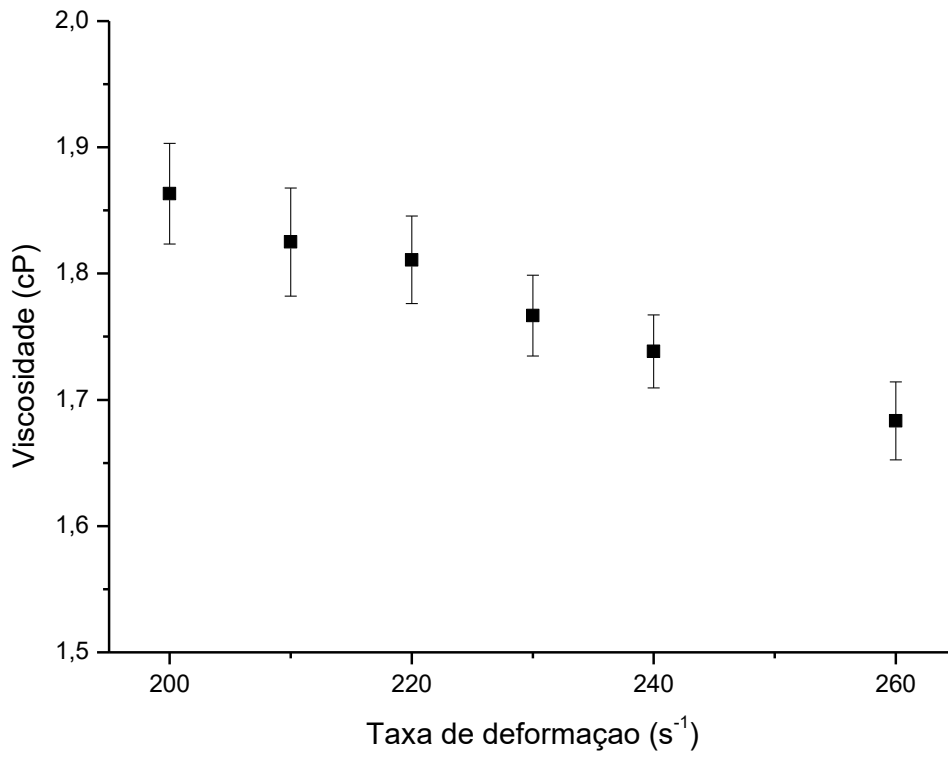
Apesar do aumento da viscosidade a característica fluidodinâmica da calda é newtoniana, comportamento de análise mais simples e parecida com a água durante o escoamento.

## **7.2 Curvas de viscosidade por taxa de deformação**

Como forma de comprovar o comportamento newtoniano das amostras analisadas, os gráficos de viscosidade por taxa de deformação, assim como os reogramas, foram construídos utilizando a média dos resultados obtidos. As Figuras 12 e 13 mostram os resultados para as Amostras 1 e 2 respectivamente.

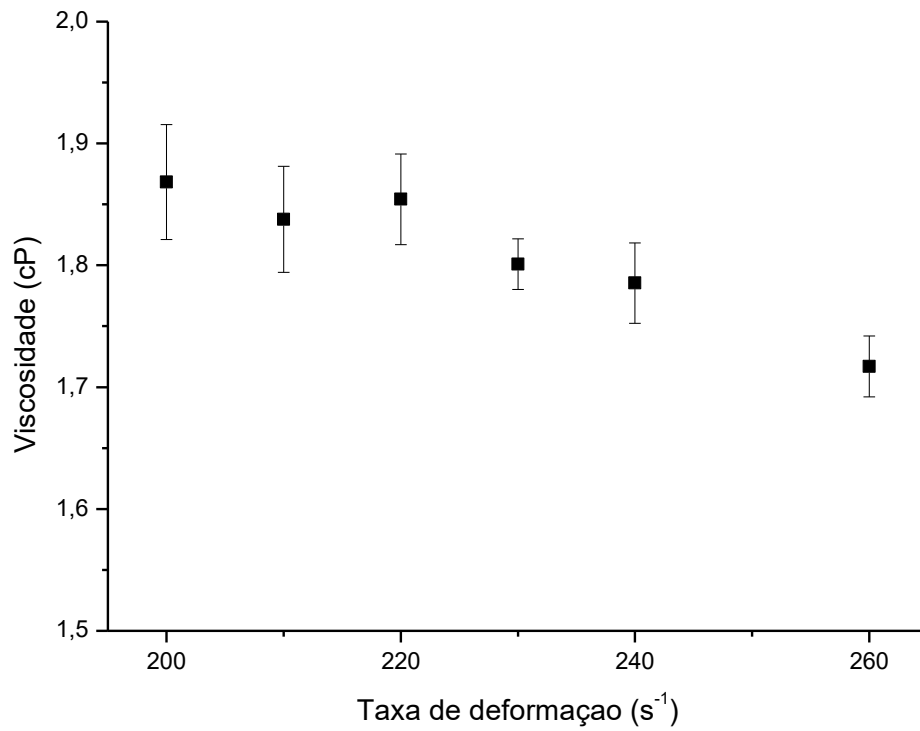


Figura 12 - Diagrama de viscosidade por taxa de deformação para a Amostra 1.



Fonte - Autor

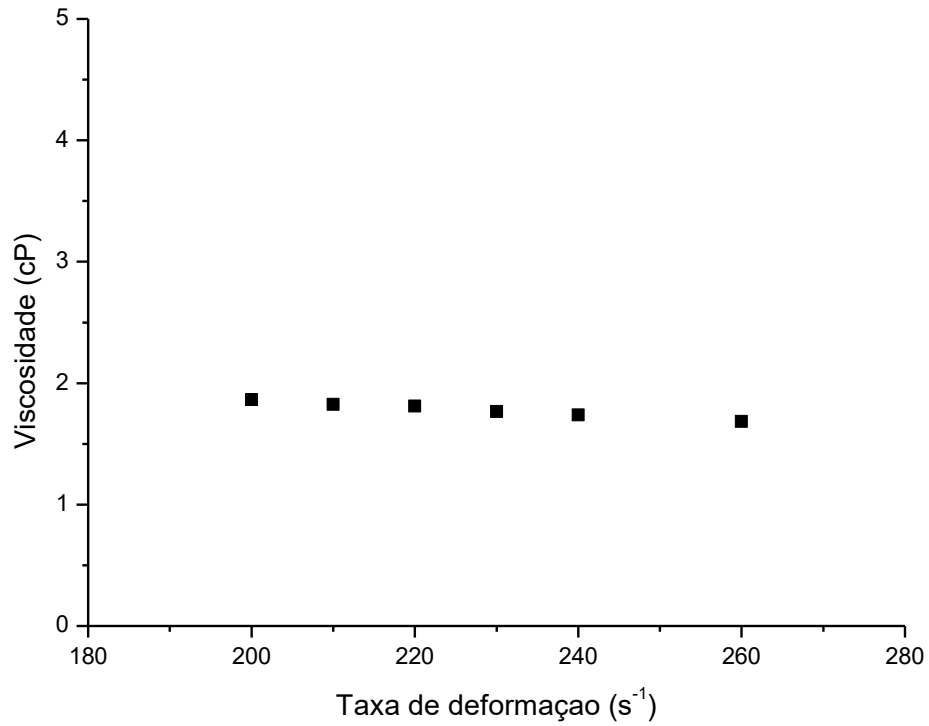
Figura 13 - Diagrama de viscosidade por taxa de deformação para a Amostra 2.



Fonte - Autor

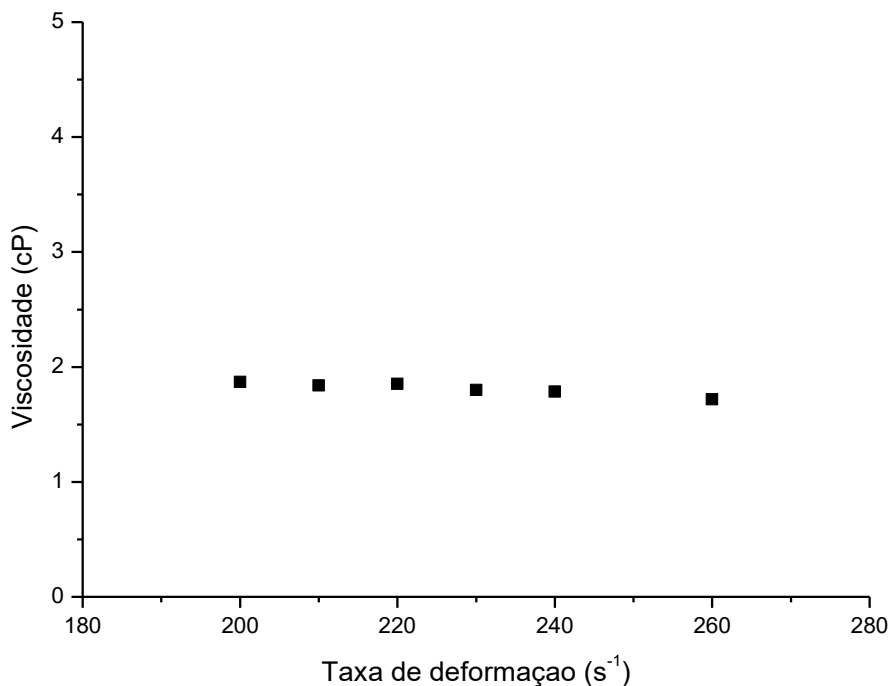
Apesar do comportamento da viscosidade das amostras apresentar uma queda com o aumento da taxa de deformação, aspecto de fluido não-newtoniano, o método de análise gráfica indica ampliar os eixos e visualizar o comportamento em comparação, assim como a Figura 5. Portanto as Figuras 14 e 15 apresentam os resultados de forma prática para a análise.

Figura 14 - Diagrama de viscosidade por taxa de deformação para a Amostra 1.



Fonte - Autor

Figura 15 - Diagrama de viscosidade por taxa de deformação para a Amostra 2.



Fonte - Autor

Como previsto pelos gráficos de reologia, o formato constante da viscosidade em função da taxa de deformação define o comportamento das amostras como newtoniano.

### 7.3 Análise de perda de carga

Um pensamento comum durante o procedimento de aplicação de defensivos agrícolas é de que a mistura dentro do tanque irá se comportar igual a água, que em 25 °C tem viscosidade de 0,89 cP. Entretanto, como analisado nos tópicos anteriores, ocorre diferença de viscosidade na calda, mas seu comportamento continua sendo newtoniano. Sendo o número de Reynolds dado pela Equação 10, somente necessitamos da viscosidade cinemática dos fluidos quando o desejo é comparar o aumento relativo entre as amostras e água independente do diâmetro da tubulação e velocidade do fluido. A Tabela 4 abaixo trás os dados de densidade ( $\rho$ ), viscosidade dinâmica ( $\mu$ ) e viscosidade cinemática ( $\nu_{Amostra}$ ) calculados para ambas as amostras.

Tabela 4 - Propriedades das amostras.

	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\mu$ (cP)	$v_{Amostra}$ (cSt)
<b>Amostra 1</b>	1009,83	1,77	1,75
<b>Amostra 2</b>	1009,68	1,8	1,78

Fonte - Autor

Conhecida a viscosidade cinemática para água, a 25 °C, como  $v_{\acute{a}gua} = 0,9$  cSt, obteve-se pela Equação 13 o percentual de aumento comparativo (PAC) para as amostras, sendo 94,75% para a Amostra 1 e de 98,08% para a Amostra 2. Isto significa que o coeficiente de Reynolds, para escoamento em condições de velocidade e diâmetro de tubulação idênticas, dos caldos agrícolas é aproximadamente a metade do que para a água em 25 °C.

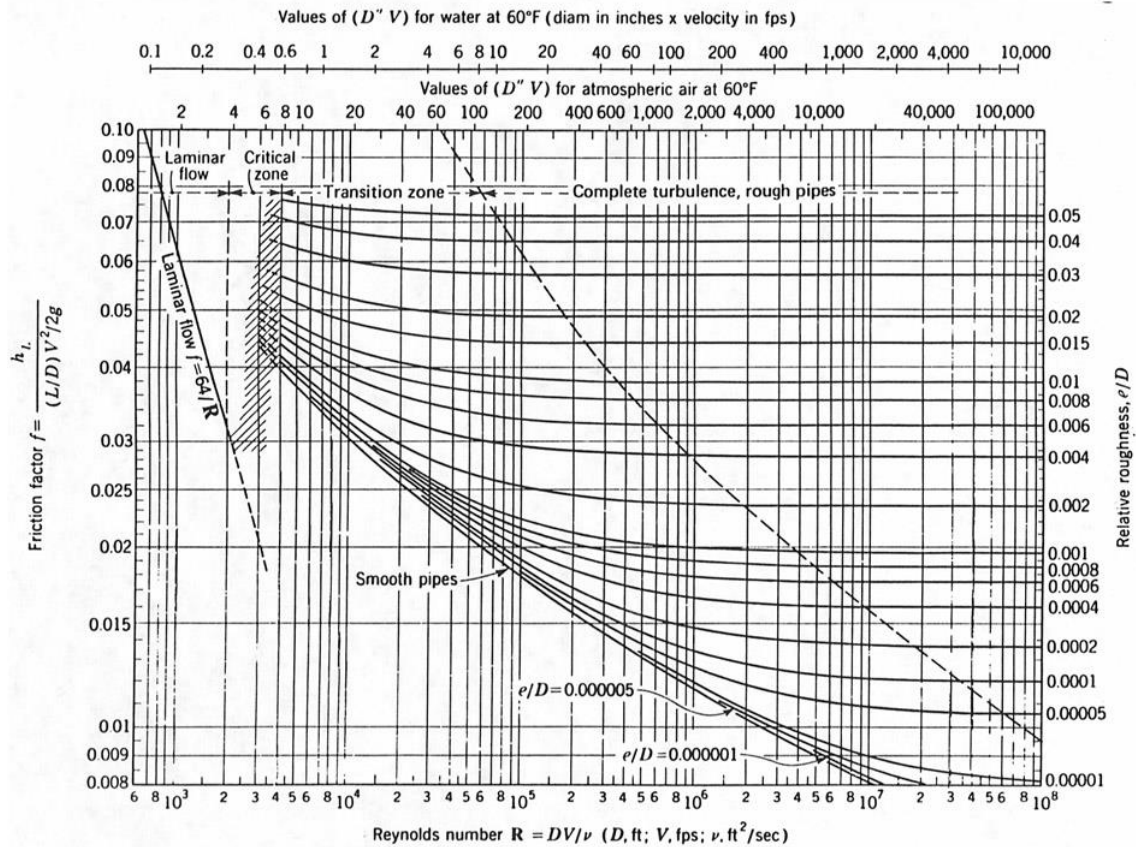
$$\left[ \frac{\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{Amostra} - \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{\acute{a}gua}}{\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{\acute{a}gua}} \right] = \left[ \frac{v_{Amostra} - v_{\acute{a}gua}}{v_{\acute{a}gua}} \right] = PAC \quad (13)$$

Analisando o diagrama de Moody, Figura 16, para as diferentes regiões de regime de escoamento, e sabendo que pela Equação 8 a perda de carga é diretamente proporcional ao fator de atrito, temos que para quando o fluxo é laminar ocorre a maior influência do aumento da viscosidade, sendo diretamente proporcional o aumento da viscosidade com aumento do fator de atrito, vide Equação 9.

Em condição de fluxo em zona crítica é de difícil determinação do fator de atrito, porém caso o equipamento utilizado pelo agricultor esteja ajustado a operar nesta faixa, o aumento da viscosidade pode causar transição para o fluxo laminar.

Para fluxo em zona de transição em turbulência o aumento da viscosidade causa o aumento do fator de atrito, porém como a escala é logarítmica, a ampliação do fator é muito baixa para um aumento da viscosidade cinemática de no máximo, aproximadamente, duas vezes, como foi experimentalmente determinado. Em regiões de completa turbulência e canos rugoso não há diferença notável pelo diagrama de Moody.

Figura 16 - Diagrama de Moody.



Fonte: Adaptado de MCGOVERN et al. (2011)

Para o trabalho de bomba realizado nas diferentes caldas analisadas, seguindo os conhecimentos dispostos por MACINTYRE (1997), a utilização de bombas de deslocamento positivo não sofre perda de eficiência considerável por aumento de viscosidade até a faixa de 100 cP, caso da bomba pistonada. Assim sendo, com a viscosidade das amostras não superando 2 cP e seu comportamento é newtoniano, igual a água, não se verifica necessidade de atribuir defeitos as bombas utilizadas atualmente ou que o preparo de caldas mais compostas tenha influência no rendimento das bombas.

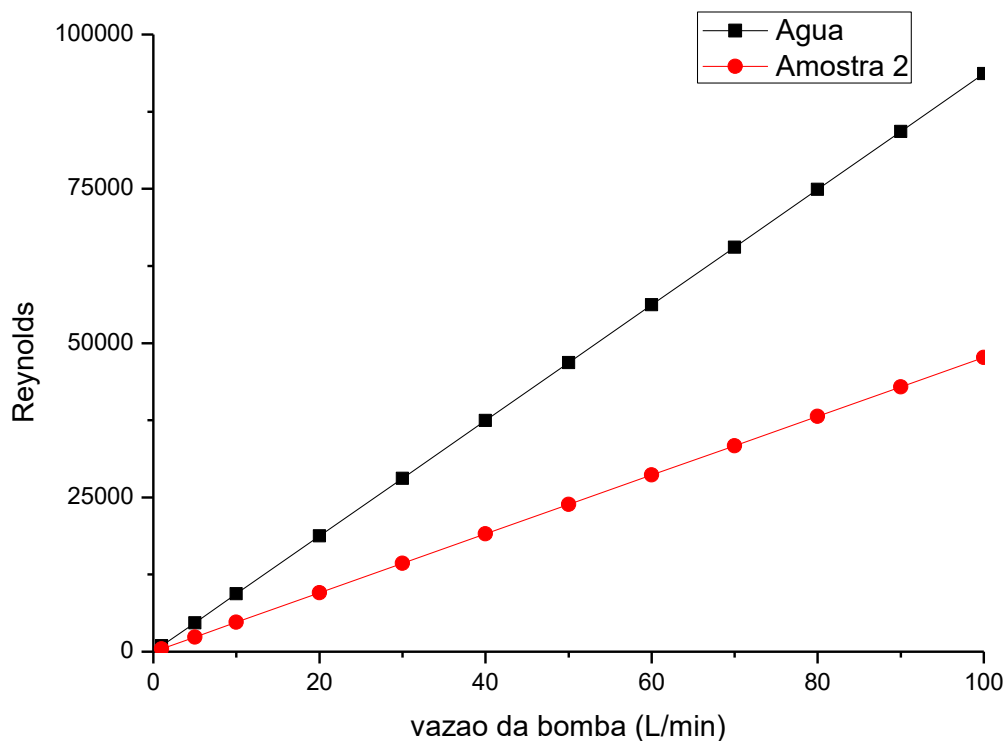
#### 7.4 Estudo de caso

Um equipamento comumente utilizado é o pulverizador agrícola portado que fica acoplado no trator via braços hidráulicos. Para o estudo de caso a seguir foram consideradas características do equipamento Porter 600 st, da marca KUHN. O

pulverizador vem equipado com uma bomba pistão-membrana de vazão volumétrica máxima de 100 L/min, 16 metros de envergadura de barras, mangueiras de diâmetro de 1 polegada e sem rugosidade, contém 32 bicos, sendo a distância de 0,5 m entre eles (KUHNS DO BRASIL, 2015).

Foi calculado o valor do coeficiente de Reynolds para uma gama de vazões volumétricas possíveis de serem executadas pela bomba para a água e para a Amostra 2, Figura 17. Somente foi realizado o estudo de caso considerando a Amostra 2, pois a viscosidade média calculada para as Amostras 1 e 2 são muito parecidas e os resultados ficam sobrepostos e de difícil distinção.

Figura 17 - Coeficiente de Reynolds em função da vazão.



Fonte - Autor

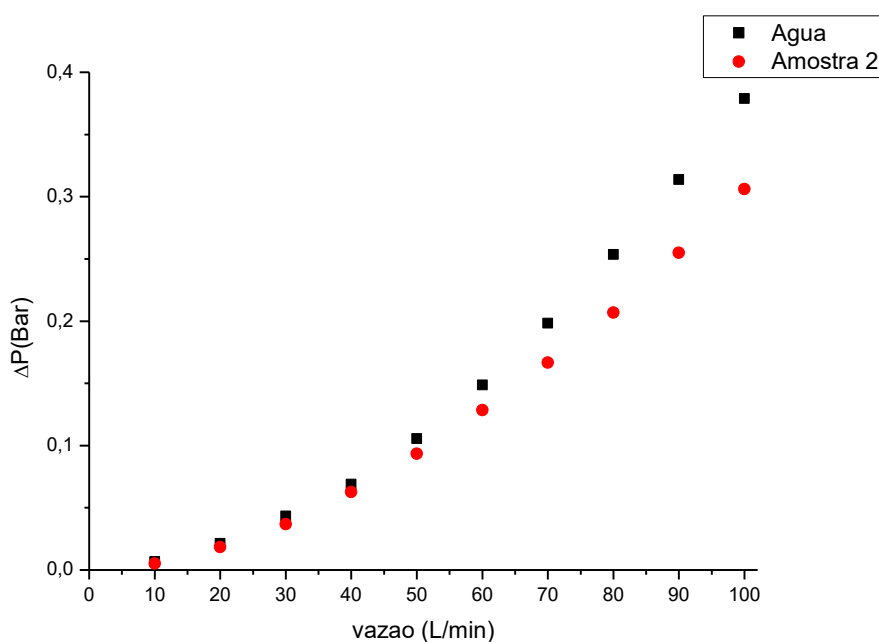
A determinação do fator de atrito foi realizada utilizando o diagrama de Moody, sendo as vazões de fluido utilizadas o regime de fluxo pertence à região turbulenta.

Para melhor visualização das respostas obtidas foi desenvolvido um diagrama para a condição de fluxo, em que é dada a queda de pressão em função da vazão da

bomba. O cálculo de queda de pressão por influência da perda de carga distribuída é dada pela Equação 7 e Equação 8.

A Figura 18 mostra o diagrama construído para condição de fluxo turbulento para uma faixa de operação de 10 L/min até 100 L/min, nota-se que para toda a faixa a queda de pressão para a Amostra 2, com viscosidade duas vezes maior, foi superior. Porém, não tem a mesma proporcionalidade e influência, fato importante quando considerado o dimensionamento do equipamento e condição de operação.

Figura 18 – Diagrama comparativo de queda de pressão em regime turbulento.



Fonte - Autor

O equipamento possui 16 metros de comprimento de mangueira em que o fluido escoar, porém, a bomba é instalada no meio do pulverizador. Assim, para realização dos cálculos de queda de pressão do fluido até atingir a ponta das barras, foi considerado oito metros de comprimento de mangueiras e que a condição obtida é igual em ambos os lados do equipamento.

As Figuras 19 e 20 são os diagramas obtidos de queda de pressão devida a perda de carga distribuída para água e Amostra 2, respectivamente, em cada bico posicionado ao longo dos oito metros de mangueira.

Figura 19 – Diagrama de queda de pressão para escoamento de água em cada bico.

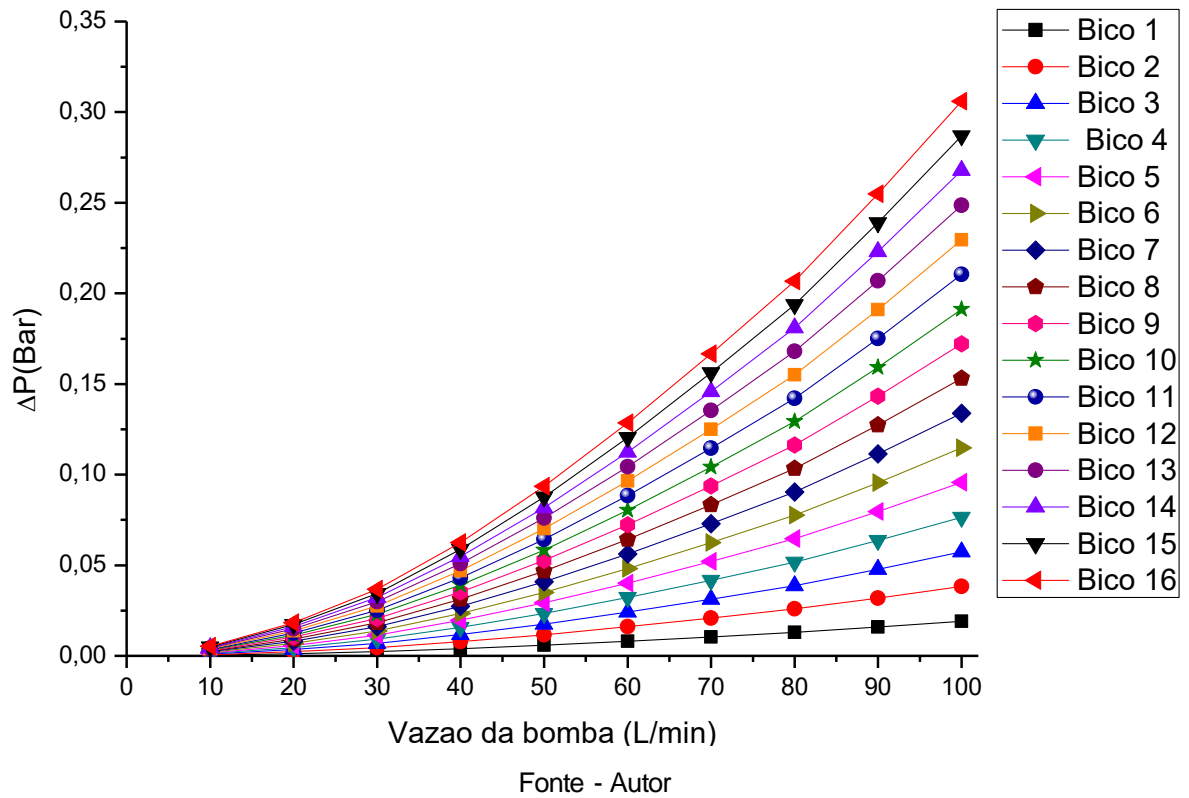
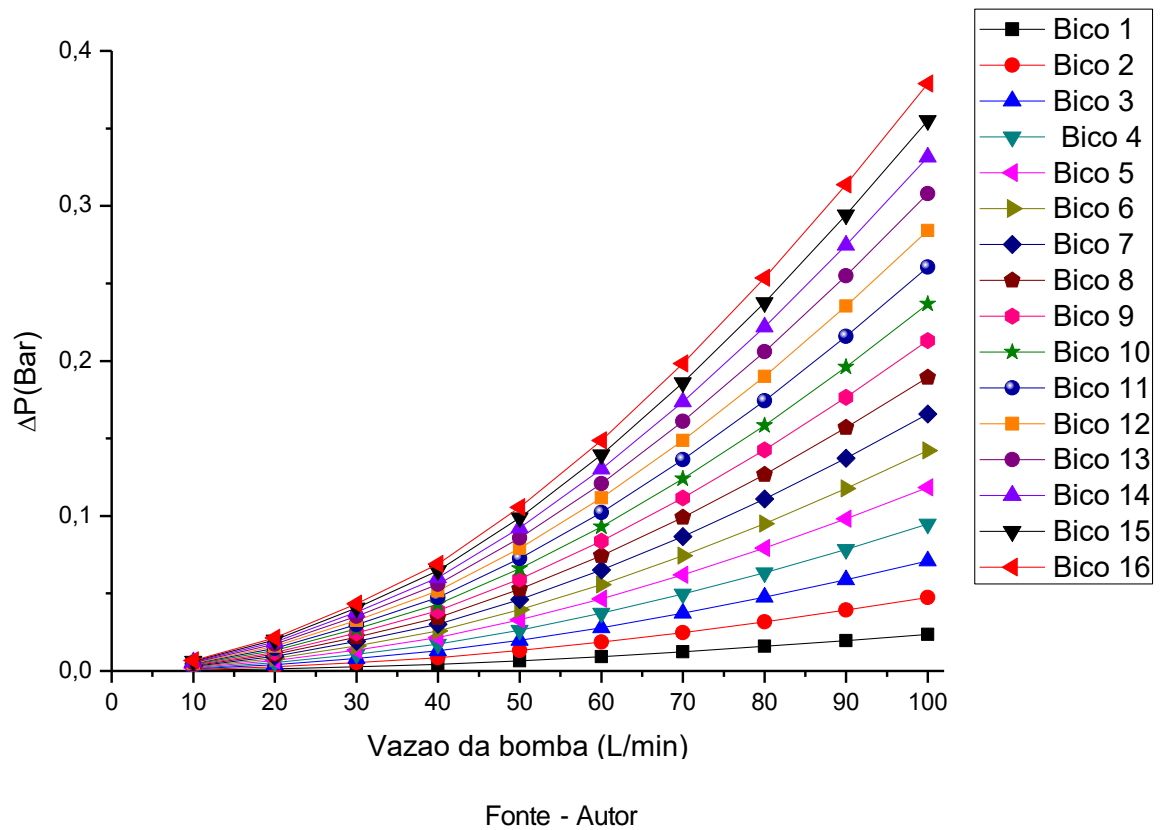


Figura 20 - Diagrama de queda de pressão para escoamento de Amostra 2 em cada bico.





A predição de queda de pressão é útil no momento que o equipamento é preparado para o uso e a pressão de saída de bomba é definida. Os bicos de pulverização necessitam de um controle preciso da pressão do fluido para que seja eficiente e realize a nebulização do defensivo agrícola dentro da especificação necessária (JESUS, 2014). Mesmo para o bico na extremidade do equipamento e para a máxima vazão de bomba disponível a queda de pressão é, aproximadamente, 24% maior. Assim, quando definida a condição de operação como escoamento de água, é viável a operação sem necessidade de replanejar o equipamento ou controle operacional.

## **8 CONCLUSÕES E SUGESTÕES**

A metodologia utilizada para realização dos testes de viscosidade mostrou resultados com pequena variação e com ótima correlação para o ajuste escolhido. O artifício gráfico de determinação de característica reológica se mostrou eficiente e de fácil interpretação.

A conclusão sobre a reologia das amostras é de que independente da variedade produtos utilizados pelo agricultor, o solvente irá prevalecer no comportamento da calda, no caso água com comportamento newtoniano.

A partir da interpretação e estudo de outros trabalhos sobre caldas agrícolas é notável a importância da determinação da viscosidade, tanto para relacionar com a tensão superficial quanto para tamanho de gota, molhamento e sorção pela planta. Porém muitos trabalhos utilizam um único defensivo e adjuvantes em sua composição, prática pouco realizada no campo por agricultores de pequeno e médio porte. Buscar maior contato com os produtores rurais e utilizar as misturas por eles preparadas traria os resultados mais próximos da realidade.

Nota-se que realizar misturas muito composta pode causar alterações no comportamento dos defensivos, não só em sua atuação, mas como observado nas Amostras, em sua solubilidade, logo, como sugestão de estudo, determinar como a solubilidade dos defensivos agrícolas é afetada considerando as misturas reais

utilizadas no campo, buscando uma taxa de sedimentação e possível efeito de entupimento de bicos e peneiras.

Ao considerar a economia de combustível, diminuição no pisoteio de solo e plantas e o ganho de tempo ao misturar múltiplos defensivos agrícolas, a redução de eficiência no processo de bombeamento e a perda de carga não são relevantes para desconsiderar realizar tais misturas, sendo de maior influência o possível caráter de entupimento ou diminuição da resposta química e biológica esperada.

## REFERÊNCIAS

BARRA, G.; **Apostila de processos 4: fundamentos de reologia de materiais poliméricos**, São Paulo, 2004.

BROOKFIELD ENGINEERING LABORATORIES, INC.; **Instruções operacionais para viscosímetro dv2t**, Middleboro, 2017.

CHHABRA, R. P.; **Bubbles, drops, and particles in non-newtonian fluids**, 2ª edição, Editora Taylor e Francis LLC, Kanpur, India, 2007.

DECARO JR., S. T.; **Avaliação de um pulverizador de volume ultra baixo e de adjuvantes em caldas fitossanitárias na cultura dos citros**, Tese de Doutorado à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp, Câmpus de Jaboticabal, 2015.

FERNANDES, H. C. et al; **Adjuvantes nas propriedades físicas da calda, espectro e eficiência de eletrificação das gotas utilizando a pulverização eletrostática**, Ciência Rural, vol. 45, UFSM, 2015.

GOTSCHLICH, M. F. L.; **Escoamento de fluidos não newtonianos: revisão da literatura e análise de correlações para o fator de atrito e coeficientes de perda localizada**, Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos, UFSC, 2011

JACTO S. A; **Manual técnico sobre orientação de pulverização**, Pompéia, SP, 24p, 2010.

JESUS, M. G.; **Caracterização da pulverização de mistura de tanque com diferentes pontas de jato plano**, Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu, 2014.

KUHN DO BRASIL; **Manual pulverizador porter 600/800 st**, Passo Fundo, 2015.

MACINTYRE, A. J.; **Bombas e instalações de bombeamento**, 2ª edição, Editora Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, 1997.

MACINTYRE, A. J.; **Equipamentos industriais e de processo**, Editora Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, 2012.

MCGOVERN, J at al; **Technical note: friction factor diagrams for pipe flow**, Artigo de School of Mechanical and Design Engineering, Dublin Institute of Technology, Dublin, 2011.

METZNER, A. B., E REED, J. C.; **Flow of non-newtonian fluids - correlation of the laminar, transition, and turbulent-flow regions**. Aiche Journal, 1, 434-440. 1955

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**, 1ª Edição, EDIBRAS, Uberlândia, 2016.

MOREIRA, J.C. e PERES, F.; **Agrotóxicos, saúde e ambiente: uma introdução ao tema**, Rio de Janeiro, Editora FIOCRUZ, 2003.

PETTER, F.A. et al; **Incompatibilidade física de misturas entre herbicidas e inseticidas**, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, UFP, 2011.

TETRALON, **Bombas pneumáticas**. Disponível em:<  
<http://www.tetralon.com.br/processos-industriais/bombas-pneumaticas/bomba-pneumatica-metalica-advanced-fit-wilden/>> Acesso em: 28 maio 2018.

ZIMMERMANN, M. A.; **Sistema especialista protótipo para auxílio na seleção de bombas hidrostáticas**, Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, UFSC, 2003.