



Universidade Federal de Uberlândia  
Faculdade de Engenharia Química  
Graduação em Engenharia de Alimentos



## **ESTUDO REOLÓGICO DE IOGURTES NATURAIS E COMERCIAIS**

Patos de Minas - MG

2019



Universidade Federal de Uberlândia  
Faculdade de Engenharia Química  
Graduação em Engenharia de Alimentos



## **ESTUDO REOLÓGICO DE IOGURTES NATURAIS E COMERCIAIS**

Priscilla Siqueira de Dio

Trabalho de conclusão de curso de graduação,  
de Engenharia de Alimentos da Universidade  
Federal de Uberlândia, como requisito parcial  
para a obtenção do título de Engenheiro de  
Alimentos.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Líbia Diniz Santos

Coorientadora: Prof.<sup>a</sup>Dr.<sup>a</sup>. Liliane Maciel de  
Oliveira

Patos de Minas - MG

2019



# UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Faculdade de Engenharia Química

Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1K - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902

Telefone: (34) 3239-4285 - secdireq@feq.ufu.br - www.feq.ufu.br



## HOMOLOGAÇÃO

### PRISCILLA SIQUEIRA DE DIO

#### Estudo reológico de iogurtes naturais e comerciais

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado nesta data para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) - *campus* Patos de Minas (MG) pela banca examinadora constituída por:

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Líbia Diniz Santos**  
Orientador(a) - UFU

**Dr. Neiton Carlos da Silva**  
UFU

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Márcia Cristina Teixeira Ribeiro Vidigal**  
Universidade Federal de Viçosa - UFV

Patos de Minas, 19 de dezembro de 2019.



Documento assinado eletronicamente por **Libia Diniz Santos, Presidente**, em 19/12/2019, às 11:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Neiton Carlos da Silva, Usuário Externo**, em 19/12/2019, às 11:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Márcia Cristina Teixeira Ribeiro Vidigal, Usuário Externo**, em 19/12/2019, às 11:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1757350** e o código CRC **C46B9411**.

## Agradecimentos

A Universidade Federal de Uberlândia Campus Patos de Minas, pela oportunidade de formação acadêmica.

A minha Orientadora Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Líbia Diniz Santos e Coorientadora Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Liliane Maciel de Oliveira por toda instrução e aprendizado no desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus pais Marcos e Edilene, por sempre acreditarem no meu potencial e nunca me deixar desistir até nos momentos mais difíceis e por todo apoio que me deram emocionalmente nessa e em todas as etapas da minha vida e por ser a minha maior motivação de conseguir crescer cada vez mais.

A minha avó Maria Rita, meu irmão Murillo e minha cunhada Patricia por fazerem parte da minha vida e me apoiarem em todas as minhas escolhas.

A minha tia Elen, meu tio Eduardo e meu primo Pedro por sempre estarem comigo mesmo que a distância.

As minhas cachorras Milla, Amora, Maya e minha calopsita Zé pelo amor puro e carinhoso que um animal de estimação possa ter e por me dar forças para continuar.

A minha amiga Leticia, que compartilhou a vida acadêmica comigo e ainda compartilha momentos e conselhos que demonstram o carinho e consideração por nossa amizade e sua filha Maria Guilhermina, me faz querer cada dia ir atrás dos meus sonhos.

Ao meu amigo Lucas, por toda amizade e apoio nesses anos de graduação.

A todas as pessoas que neste ano estiveram do meu lado desde Bauru a Patos de Minas.

Por fim ao Prof<sup>o</sup> Dr. Neiton Carlos da Silva e a Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Marcia Cristina Teixeira Ribeiro Vidigal por aceitarem em fazer parte da minha banca de defesa.



## Resumo

O comportamento reológico de iogurtes pode ser influenciado pela composição, pela temperatura de análise e tendência do fluido a se deformar com o tempo. O presente trabalho teve como objetivo estudar a caracterização dos iogurtes comerciais utilizando os métodos de análise de pH, acidez, cinzas e umidade, além disso, levantar as variáveis importantes na reologia de iogurtes. Foi possível constatar na caracterização físico-química que os iogurtes das marcas A e B estavam conforme legislação vigente. O estudo da influência da temperatura foi realizado nas temperaturas de 6, 36 e 45°C, que corresponde a temperatura de armazenamento, temperatura da boca e temperatura de processo, respectivamente. A influência do tempo no comportamento do fluido em relação à viscosidade foi observada e comprovada o fenômeno da tixotropia, o qual foi preciso sua quebra no tempo de 40 min para que seja possível estudar a influência da temperatura na viscosidade. Ao analisar iogurtes integrais e desnatados de duas marcas diferentes observou-se que a concentração tem relação direta com a tensão de cisalhamento necessária ao escoamento do alimento, e que a altas temperaturas a tensão inicial era menor para todos os iogurtes estudados. Assim, constatou-se o comportamento dos iogurtes como de fluido pseudoplástico nas diferentes temperaturas e o melhor modelo que se ajustou aos dados foi o de Herschel-Bulkley.

### Abstract

The rheological behavior of yogurts can be influenced by the composition, the temperature of analysis and the tendency of the fluid to accommodate over time. The present study aimed to study the characterization of commercial yogurts using the methods of analysis of pH, acidity, ash and moisture, besides raising the important variables in the yogurt rheology. It was possible to verify in the characterization that the yogurts of the brands A and B were according to the current legislation. The study of temperature influence was performed at temperatures of 6, 36 and 45 ° C, which corresponds to storage temperature, mouth temperature and process temperature, respectively. The influence of time on the fluid behavior in relation to viscosity and the phenomenon of thixotropy were observed, which took its break in 40 min time to study the influence of temperature on viscosity. Analyzing whole and nonfat yogurt from two different brands, we observed that the concentration is directly related to the shear stress required for the food flow. It was found that at high temperatures the initial tension was lower for all yogurts studied. In order to determine the behavior of yogurts with temperature since yogurt was considered a pseudoplastic fluid and the data fit better in the Herschel-Bulkley model.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE TABELAS .....	x
1 INTRODUÇÃO .....	2
1.1 Objetivo geral .....	3
1.1.1 Objetivos específicos.....	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 Estudo da reologia .....	3
2.1.1 Modelos Reológicos .....	7
2.2 Reologia em alimentos .....	9
2.3 Efeito da temperatura na reologia de alimentos .....	9
2.4 Efeito da composição na reologia de alimentos .....	10
2.5 Iogurte .....	11
2.5.1 Processo de produção do iogurte.....	11
2.5.2 Tipos de iogurtes .....	16
2.5.3 Caracterização do iogurte .....	17
3 MATERIAIS E MÉTODOS .....	17
3.1 Materiais.....	17
3.1.1 Iogurtes .....	18
3.1.2 Viscosímetro.....	18
3.2 Metodologia.....	19
3.2.1 – Caracterização das amostras.....	20
3.2.1.1 Análise da acidez em ácido láctico .....	20
3.2.1.2 Análise do pH .....	20
3.2.1.3 Análise da umidade por secagem direta na estufa 105°C .....	21

3.2.1.4	Análise do teor de cinzas por secagem direta em estufa de 105 °C.....	21
3.2.2	Ensaio reológico .....	22
3.2.2.1	Determinação da quantidade de amostra .....	22
3.2.2.2	Determinação do tempo necessário para que o iogurte adquira a temperatura estabelecida pelo banho.....	22
3.2.2.3	Determinação dos limites de rotação do spindal .....	22
3.2.3	Comportamento da reologia com o tempo .....	22
3.2.3.1	Utilizando a mesma amostra de iogurte.....	23
3.2.3.2	Utilizando amostras diferentes de iogurte.....	23
3.2.4	Análise da reologia do iogurte em diferentes temperaturas .....	23
3.2.5	Ajuste de modelos.....	24
4	RESULTADO E DISCUSSÃO.....	2
4.1	Caracterização das amostras.....	2
4.2	Ensaio reológico .....	2
4.3	Comportamento da reologia com o tempo .....	3
4.3.1	Com a mesma amostra .....	3
4.3.2	Com amostras diferentes .....	4
4.3.3	Análise da reologia do iogurte com a temperatura .....	6
4.3.3.1	Amostra da marca A desnatado (AD) .....	6
4.3.3.2	Amostra da marca B desnatado (BD) .....	8
4.3.3.3	Amostra da marca A integral (AI).....	10
4.3.3.4	Amostra da marca B integral (BI).....	13
5	CONCLUSÃO .....	4
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	5

APÊNDICE A: MODELO DO PROGRAMA UTILIZADO NO VISCOSIMETRO, NAS TEMPERATURA DE 6, 36 E 45°C.....	8
APÊNDICE B: REOGRAMAS AJUSTADOS NOS MODELOS REOLÓGICOS APLICADOS AOS DADOS DO IOGURTE DA MARCA A DO TIPO DESNATADO....	9
APÊNDICE C: REOGRAMAS AJUSTADOS NOS MODELOS REOLÓGICOS APLICADOS AOS DADOS DO IOGURTE DA MARCA B DO TIPO DESNATADO..	12
APÊNDICE D: REOGRAMAS AJUSTADOS NOS MODELOS REOLÓGICOS APLICADOS AOS DADOS DO IOGURTE DA MARCA A DO TIPO INTEGRAL. ....	15
APÊNDICE E: REOGRAMAS AJUSTADOS NOS MODELOS REOLÓGICOS APLICADOS AOS DADOS DO IOGURTE DA MARCA B DO TIPO INTEGRAL. ....	19
ANEXO A: ESPECIFICAÇÕES DOS PARÂMETROS DO PROGRAMA RHEOCALC V3.3.....	23

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Classificação dos fluidos devido ao seu comportamento reológico ...	4
Figura 2: Gráficos dos perfis dos fluidos de acordo com a tensão e a taxa de cisalhamento .....	5
Figura 3: Fluxograma do processo de produção de iogurtes .....	12
Figura 4: Ilustração de montagem do equipamento.....	19
Figura 5: Foto da degradação do iogurte após 80 min de aplicação da taxa de deformação de 6 rpm. ....	3
Figura 6: Perfil da viscosidade do iogurte desnatado e integral a 6 °C.....	5
Figura 7: Perfil da viscosidade do iogurte desnatado e integral a 36 °C.....	5
Figura 8: Perfil da viscosidade do iogurte desnatado e integral a 45 °C.....	6
Figura 9: a) Apresentação do comportamento do iogurte AD na temperatura de 36°C. ....	7
Figura 10: a) Apresentação do comportamento do iogurte AD na temperatura de 45°C. ....	8
Figura 11: a) Apresentação do comportamento do iogurte BD na temperatura de 36°C .....	9
Figura 12: a) Apresentação do comportamento do iogurte BD na temperatura de 45°C. ....	10
Figura 13: a) Apresentação do comportamento do iogurte AI na temperatura de 6°C .....	11
Figura 14: a) Apresentação do comportamento do iogurte AI na temperatura de 36°C. ....	12
Figura 15: a) Apresentação do comportamento do iogurte AI na temperatura de 45°C. ....	13

Figura 16: a) Apresentação do comportamento do iogurte BI na temperatura de 6°C. ....14

Figura 17: a) Apresentação do comportamento do iogurte BI na temperatura de 36°C. ....15

Figura 18: a) Apresentação do comportamento do iogurte BI na temperatura de 45°C. ....16

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros físicos químicos do iogurte .....	17
Tabela 2: Modelos utilizados para o ajuste linear.....	24
Tabela 3: Dados da caracterização dos iogurtes integrais e desnatados. ....	2
Tabela 4: Resultados dos parâmetros dos modelos utilizados no ajuste dos dados do iogurte AD a 36°C.....	7
Tabela 5: Resultados dos parâmetros dos modelos utilizados no ajuste dos dados do iogurte AD a 45°C.....	8
Tabela 6: Resultados dos parâmetros dos modelos utilizados no ajuste dos dados do iogurte BD a 36°C.....	9
Tabela 7: Resultados dos parâmetros dos modelos utilizados no ajuste dos dados do iogurte BD a 45°C.....	10
Tabela 8: Resultados dos parâmetros dos modelos utilizados no ajuste dos dados do iogurte AI a 6°C. ....	11
Tabela 9: Resultados dos parâmetros dos modelos utilizados no ajuste dos dados do iogurte AI a 36°C. ....	12
Tabela 10: Resultados dos parâmetros dos modelos utilizados no ajuste dos dados do iogurte AI a 45°C. ....	13
Tabela 11: Resultados dos parâmetros dos modelos utilizados no ajuste dos dados do iogurte BI a 6°C. ....	14
Tabela 12: Resultados dos parâmetros dos modelos utilizados no ajuste dos dados do iogurte BI a 36°C. ....	15
Tabela 13: Resultados dos parâmetros dos modelos utilizados no ajuste dos dados do iogurte BI a 45°C. ....	16
Tabela 14: Comparação entre os modelos ajustados e os seus parâmetros nos iogurtes integrais e desnatados das marcas A e B.....	2



Tabela 15: Fotos das análises dos iogurtes em duas marcas diferentes A e B no viscosímetro. ....	3
---	---

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a população brasileira tem aderido ao consumo de iogurte no seu dia a dia. Se comparado com países vizinhos como a Argentina que consome em média cerca de treze quilos por habitante o Brasil consome em torno de 116,5 kg de leite por habitante/ano sendo contabilizado nesse valor todo o setor lácteo, o país tem espaço para ampliar sua produção e crescer cada vez mais nesse mercado com o crescimento da demanda de produção de produtos lácteos fermentados (EMBRAPA, 2019).

As incertezas do cenário econômico do país podem influenciar diretamente o setor lácteo, acarretando estagnação ou até mesmo redução no consumo interno de derivados (ZOCCAL, 2016). A produção nacional apresentou crescimento lento em que as importações aumentaram e as exportações diminuíram, devido à economia e política de países vizinhos. Segundo Zoccal (2016), com o crescimento do consumo de produtos lácteos fermentados pelos brasileiros, tende a aumentar a importação e a assim diminuir a exportação.

Com o comércio em expansão no setor lácteo, as indústrias buscam por inovações em seus produtos, como os iogurtes enriquecidos de proteínas que já vêm sendo comercializados como uma opção de pós-treino abrangendo o público que pratica atividade física com frequência, pois a proteína possui função principal de anabolismo da massa muscular segundo Farah et al. (2016), dentre outros comercializados como os iogurtes desnatados, integrais, tipo grego, tradicional, saborizados e naturais.

Para melhorar o desenvolvimento destes produtos e diminuir as perdas na indústria, é importante o estudo tecnológico com ênfase nas propriedades reológicas com o objetivo de projetar tubulações e equipamentos, no controle de qualidade da indústria, na avaliação da textura, incluindo mudanças físico-químicas que ocorrem durante seu processamento e o armazenamento e que afetam sua qualidade (FREITAS, 2015).

## **1.1 Objetivo geral**

Estudar o comportamento reológico de iogurtes comerciais de duas marcas diferentes, dos tipos integrais e desnatados.

### **1.1.1 Objetivos específicos**

- Caracterização físico-química dos iogurtes comerciais;
- Levantamento de variáveis importantes do processo na reologia de iogurtes;
- Estudo da influência da composição do iogurte nas propriedades reológicas;
- Estudo da influência do tempo no comportamento do fluido em relação à viscosidade aparente;
- Estudo da influência da temperatura na viscosidade aparente dos iogurtes.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Estudo da reologia**

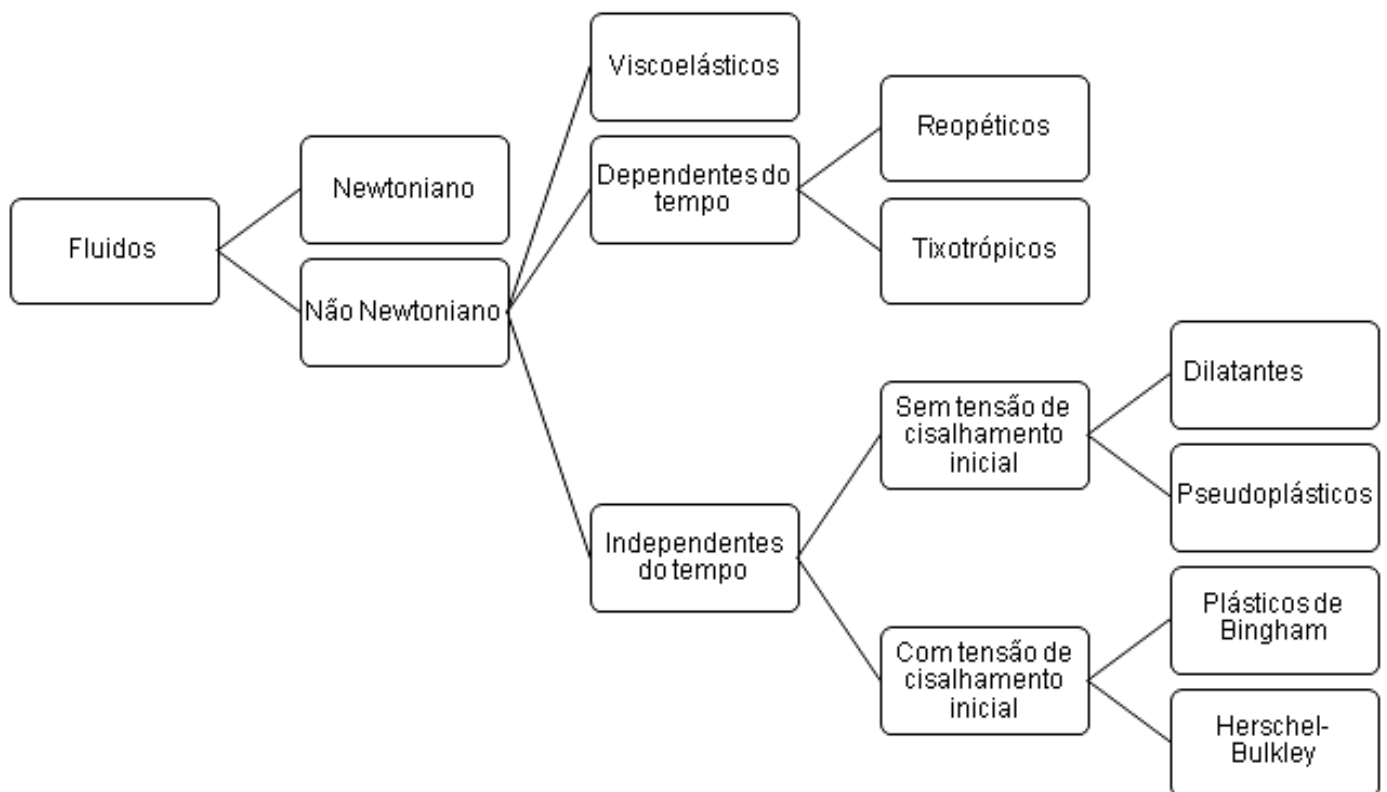
A viscosidade é uma característica importante em diversas áreas do processamento de alimentos. Pode ser considerada como a resistência interna do fluido ao escoamento. Uma explicação didática sobre o escoamento do fluido é dividi-lo em camadas, assim quando o mesmo flui sobre uma superfície, a camada superior flui mais rapidamente e devido às forças de interações moleculares arrasta todo o fluido, exceto a camada de fluido junto à superfície, que permanece estacionária (FELLOWS, 2006).

Segundo Toneli; Murr; Park (2005), reologia é o estudo do comportamento dos materiais quando se aplicam tensão ou deformação, sendo que de acordo com Fellows (2006), a tensão que move o fluido é conhecida como tensão de cisalhamento, proporcional a força de cisalhamento aplicada.

Os fluidos podem ser divididos em newtonianos e não newtonianos (Figura 1). Os newtonianos apresentam relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, sendo a viscosidade constante (VICENTE, 2015). Os fluidos não

newtonianos classificam-se com relação ao tempo (reopéticos e tixotrópicos) e com relação ao escoamento (pseudoplásticos e dilatantes), nos quais a viscosidade varia com o aumento da taxa de deformação.

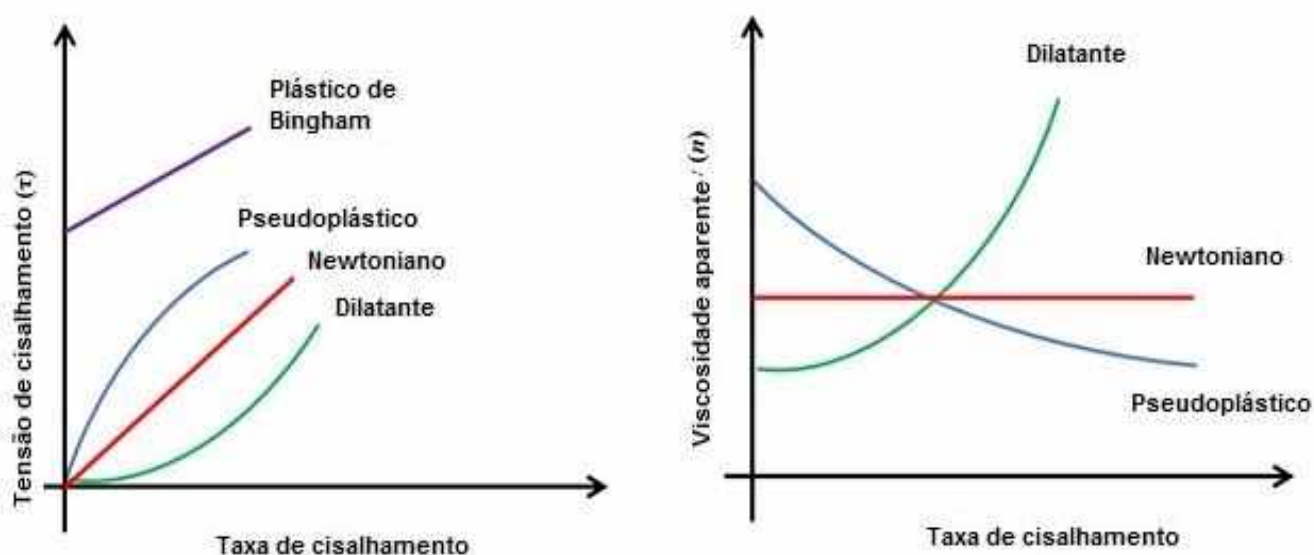
Figura 1: Classificação dos fluidos devido ao seu comportamento reológico



Fonte: Shiroma (2012).

O perfil de cada fluido pode ser observado através dos gráficos da Figura 2

Figura 2: Gráficos dos perfis dos fluidos de acordo com a tensão e a taxa de cisalhamento



Fonte: Adaptado de Silva; Silva Jr; Pinto Jr (2019).

### *Fluidos newtonianos*

Os fluidos newtonianos possuem a sua viscosidade constante se temperatura e pressão se mantiverem constantes, assim seguem a Lei de Viscosidade de Newton que relaciona a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação linearmente. A viscosidade somente é influenciada pela temperatura e pressão, sendo que essa classe abrange todos os gases e líquidos não poliméricos e homogêneos como ar, água, leite, mel e óleos vegetais (SHIROMA, 2012).

### *Fluidos não newtonianos*

Segundo Tabilo-Munizaga; Barbosa-Cánovas (2005), nos fluidos não newtonianos a viscosidade é função da taxa de deformação, ou seja, para uma taxa de deformação aplicado a tensão de cisalhamento correspondente permanece constante desde que a taxa não se modifique. Assim, a viscosidade passa a depender do tempo ou do cisalhamento aplicado. O número de fluidos não newtonianos é muito maior do que o de fluidos newtonianos.

#### *i. Viscoelásticos*

Silva; Silva Jr; Pinto Jr (2019), citam que os fluidos viscoelásticos são fluidos que possuem características de líquidos viscosos com propriedades elásticas e de

sólidos com propriedades viscosas. Assim essas substâncias quando submetidas à tensão de cisalhamento sofrem uma deformação e quando esta acaba, ocorre certa recuperação da deformação sofrida.

Os fluidos viscoelásticos possuem uma memória, ou seja, após sofrerem alguma perturbação, eles tenderão a voltar ao seu lugar de “conforto”. Para entender, pode-se pensar em uma mola quando é alongada e que após ser solta volta para sua posição inicial. No caso dos fluidos viscoelásticos, porém, o retorno para a posição inicial não sucede de maneira perfeita, já que não é um material elástico perfeito (COSTA, 2017).

### *ii. Dependentes do tempo*

Alguns fluidos apresentam mudança na viscosidade em função do tempo sob condições constantes de taxa de deformação:

**Reopéticos:** os fluidos reopéticos são aqueles que, apresentam um acréscimo da viscosidade aparente com o tempo de aplicação de tensão, para um valor fixo de tensão de cisalhamento e de temperatura. Assim a viscosidade volta ao seu valor inicial quando o fluido não está mais submetido à força cisalhante (STAKE, 2016).

**Tixotrópicos:** os tixotrópicos adquirem um estado semi-rígido quando estão em repouso e voltam a adquirir um estado de fluidez quando estão novamente em movimento (BRAGA, 2009). A diminuição da viscosidade ocorre devido a uma destruição gradual da estrutura (quebra de uma estrutura organizada no fluido) criada pelas partículas da fase dispersa, onde a força de ligação não é suficiente para resistir ao cisalhamento que é imposto. Alguns exemplos para os fluidos tixotrópicos: suspensões concentradas, emulsões, petróleo cru, ketchup e mel (STAKE, 2016).

### *iii. Independentes do tempo*

Segundo Nirenberg (2019), fluidos independentes do tempo são mais estudados por possuírem mais aplicações para a engenharia quando comparados aos dependentes do tempo.

***Sem tensão de cisalhamento inicial:***

**Pseudoplásticos:** segundo Shiroma (2012), geralmente são misturas contendo substâncias que quando estão em repouso apresentam moléculas no seu estado desordenado, assim elevando as velocidades de cisalhamento e quando as moléculas se alinham, diminuem a viscosidade aparente. Exemplos de fluidos pseudoplásticos: polpa de frutas, caldos de fermentação, melão de cana, chocolate fundido e óleo de motor (STAKE, 2016).

**Dilatantes:** o comportamento dos fluidos dilatantes é contrário ao dos pseudoplásticos, onde pode ser descrito como um sistema de espessamento por cisalhamento, ou seja, a viscosidade aumenta com o aumento da taxa de deformação em um tempo e taxa de cisalhamento constante. Esse tipo de comportamento não é muito comum entre alimentos (TETRA PAK, 1995).

***Com tensão de cisalhamento inicial:***

***Plásticos de Bingham:*** os fluidos de comportamento plástico de Bingham em repouso possuem estrutura com rigidez suficiente para resistir a tensões, ou seja, se comportam como um sólido. Porém, quando submetidos à tensão mínima de cisalhamento a estrutura se desintegra e o fluido possui um comportamento muito parecido com os fluidos newtonianos comportando-se linearmente em relação à variação de tensão e taxa de deformação. Exemplos: ketchup, pasta de dentes, massa de modelar e margarina (STAKE, 2016).

***Herschel-Bulkey:*** é conhecido também como fluido de potência com limite de escoamento ou fluido de potência modificado. De acordo com Stake (2016), assim como nos fluidos plásticos de Bingham, é necessária uma tensão inicial para começar a escoar, porém a relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação ao escoar não é linear. Exemplos: graxa e pasta de cimento.

**2.1.1 Modelos Reológicos**

O comportamento reológico é descrito utilizando os modelos empíricos, que conseguem relacionar a tensão de cisalhamento com a taxa de deformação (MENDONÇA, 2002).

Sendo a maioria dos alimentos fluidos tem comportamento não newtoniano, os modelos reológicos mais utilizados são a Lei da Potência (Ostwald de Waale), Herschel-Bulkley, Bingham, Casson e Mizrahi-Berk (VIDIGAL, 2009).

A Lei de Newton do fluido permite estudar o comportamento dos fluidos em um escoamento digirido por cisalhamento, e é obtido conforme Equação 1(STAKE, 2016)

$$\tau = \mu \frac{d\gamma}{dt}$$

(1)A Lei de Newton do fluido permite estudar o comportamento dos fluidos em um escoamento digirido por cisalhamento, e é obtido conforme Equação 1(STAKE, 2016)

Sendo  $\mu$  a viscosidade e  $\gamma$  a taxa da deformação.

O modelo da Lei da Potência segundo Costa (2017), é o mais simples e o mais utilizado. O cálculo pode ser obtido pela Equação 2

(2)

$$\tau = K \cdot \gamma^{n-1}$$

Sendo K o índice de consistência,  $\gamma$  é a taxa de deformação e n o índice de comportamento ao escoamento. Para fluidos onde  $n < 1$  é classificado como fluido pseudoplástico e apresenta uma diminuição na viscosidade aparente conforme aumenta a taxa de deformação, ao contrário dos fluidos dilatantes que tem  $n > 1$  e quando  $n=1$  o fluido é classificado como newtoniano (CRUZ, 2010).

O modelo de Herschel Bulkley é considerado uma extensão do modelo da Lei da Potência no qual é adicionado a tensão inicial ( $\tau_0$ ) (BEZERRA, 2010). O modelo é ajustado conforme Equação 3

$$\tau = K(\gamma)^n + \tau_0, \quad \text{para } \tau > \tau_0 \quad (3)$$



$$\gamma = 0, \quad \text{para } \tau < \tau_0$$

Assim, quando a tensão que for aplicada no fluido ultrapassar o valor da tensão inicial, o fluido irá se comportar como de acordo com a Lei da Potência (TONELI; MURR; PARK, 2005).

## **2.2 Reologia em alimentos**

Segundo Bezerra et al.(2009), quando se fala de alimentos é importante saber todas as suas propriedades dentre elas o comportamento reológico, sendo utilizado não só como medida de qualidade, mas também em projetos, avaliação e operação dos equipamentos da linha de processos.

### **2.2.1 Efeito da temperatura na reologia de alimentos**

Existem teorias que buscam entender o comportamento da viscosidade em relação à variação da temperatura, uma vez que, ao se aumentar a temperatura de um fluido, sua viscosidade diminui (VICENTE, 2015).

Nos fluidos newtonianos, a viscosidade mantém-se constante com a variação da taxa de deformação, sendo influenciada apenas por temperatura e pressão. Já nos fluidos não newtonianos, a viscosidade sofre alteração com a variação dos valores da taxa de deformação, podendo ou não depender do tempo de cisalhamento (BRAGA et al., 2013).

Um aumento da temperatura faz com que a viscosidade da fase líquida diminua, aumentando o movimento das partículas em suspensão, causando um decréscimo na viscosidade (VICENTE, 2015).

A redução da viscosidade dinâmica nos fluidos devido ao aumento da temperatura é atribuída ao aumento das distâncias intermoleculares provocadas durante o aquecimento. O aumento das distâncias intermoleculares reduz as forças de atração entre as moléculas, diminuindo a viscosidade dinâmica (CANCIAM, 2013).

É importante entender como o fluido se comporta do processo ao armazenamento e até a ingestão do mesmo. Segundo Santos (2013), durante os processos industriais os alimentos passam por mudanças de temperatura, com isso

as propriedades reológicas precisam ser analisadas para manter a qualidade do produto.

De acordo com Brasil (1999) as temperaturas de refrigeração e de congelamento devem estar de acordo com o alimento que se deseja armazenar. Um aspecto bastante importante é o fato de que o alimento uma vez refrigerado ou congelado deve ser mantido como tal para evitar alterações microbiológicas, químicas, nutricionais e também de ordem sensorial (textura, cor, sabor e aroma). Quanto mais rápido for o processo de congelamento de um produto, melhor será a sua estrutura e a sua condição após o seu descongelamento, pois os cristais formados durante o congelamento serão menores. Sendo que dentro de uma geladeira doméstica é possível alcançar temperaturas entre 6 e 10°C na parte inferior e de 2 a -2°C na parte superior.

A temperatura adotada para o ato de ingerir o produto, em geral, é a temperatura normal média do humano adulto sendo de 36°C e 38°C, quando medida na boca. O corpo humano é termicamente dividido em um núcleo central quente e uma camada externa mais fria. Nem todas as partes possuem a mesma temperatura e nem são afetadas pelos mesmos fatores. A temperatura corporal central, ou seja, a temperatura dos tecidos profundos do corpo permanece praticamente constante, com variação fisiológica de aproximadamente 0,6°C, salvo em casos de doenças febris (CAMARGO; FURLAN, 2011; ARAÚJO; FARO; LAGANÁ, 1992).

Segundo Koblitz (2016), a temperatura de processo do iogurte é considerada entre 42 a 45°C, considerando o processo em estado estacionário.

### **2.2.2 Efeito da composição na reologia de alimentos**

De acordo com Mendonça (2002), as características reológicas do iogurte podem ser afetadas pela adição de gordura e proteína e pode apresentar mudanças na viscosidade devido a variações de adição, às condições de estocagem e de incubação.

Segundo Koblitz (2016), o leite é composto por diferentes substâncias como gordura, proteínas, lactose, sais minerais e água sendo que esses constituintes variam de acordo com fatores genéticos, fisiológicos e ambientais. A lactose é o

constituente mais importante na fermentação sendo que ela é transformada em ácido láctico pela fermentação láctica.

A gordura do leite encontra-se como glóbulos protegidos por uma membrana protéica que evita os ataques enzimáticos, sendo que essa gordura do leite é composta por 99,5% de lipídios simples, complexos e ácidos graxos livres e 0,5% de colesterol, vitaminas lipossolúveis, hidrocarbonetos e alguns álcoois. Essa integridade dos glóbulos de gordura determina a estabilidade da gordura no leite, ou seja, qualquer alteração na membrana favorece a aproximação e aderência desses glóbulos de gordura, que emergem a superfície muito mais rapidamente do que em glóbulos isolados, resultando em uma perda da instabilidade da emulsão (KOBLITZ, 2016).

As proteínas do soro representam 20% do leite, são solúveis em pH 4,6, têm propriedades funcionais interessantes para a indústria alimentícia pela sua capacidade de formar géis e espumas. Algumas proteínas do soro sofrem desnaturação devido ao tratamento térmico aplicado no leite sendo que suas propriedades são alteradas, interferindo na coagulação enzimática e aumentando a capacidade de retenção de água da micela, por isto reduz a separação da água, conhecida como sinerése, pelo fato dessa redução a textura do produto fica mais atrativa para o consumidor (KOBLITZ, 2016).

Segundo Cruz (2017), a fortificação do teor de proteínas lácteas em torno de 5% melhora as propriedades reológicas do iogurte, assim a adição de leite em pó integral ou desnatado é largamente usada pela indústria na concentração de 3 a 4% e pode oscilar de 1 a 6%, melhorando a viscosidade, a textura e a consistência perceptíveis pelo consumidor e ao mesmo tempo reduzindo a sinerése.

## **2.3 Iogurte**

A popularidade do iogurte está relacionada cada vez mais com o modo de vida da população por conta da busca constante de saúde e praticidade.

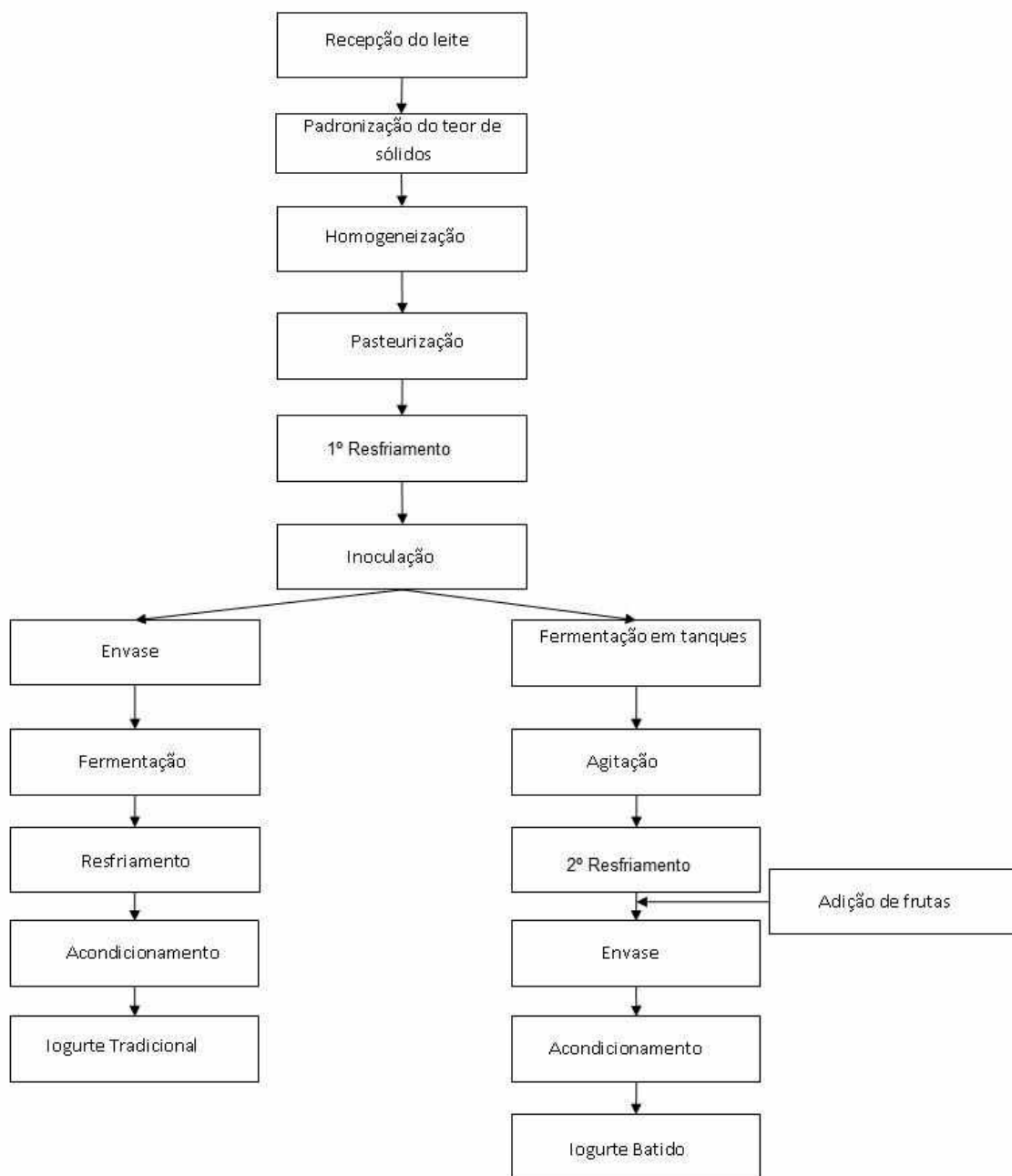
Por definição, o iogurte é um produto obtido pela fermentação láctica devido à ação de cultivos protosimbióticos de *Streptococcus salivarius subsp. thermophilus* e *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* aos quais podem acompanhar outras

bactérias ácidos-láticas que por sua atividade, contribuem para a determinação das características do produto final.

### **2.3.1 Processo de produção do iogurte**

As etapas de fabricação são praticamente as mesmas em relação aos tipos de iogurtes existentes, sendo: pré-tratamento do leite (pré-aquecimento, evaporação, homogeneização, pasteurização); incubação ou fermentação com adição de cultura; resfriamento; mistura; adição de sabores e aromas; envase e estocagem, conforme mostra a Figura 3

Figura 3: Fluxograma do processo de produção de iogurtes



Fonte: A autora.

### *Recepção da Matéria-Prima*

Na recepção da matéria prima na indústria, a primeira etapa é a retirada de amostras de leite para fazer testes básicos de fraude e da qualidade do leite recebido. Sendo o leite de vaca mais utilizado para fabricação de iogurte, esse leite precisa ser fresco, exposto as melhores condições sanitárias possíveis com baixas

concentrações de bactérias e ausência total de microrganismos patogênicos (CRUZ, 2017).

Segundo Koblitz (2016), para eliminação de impurezas utilizam-se dois métodos, primeiro a filtração que é utilizada para separar as partículas sólidas e as sujidades maiores do leite e depois se utiliza o método de clarificação que elimina bactérias mortas, sujidades menores e esporos bacterianos.

### *Padronização*

Pelo fato da qualidade do leite depender de alguns fatores é indicado que faça a padronização do mesmo. Essa operação pode ser feita para regular o teor de gordura e de proteína dos produtos lácteos fermentados. A melhor forma de atingir os teores desejados pode ser por meio da adição de ingredientes em pó, sob a forma de leite desnatado, concentrados, isolados ou proteína hidrolisada do leite ou soro do leite (CRUZ, 2017).

Na etapa de desnate ocorre a padronização da concentração de gordura do leite (KOBELITZ, 2016).

De acordo com Ordóñez (2005), dependendo do tipo de iogurte, o extrato seco de procedência láctea é diferente. No iogurte natural de consistência firme o enriquecimento chega até 16 a 18% enquanto no iogurte do tipo batido, embora requeira viscosidade elevada, só enriquece até 13 e 14% pois ele permite a adição de espessantes.

O desnate do leite pode ser feito de duas formas: natural ou artificial. Segundo Reis (2000), o desnate natural consiste em deixar o leite em repouso por aproximadamente 12 horas, onde a gravidade vai agir lentamente, fazendo com que os glóbulos de gordura que têm menor densidade subam para a superfície do leite. Para que o desnate seja bem feito é muito importante que o leite fique a uma temperatura baixa. Já no desnate artificial o leite é submetido a uma força centrífuga fazendo-o girar rapidamente. Devido á diferença de densidade, o creme é separado dos demais componentes. Este, em razão da sua menor densidade, se aproxima do eixo e o leite desnatado é projetado nas paredes da desnatadeira. Quando este leite é separado os produtos são eliminados por dois sifões: um para o creme e outro para o leite desnatado.

### *Homogeneização*

Para homogeneizar o leite, deve-se passá-lo através de um pequeno orifício a elevada pressão no homogeneizador, o que reduz o tamanho dos glóbulos de gordura e impede sua aderência e a formação da linha de nata (ORDÓÑEZ, 2005).

A homogeneização pode ocorrer em um estágio simples ou duplo, mas para fabricação de iogurte é realizado em apenas um estágio, com temperatura variando de 65 a 70°C e pressão de 20 a 25 MPa. Segundo Koblitz (2016), esse processo tem algumas vantagens como evitar a separação da gordura durante o transporte e armazenagem do leite e dos diferentes produtos, sendo indispensável para leite UHT, para leites fermentados e sorvetes; tornar o leite mais branco em razão do aumento dos glóbulos de gordura; e melhorar a palatabilidade, a viscosidade e a aparência geral do produto. Além disso, apresenta algumas desvantagens como: o aumento da sensibilidade em relação à luz e às lipases e diminuição da estabilidade das proteínas frente ao calor com possibilidade de desnaturação de parte das proteínas do soro.

### *Pasteurização*

Segundo Ordóñez (2005), o tratamento térmico pode variar de 75°C durante 15 segundos até um tratamento UHT a 133°C durante 1 segundo. Contudo, as condições ótimas são de 80 a 85°C durante 30 minutos em sistemas descontínuos e de 90 a 95°C durante aproximadamente 5 minutos em sistemas de fluxo contínuo.

Durante esse aquecimento do leite homogeneizado as proteínas do soro absorvidas ou não interagem fazendo uma interação rígida comparada com o leite aquecido não homogeneizado. A interação tornará o coagulo mais firme durante a fermentação e o tratamento térmico também diminui o número de microrganismos patogênicos e de células vegetativas de microrganismos presentes no leite cru, além de fornecer um meio de crescimento para as culturas iniciadoras (CRUZ, 2017).

### *Primeiro resfriamento*

Após a pasteurização, resfria-se o produto em 40 a 45°C para que possa adicionar o inóculo em condições favoráveis para que a fermentação prossiga.

#### *Inóculo e fermentação*

Após o leite ser resfriado (42-45°C) adiciona-se de 1 a 2% do inóculo contendo os microrganismos apropriados, bem homogeneizados, quebrando-se todos os grumos e, após a adição do fermento, ele deve ser homogeneizado novamente por cerca de 2 minutos, para a sua distribuição completa (REIS, 2000).

O inóculo pode ser formado por um ou mais microrganismos e geralmente por várias cepas da mesma espécie. As bactérias são selecionadas por sua capacidade de produzir ácido láctico a partir da lactose e por outras aptidões metabólicas que apresentam papel importante no sabor e aroma do produto final. As bactérias mais utilizadas se restringem em duas: *Streptococcus thermophilus* e *Lactobacillus bulgaricus*. O tempo de incubação necessário para obter o iogurte é cerca de 4 horas a 42°C (ORDÓÑEZ, 2005).

Após a adição do inóculo, o iogurte tradicional é envasado e posteriormente fermentado, enquanto no processo do iogurte batido a mistura segue para tanques onde ocorrerá a fermentação e logo após é envasado, conforme apresentado na Figura 3.

#### *Acondicionamento*

A embalagem deve seguir alguns critérios como: ser impermeável aos sabores, corantes, odores do ambiente, oxigênio e contaminações externas; resistir à acidez do iogurte, a golpes e umidade, ao transporte e armazenamento e não permitir exposição do produto à luz. Uma boa opção para produção em pequena escala é a embalagem de polietileno que possui também facilidade para o fechamento térmico (REIS, 2000).

#### *Segundo resfriamento*

Ocorre após a incubação, o segundo resfriamento, tem a finalidade de frear a fermentação, os microrganismos e suas enzimas, sendo realizada em duas etapas. A primeira etapa consiste em abaixar a temperatura a 18- 20°C em, no máximo, 30 minutos, o que pode ser feito com água a temperatura ambiente. No caso do iogurte



batido, pode-se fazer a essa mesma temperatura a adição de ingredientes como frutas, corantes, etc., que devem ser homogeneizados na massa. Na segunda etapa deve-se fazer o resfriamento a 10°C, sendo que, o aparecimento do sabor característico ocorre durante as 12 horas após o resfriamento, proporcionando as características finais de um bom iogurte. O próximo passo, no caso de iogurte batido, será a quebra da coalhada com agitação, visando obter uma massa de textura homogênea. O iogurte tradicional é incubado dentro da própria embalagem e não sofre o processo de agitação (REIS, 2000).

Recomenda-se que a temperatura final do iogurte não ultrapasse 5°C, desse modo tem a coexistência de pH baixo e temperaturas de refrigeração, que atuam em sinergia para manter iogurte em um estado apropriado para o consumo por, no mínimo, 15 ou 20 dias. Recomenda-se também o resfriamento lento pelo fato de que o resfriamento rápido pode afetar a estrutura do coágulo, levando a separação do soro devido o intenso encolhimento das proteínas do coágulo que afeta a capacidade de retenção de água (ORDÓÑEZ, 2005).

### **2.3.2 Tipos de iogurtes**

Segundo a IN N°46 do MAPA, Brasil (2011), existem, atualmente, no mercado três tipos de iogurte classificados de acordo com o processo de elaboração, adição de ingredientes, composição, consistência e textura:

- iogurte tradicional: no qual o processo de fermentação ocorre dentro da própria embalagem, não sofre homogeneização e o resultado é um produto firme, mais ou menos consistente;
- iogurte batido: o processo de fermentação ocorre em fermentadores ou incubadoras com posterior quebra do coágulo;
- iogurte líquido: o processo de fermentação é realizado em tanques, é comercializado em embalagens plásticas tipo garrafa ou do tipo cartonadas.

De acordo com a presença de *flavor*:

- iogurte natural: ausência de *flavor*;
- iogurte com frutas;
- iogurte com aromas: presença de flavorizantes

De acordo com o teor de matéria gorda:

- Com creme: matéria-gorda mínima de 6g/100g;
- Integrais: matéria-gorda mínima de 3g/100g;
- Parcialmente desnatados: matéria-gorda máxima de 2,9g/100g;
- Desnatados: matéria-gorda máxima de 0,5g/100g.

### 2.3.3 Caracterização do iogurte

O padrão de qualidade e identidade do iogurte é baseado nos parâmetros físicos químicos apresentados na IN nº 46, de 23 de outubro de 2011, regida pelo MAPA Brasil (2011), apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros físicos químicos do iogurte

Matéria gorda láctea (g/100 g)				Acidez (g de ácido lático/100 g)	Proteínas lácteas (g/100 g)
Com creme	Integral	Parcialmente Desnatado	Desnatado		
Mín. 6,0	3,0 a 5,9	0,6 a 2,9	Máx. 0,5	0,6 a 2,0	Mín. 2,9

Fonte: Brasil (2011).

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 Materiais

Este trabalho foi desenvolvido nos Laboratórios didáticos do curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia campus Patos de Minas.

### 3.1.1 Iogurtes

Os iogurtes foram adquiridos em estabelecimentos na cidade de Patos de Minas- MG. Foram utilizados iogurtes de duas marcas diferentes (Marca A e Marca B) e para cada marca foram analisados iogurtes do tipo integral e desnatado no sabor natural.

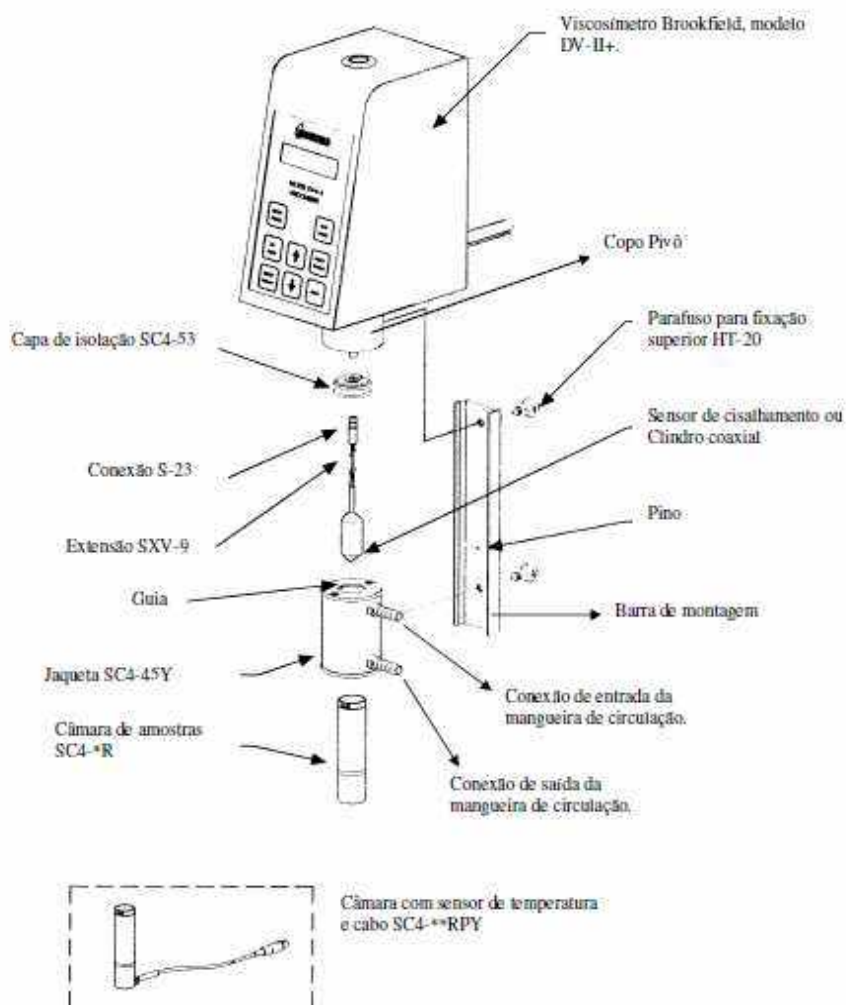
Os produtos analisados foram denominados da seguinte forma:

- Iogurte AI – Iogurte da marca A do tipo integral;
- Iogurte AD - Iogurte da marca A do tipo desnatado;
- Iogurte BI – Iogurte da marca B do tipo integral;
- Iogurte BD - Iogurte da marca B do tipo desnatado.

### 3.1.2 Viscosímetro

Para a determinação dos dados de reologia foi utilizado o viscosímetro modelo RVDV-II-Pro marca Brookfield com dispositivo para pequenas amostras – SSA, utilizando o *spindle* 21, acoplado a um banho ultratermostático SL 152, o qual manteve os experimentos nas temperaturas específicas dos experimentos, conforme descrito no Apêndice A. O software de análise de dados foi o Rheocalc V3.3 cujas especificações se encontram no Anexo A.

Figura 4: Ilustração de montagem do equipamento



Fonte: Manual do equipamento.

O viscosímetro possui vários sistemas de medida, mas nos experimentos do presente trabalho utilizou-se o sensor de cilíndricos concêntricos, sendo o cilindro externo, um recipiente encamisado, o qual permitia o controle da temperatura da amostra pela passagem de água a temperatura controlada pelo banho termostatzado acoplado ao equipamento. Para as análises utilizou-se um cilindro coaxial interno como apresentado na Figura 4.

### 3.2 Metodologia

Os ensaios para determinação do comportamento dos iogurtes quanto a sua reologia foram realizados em triplicata.

### 3.2.1 – Caracterização físico-química das amostras

As análises de caracterização físico-química das amostras foram realizadas utilizando como referência o livro do Instituto Adolfo Lutz (2008), o capítulo de Leites fermentados, considerando amostras do mesmo lote.

Para preparar as amostras para as análises, foi feita uma ação de agitação a fim de homogeneizá-las por completo.

#### 3.2.1.1 *Análise da acidez em ácido láctico*

Utilizou-se 10 mL de amostra, de água isenta de gás carbônico e 5 gotas da solução de fenolftaleína. A titulação ocorreu utilizando uma solução de hidróxido de sódio 0,1 M, até o aparecimento de uma coloração rósea. Foi utilizado um branco com 10 g de água e 10 mL de água para garantir que o pH da água não influenciava nos resultados. A determinação da acidez foi determinada de acordo com a Equação 4

$$\frac{V.f.0,9}{P} = g \text{ de ácido láctico } \%m/v \quad (4)$$

Sendo,

V: volume em mL de solução de hidróxido de sódio 0,1 M gasto na titulação.

P: massa em g ou volume em mL da amostra.

0,9: fator de conversão para o ácido láctico

f: fator da solução de hidróxido de sódio 0,1 M.

#### 3.2.1.2 *Análise do pH*

Utilizou-se 10 g de amostra diluída com 100 mL de água. O pH foi determinado num medidor de pH de bancada operando-o de acordo com as instruções do manual do fabricante.

### 3.2.1.3 *Análise da umidade e sólidos totais*

Utilizou-se 10 g de amostra em cada cápsula de porcelana, previamente tarada e identificada. As cápsulas foram inicialmente aquecidas na estufa 105°C por 5 horas. Em seguida elas foram resfriadas em dessecador até a temperatura ambiente, pesadas e o procedimento foram repetidos até peso obter constante. O teor de sólidos totais foi determinado de acordo com a Equação 5 e a porcentagem de umidade foi determinada de acordo com a Equação 6.

$$\frac{100.N}{P} = \text{sólidos totais a } 105^{\circ}\text{C } \%m/m \quad (5)$$

Sendo,

N: perda de massa em g da amostra após secagem

P: massa em gramas da amostra.

$$\text{Umidade} = 100 - \text{sólidos totais} \quad (6)$$

### 3.2.1.4 *Análise do teor de cinzas*

A amostra previamente seca na estufa a 105°C foi transferida para a mufla a 550°C e aquecida pelo período de 12 horas. Em seguida foi resfriada em dessecador até temperatura ambiente e pesada. O teor de cinzas foi determinado de acordo com a Equação 7

$$\frac{100.P}{A} = \text{resíduo por incineração (cinzas) } \%m/v \quad (7)$$

Sendo,

P: massa em g de resíduo.

A: massa em g da amostra inicial.

### **3.2.2 Ensaios reológicos**

#### *3.2.2.1 Determinação da quantidade de amostra*

Realizou-se um teste para determinar a massa de amostra a ser utilizada nos experimentos para garantir a repetibilidade das condições dos ensaios. Foi inserido um volume de iogurte com ajuda de uma pipeta de Pasteur na câmara de amostra antes de acoplar o *spindle* e, depois de acoplado, verificou-se todo o volume necessário para que a amostra estivesse submergindo o *spindle* por completo garantindo a realização dos experimentos futuros. O teste foi realizado em triplicata para estabelecer a massa padrão que foi utilizada em todas as análises.

#### *3.2.2.2 Determinação do tempo necessário para que o iogurte adquira a temperatura estabelecida pelo banho*

O teste do tempo necessário para que o iogurte atinja a temperatura especificada no experimento, de 6, 36 e 45°C foi realizado de duas formas diferentes, com objetivo de verificar a melhor condição de trabalho. Na primeira, ligou-se o banho conectado a jaqueta e após a água do banho atingir a temperatura desejada foi inserido a câmara de amostra, já preenchida com o volume de iogurte a ser analisado e conectada ao sensor de temperatura, e acionou-se o cronômetro. Na segunda, acionou-se o cronômetro no momento que se ligou o banho conectado a jaqueta juntamente com a câmara de amostra, já preenchida com o volume a ser analisado e o sensor de temperatura.

#### *3.2.2.3 Determinação dos limites de rotação do spindle*

Realizou-se o teste de rotação, com o objetivo de analisar o máximo e o mínimo de rotações em cada temperatura a ser trabalhada. De acordo com o manual, a velocidade do viscosímetro quando controladas manualmente variam em 18 velocidades de rotação, quando controlada pelo programa Rheocalc pode variar de 1 a 200 rpm.

### **3.2.3 Comportamento da reologia com o tempo**

Com uma rotação fixa previamente estabelecida pela análise anterior, foi medida a viscosidade de cada produto com o tempo, mantendo controladas as

temperaturas de análise em 6°C, 36°C e 45°C, utilizando o viscosímetro no seu controle manual.

#### *3.2.3.1 Utilizando a mesma amostra de iogurte*

Com a mesma amostra de iogurte foi realizada as medidas de viscosidade com o tempo nas três temperaturas. A análise foi realizada em um tempo de 180 segundos com intervalo de 5 segundos, resultando em um total de 36 valores de viscosidade. As medidas foram feitas em duplicata sem troca de amostra ao mudar a velocidade ou temperatura de medida. Em cada amostra e em cada temperatura de análise foi testado a rotação adequada para ela, determinada como descrito no tópico 3.2.2.3.

#### *3.2.3.2 Utilizando amostras diferentes de iogurte*

Para cada rotação e cada temperatura específica foi utilizada uma nova amostra de iogurte. Assim, com as mesmas rotações da análise do item 3.2.3.1. foi medido em um tempo maior igual a 60 min, para garantir a visualização do comportamento reológico com o tempo, em intervalos de 3 min, resultando em um total de 20 análises de viscosidade.

### **3.2.4 Análise da curva de escoamento do iogurte em diferentes temperaturas**

As análises da curva de escoamento foram realizadas a temperatura de 6, 36 e 45°C. Essas temperaturas foram escolhidas, pois referem-se à temperatura de armazenamento, temperatura da boca e temperatura de processo, respectivamente. As análises foram realizadas com velocidade de rotação de 6 a 60 rpm em cada temperatura. As medidas foram realizadas a cada 30 s, utilizando a programação no Rheocalc V3.3 descrita no Apêndice A, totalizando 110 pontos de taxa de deformação por tensão de cisalhamento. Para a realização das medidas em cada teste foi realizado a quebra da tixotropia dos iogurtes por um tempo de 40 minutos, sendo que as análises não ultrapassaram o tempo de 60 minutos, pois segundo Mendonça (2002), após este tempo toda a estrutura do iogurte é degradada por completo.



### 3.2.5 Ajuste de modelos

Para determinar o modelo em que os dados do comportamento reológico dos iogurtes analisados melhor se ajustaram, foram testados os modelos apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Modelos utilizados para o ajuste linear..

Modelo	Equação	Equação Linearizada
Lei de Newton	$\tau = \mu \frac{d\gamma}{dt}$	-
Lei da Potência	$\tau = K(\gamma)^n$	$\ln(\tau) = \ln(k) + n \cdot \ln(\gamma)$
Herschel-Bulkley	$\tau = K(\gamma)^n + \tau_0$	$\ln(\tau - \tau_0) = \ln(k) + n \cdot \ln(\gamma)$

Fonte: A autora.

Segundo Marino (2017), para o cálculo da tensão inicial ( $\tau_0$ ) utilizada no modelode Herschel Bukley, foi utilizado a Equação 8, em que o  $\tau_m$  é a tensão de cisalhamento correspondente a média geométrica da taxa de deformação, a média geométrica pode ser calculada pela Equação 9, sendo  $\gamma_{min}$  é a menor taxa de deformação medida e  $\gamma_{max}$  a maior taxa de deformação medida; o  $\tau_{min}$  é o menor valor de tensão de cisalhamento medido, o  $\tau_{max}$  é o maior valor de tensão de cisalhamento medido.

$$\tau_0 = \frac{\tau_m^2 - \tau_{min} * \tau_{max}}{2 * \tau_m - \tau_{min} - \tau_{max}} \quad (8)$$

$$\gamma_m = \sqrt{\gamma_{min} * \gamma_{max}} \quad (9)$$

A melhor forma de observar qual modelo se ajustou aos dados, é aquele que obteve o maior  $R^2$  e o menor Erro Relativo, que pode ser calculado conforme Equação 10, sendo  $x_i$  o valor da tensão de cisalhamento do dado de entrada

correspondente a uma taxa de deformação,  $y_i$  o valor da tensão cisalhante calculado pelo modelo reológico correspondente a mesma taxa de deformação e  $n$  é o número total de entradas (MARINO, 2017).

$$ErroRelativo = \left( \frac{\sum_{i=0}^n \left| \frac{(x_i - y_i)}{x_i} \right|}{n} \right) \quad (10)$$

## 4 RESULTADO E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização das amostras

Para a análise de secagem direta na estufa o processo durou 8 h e a análise das cinzas na mufla foi realizada após 12h. O teor de proteínas, gordura total e gordura saturada são os valores descritos nas embalagens dos iogurtes comerciais. Os dados da caracterização dos materiais estão expostos na Tabela 33.

Tabela 3: Dados da caracterização dos iogurtes integrais e desnatados.

Amostra	pH	Cinzas (%m/v)	Sólidos totais (%m/m)	Umidade (%)	Acidez (%m/v)	Proteína (g)	Gordura total (g)	Gordura saturada (g)	Embalagem
AD	4,27	0,85	11,30	88,70	0,89	8	0	0	170 g
BD	4,37	0,92	9,58	90,42	0,74	5,8	0	0	160 g
AI	4,33	0,81	13,58	86,42	0,88	7,7	6	3,6	170 g
BI	4,28	0,68	14,26	85,74	0,92	6,8	7	4,4	170 g

(AD- iogurte marca A do tipo desnatado; BD- iogurte da marca B.do tipo desnatado; AI- iogurte marca A do tipo integral; BI- iogurte da marca B do tipo integral.)

Fonte: A autora.

Os valores de pH, apresentados na Tabela 2, para todos iogurtes analisados foram semelhantes e se enquadram na faixa estabelecida de 3,6 a 4,5 pela legislação brasileira (BRASIL, 2000). Segundo Mathias et al. (2013) e Mühlbauer et al. (2012), valores de pH menores do que 4 e maiores que 4,5 podem promover a sinérese do iogurte, em função da excessiva repulsão de cargas, alterando suas características reológicas e sensoriais para os consumidores.

A acidez encontrada nas quatro amostras está entre 0,6 a 2,0, conforme valores especificados por Brasil (2011) e Cruz (2017).

O teor de sólidos totais, e consequentemente de umidade obtidos estavam de acordo com os valores esperados, visto que o iogurte geralmente tem em sua composição um conteúdo de água de 85 e 95% (PORTELINHA, 2013). As variações de sólidos totais obtiveram resultados diferentes aos encontrados nos trabalhos de Mühlbauer et al. (2012) e Mathias et al. (2013).

O teor de cinzas não é contemplado pela legislação vigente, mas os valores estão de acordo com Braga; Assis Neto; Vilhena (2012) e Silveira et al. (2017).

Os teores de proteínas e gorduras estavam de acordo com a legislação do MAPA (BRASIL, 2000).

## **4.2 Ensaios reológicos**

A partir do teste para definição da quantidade de amostra a ser utilizada na câmara do viscosímetro, observou-se em todas as análises, que a quantidade de 9 g de iogurte comercial correspondeu a quantidade ideal de preenchimento da câmara acoplada com o *spindle*.

Com objetivo de definir o tempo necessário para que as amostras de iogurtes na câmara do viscosímetro atingissem a temperatura de trabalho foram realizados alguns experimentos. Neles, observou-se que a temperatura inicial da amostra e a temperatura ambiente influenciavam diretamente no tempo que a amostra levava para atingir a temperatura de trabalho propiciada pelo banho termostaticado. Assim, para iniciar cada experimento decidiu-se observar e aguardar a temperatura da amostra atingir o valor de trabalho.

No teste de rotação foram definidas as rotações de 6 a 60 rpm como os valores mínimos e máximos possíveis utilizando o viscosímetro da marca Brookfield e modelo RVDV-II-Pro, para se obter a maior quantidade de dados nas análises.

### **4.3 Comportamento da reologia com o tempo**

#### **4.3.1 Com a mesma amostra**

Foi possível observar em testes preliminares que utilizar amostras diferentes para cada rotação é essencial, visto existe uma acomodação da amostra com o tempo de aplicação da velocidade de rotação. Por isso, em todos os experimentos seguintes utilizou-se uma amostra nova de iogurte.

As análises da viscosidade no presente trabalho não ultrapassaram o tempo de 60 min, pois após isso ocorre a degradação do iogurte como pode ser visto na

Figura 5, confirmando os dados de Mendonça (2002).

Figura 5: Foto da degradação do iogurte após 80 min de aplicação da taxa de deformação de 6 rpm.

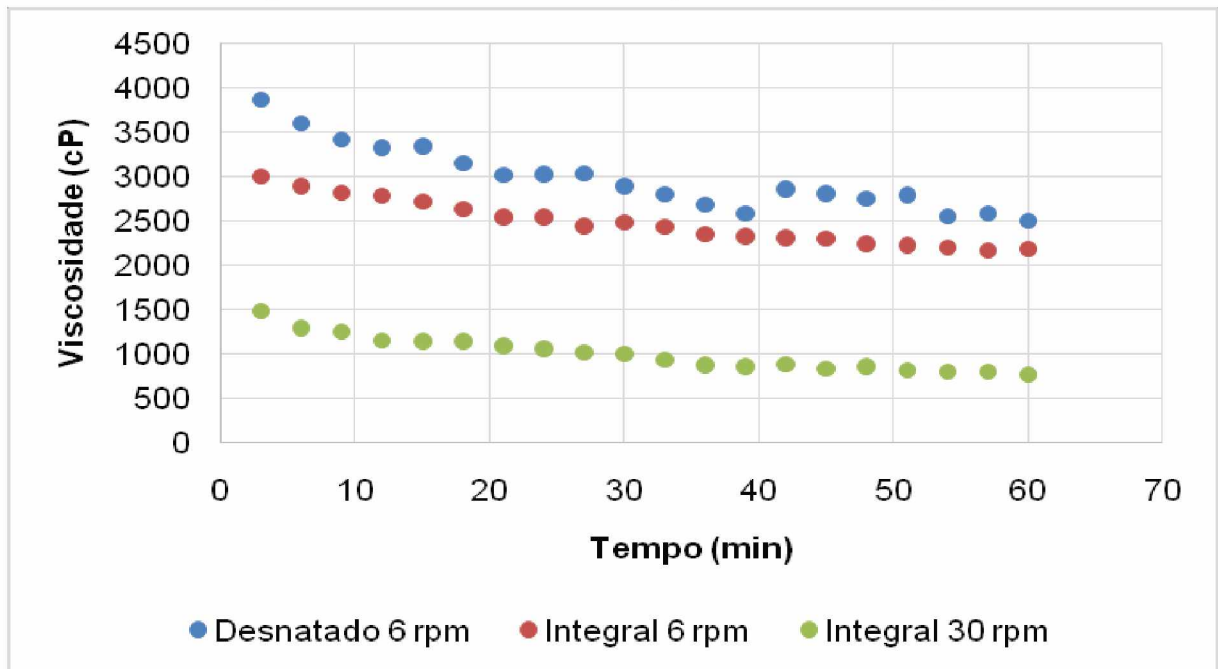


Fonte: A autora.

#### **4.3.2 Com amostras diferentes**

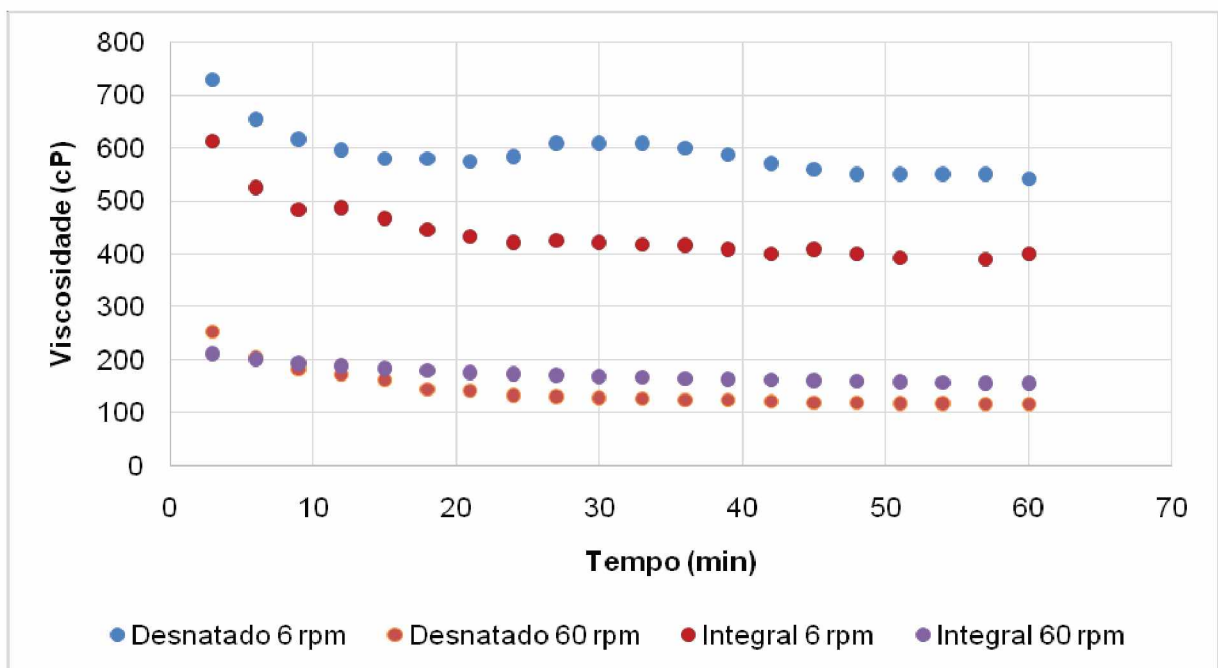
Ao utilizar amostras diferentes de iogurte, sendo elas da mesma marca, em cada experimento foi possível observar o comportamento dos iogurtes integrais e desnatados para cada temperatura estudada, que correspondem a temperatura de armazenamento (6°C), temperatura da boca (36°C) e temperatura do processo (45°C), conforme Figuras 6, 7 e 8.

Figura 6: Perfil da viscosidade do iogurte desnatado e integral a 6 °C.



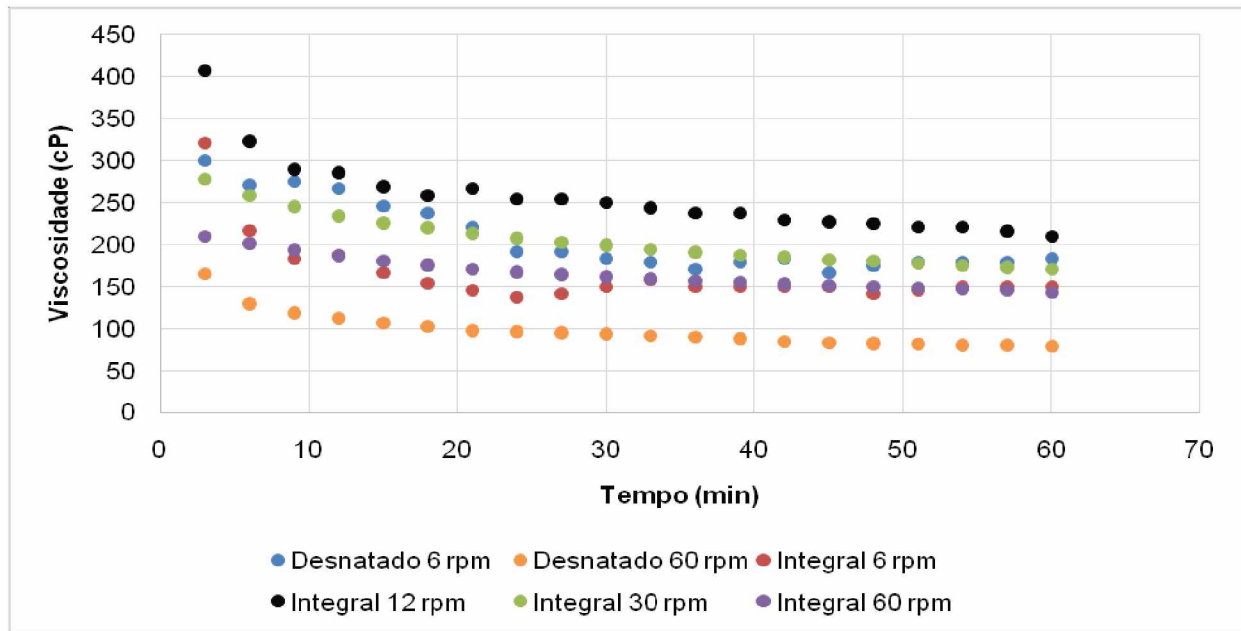
Fonte: A autora.

Figura 7: Perfil da viscosidade do iogurte desnatado e integral a 36 °C.



Fonte: A autora.

Figura 8: Perfil da viscosidade do iogurte desnatado e integral a 45°C.



Fonte: A autora.

Pode-se observar nas Ao utilizar amostras diferentes de iogurte, sendo elas da mesma marca, em cada experimento foi possível observar o comportamento dos iogurtes integrais e desnatados para cada temperatura estudada, que correspondem a temperatura de armazenamento (6°C), temperatura da boca (36°C) e temperatura do processo (45°C), conforme Figuras 6, 7 e 8.

Figura 6, Figura 7 e Figura 8 um comportamento semelhante nas amostras integrais e desnatadas em todas as temperaturas estudadas. Observou-se a queda da viscosidade com o tempo em todas as amostras o que comprova a presença do fenômeno de tixotropia, sendo que sua quebra foi constatada na maioria dos resultados a partir de 40 minutos como observado por Mendonça (2002).

As viscosidades obtidas nos iogurtes desnatados a temperatura de 6°C apresentaram resultados muito aleatórios após 40 min, constata-se pela Figura 6, assim as análises posteriores para o iogurte desnatado foram realizadas apenas nas temperaturas de 36 e 45°C.

### 4.3.3 Análise da reologia do iogurte com a temperatura

#### 4.3.3.1 Amostra da marca A desnatado (AD)

O comportamento do iogurte da marca A desnatado (AD) analisado na temperatura de 36°C está apresentado na Figura 9. Observa-se pela Fig. 9a que seu comportamento se assemelha a fluidos pseudoplásticos. Ao ajustar os modelos de reologia aplicados a alimentos aos dados, observou-se que o modelo da Lei de Newton não se ajustou (Fig. 9b, Apêndice B). Os modelos de Lei da Potência (Fig. 9c, Apêndice B) e Herschel-Bulkley (Fig. 9d, Apêndice B) se ajustaram melhor aos dados, sendo que o modelo que obteve o menor erro e o maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi o de Herschel-Bulkley se comparado com a Lei da Potência, conforme pode ser visto na Tabela 4.

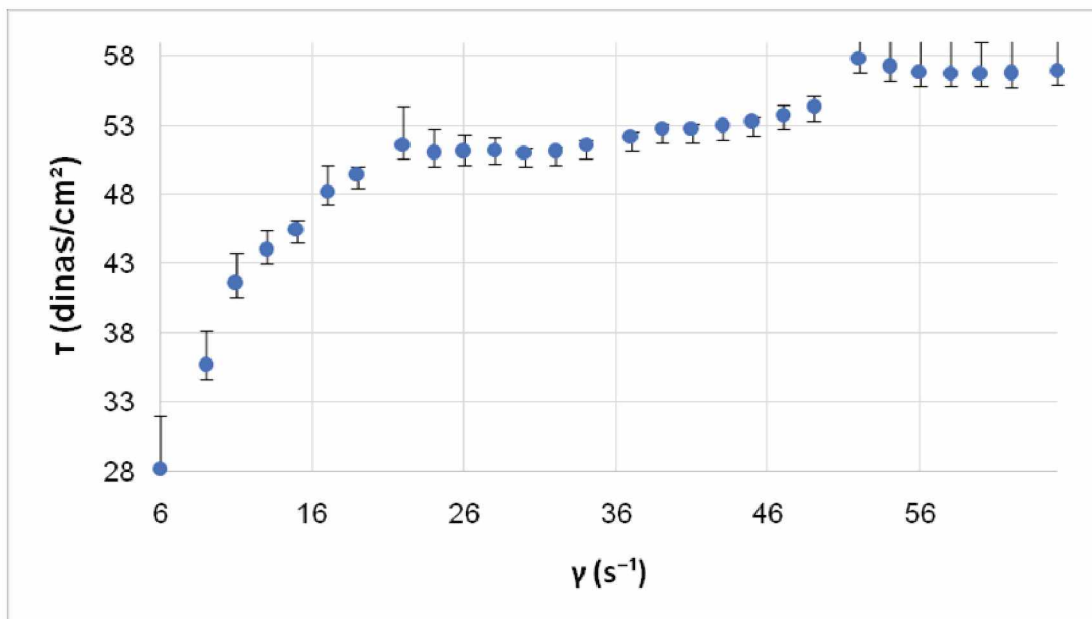
Tabela 4: Resultados dos parâmetros dos modelos utilizados no ajuste dos dados do iogurte AD a 36°C

Modelo	$\tau_0$	N	$R^2$	Erro Relativo
Lei de Newton	-	-	0,717	0,008
Lei da Potência	-	0,153	0,912	0,072
Herschel Bulkley	25,95	0,297	0,923	0,022

Fonte: A autora.



Figura 9: a) Apresentação do comportamento do iogurte AD na temperatura de 36°C.



Fonte: A autora.

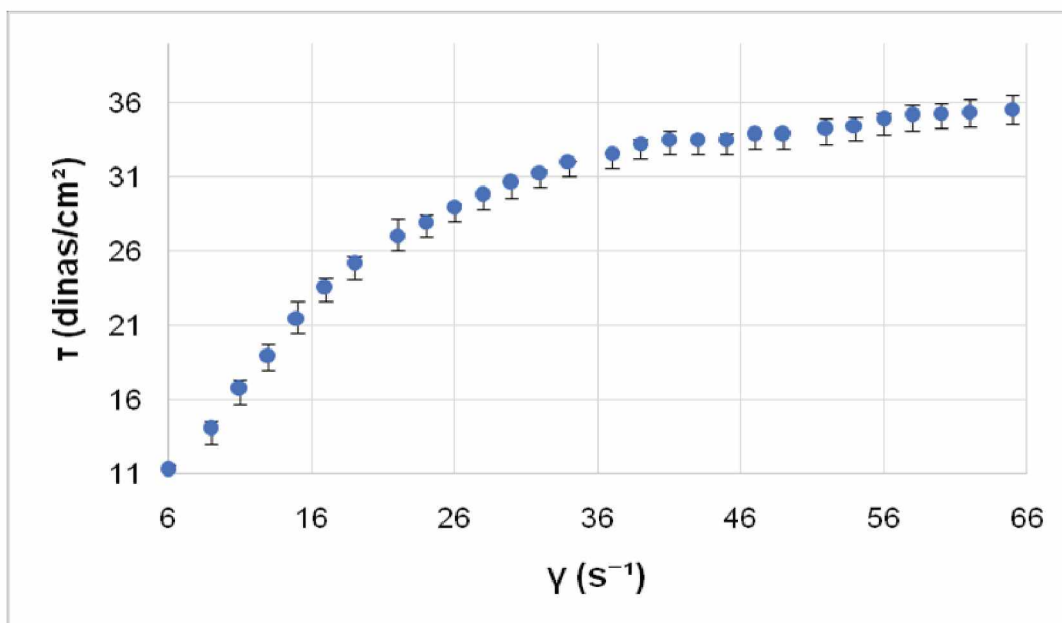
O comportamento do iogurte da marca A desnatado (AD) analisado na temperatura de 45°C está apresentado na Figura 10. Observa-se pela Fig. 10a que seu comportamento se assemelha a fluidos pseudoplásticos. Ao ajustar os modelos de reologia aplicados a alimentos aos dados, observou-se que o modelo da Lei de Newton não se ajustou (Fig. 10b, Apêndice B). Os modelos de Lei da Potência (Fig. 10c, Apêndice B) e Herschel-Bulkley (Fig. 10d, Apêndice B) se ajustaram melhor aos dados, sendo que o modelo que obteve o menor erro foi o de Herschel-Bulkley se comparado com a Lei da Potência, que obteve o maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ), conforme pode ser visto na Tabela 5.

Tabela 5: Resultados dos parâmetros dos modelos utilizados no ajuste dos dados do iogurte AD a 45°C.

Modelo	$\tau_0$	N	$R^2$	Erro Relativo
Lei de Newton	-	-	0,806	0,023
Lei da Potência	-	0,311	0,992	0,002
Herschel Bulkley	8,02	0,165	0,911	0,0003

Fonte: A autora.

Figura 10: a) Apresentação do comportamento do iogurte AD na temperatura de 45°C.



Fonte: A autora.

#### 4.3.3.2 Amostra da marca B desnatado (BD)

O comportamento do iogurte da marca B desnatado (BD) analisado na temperatura de 36°C está apresentado na Figura 11. Observa-se pela Fig. 11a que seu comportamento se assemelha a fluidos pseudoplásticos. Ao ajustar os modelos de reologia aplicados a alimentos aos dados, observou-se que o modelo da Lei de Newton não se ajustou (Fig. 11b, Apêndice C). Os modelos de Lei da Potência (Fig. 11c, Apêndice C) e Herschel-Bulkley (Fig. 11d, Apêndice C) se ajustaram melhor aos dados, sendo que o modelo que obteve o menor erro foi o de Herschel-Bulkley se comparado com a Lei da Potência, que obteve o maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ), conforme pode ser visto na Tabela 6.

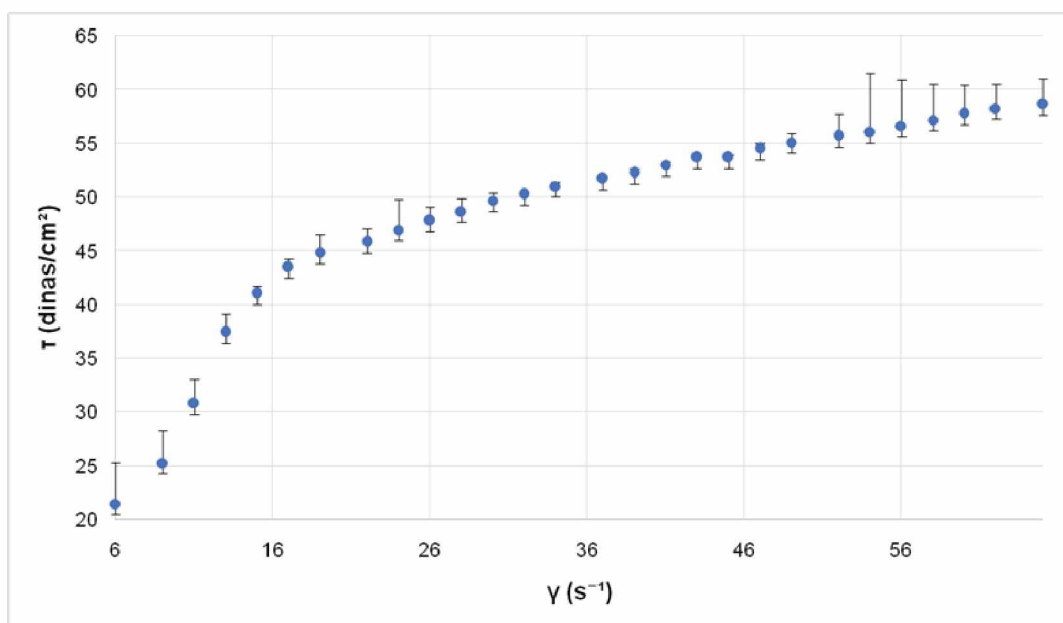
Tabela 6: Propriedades dos modelos utilizados no ajuste dos dados do iogurte BD a 36°C.

Modelo	$\tau_0$	N	$R^2$	Erro Relativo
Lei de Newton	-	-	0,801	0,017
Lei da Potência	-	0,244	0,979	0,113

Herschel Bulkley	84,88	0,432	0,962	0,0008
------------------	-------	-------	-------	--------

Fonte: A autora.

Figura 11: a) Apresentação do comportamento do iogurte BD na temperatura de 36°C



Fonte: A autora.

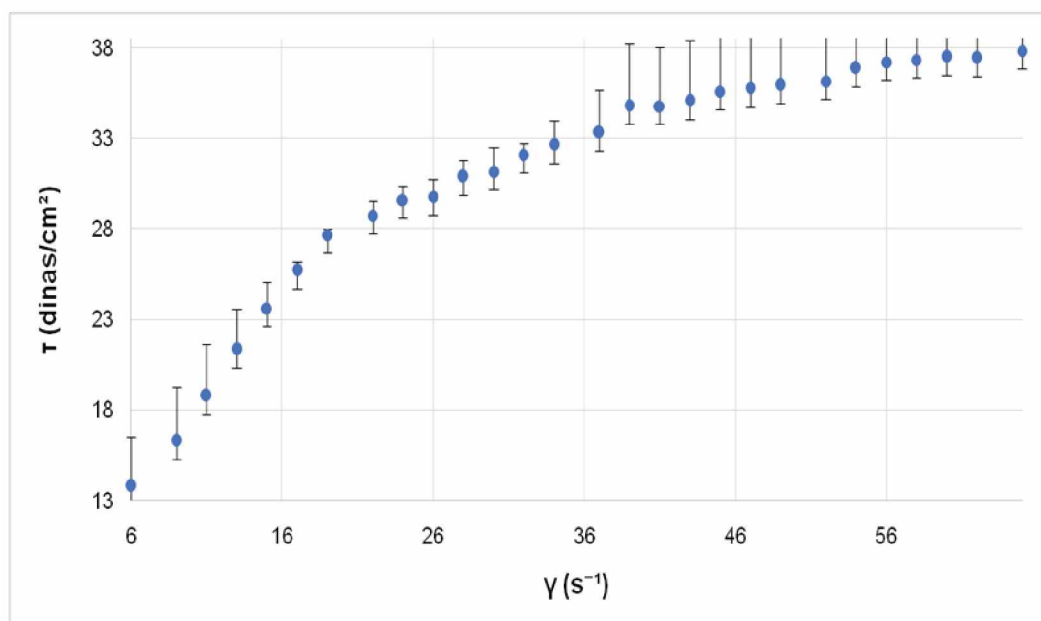
O comportamento do iogurte da marca B desnatado (BD) analisado na temperatura de 45°C está apresentado na Figura 12. Observa-se pela Fig. 12a que seu comportamento se assemelha a fluidos pseudoplásticos. Ao ajustar os modelos de reologia aplicados a alimentos aos dados, observou-se que o modelo da Lei de Newton não se ajustou (Fig. 12b, Apêndice C). Os modelos de Lei da Potência (Fig.12c, Apêndice C) e Herschel-Bulkley (Fig. 12d, Apêndice C) se ajustaram melhor aos dados, sendo que o modelo que obteve o menor erro e o maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi o de Herschel-Bulkley se comparado com a Lei da Potência, conforme pode ser visto na Tabela 7.

Tabela 7: Resultados dos parâmetros dos modelos utilizados no ajuste dos dados do iogurte BD a 45°C.

Modelo	$\tau_0$	N	$R^2$	ErroRelativo
Lei de Newton	-	-	0,852	0,015
Lei da Potência	-	0,165	0,807	0,089
Herschel Bulkley	22,57	0,44	0,973	0,062

Fonte: A autora.

Figura 12: a) Apresentação do comportamento do iogurte BD na temperatura de 45°C.



Fonte: A autora.

#### 4.3.3.3 Amostra da marca A integral (AI)

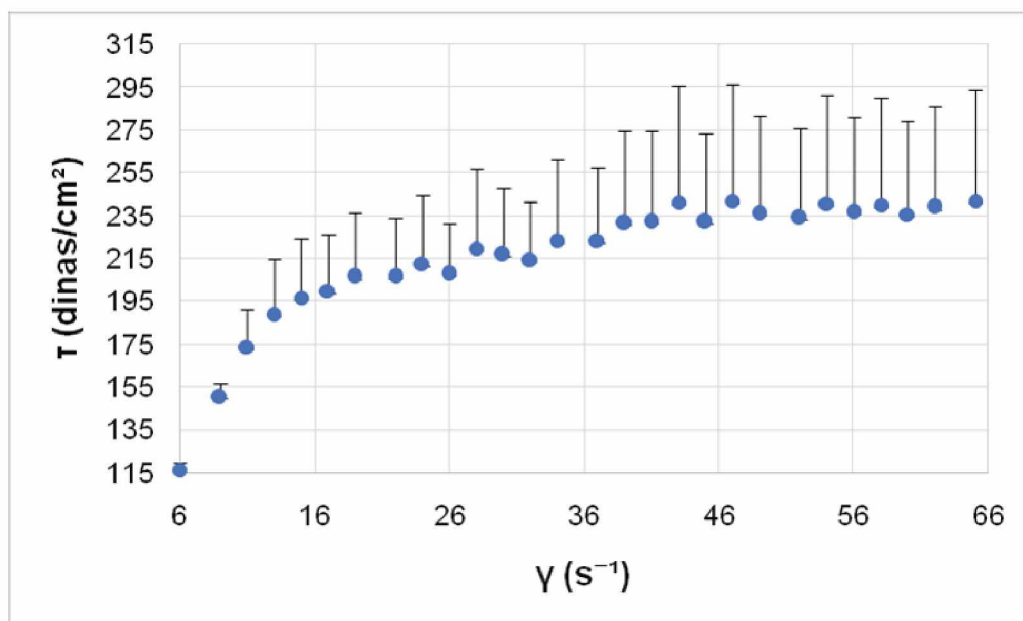
O comportamento do iogurte da marca A integral (AI) analisado na temperatura de 6°C está apresentado na Figura 13. Observa-se pela Fig. 13a que seu comportamento se assemelha a fluidos pseudoplásticos. Ao ajustar os modelos de reologia aplicados a alimentos aos dados, observou-se que o modelo da Lei de Newton não se ajustou (Fig. 13b, Apêndice D). Os modelos de Lei da Potência (Fig. 13c, Apêndice D) e Herschel-Bulkley (Fig. 13d, Apêndice D) se ajustaram melhor aos dados, sendo que o modelo que obteve o menor erro e o mesmo coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi o de Herschel-Bulkley se comparado com a Lei da Potência, conforme pode ser visto na Tabela 8.

Tabela 8: Resultados dos parâmetros dos modelos utilizados no ajuste dos dados do iogurte AI a 6°C.

Modelo	$\tau_0$	N	$R^2$	Erro Relativo
Lei de Newton	-	-	0,720	0,008
Lei da Potência	-	0,151	0,936	0,0007
Herschel Bulkley	3,27	0,247	0,936	0,0006

Fonte: A autora.

Figura 13: a) Apresentação do comportamento do iogurte AI na temperatura de 6°C



Fonte: A autora.

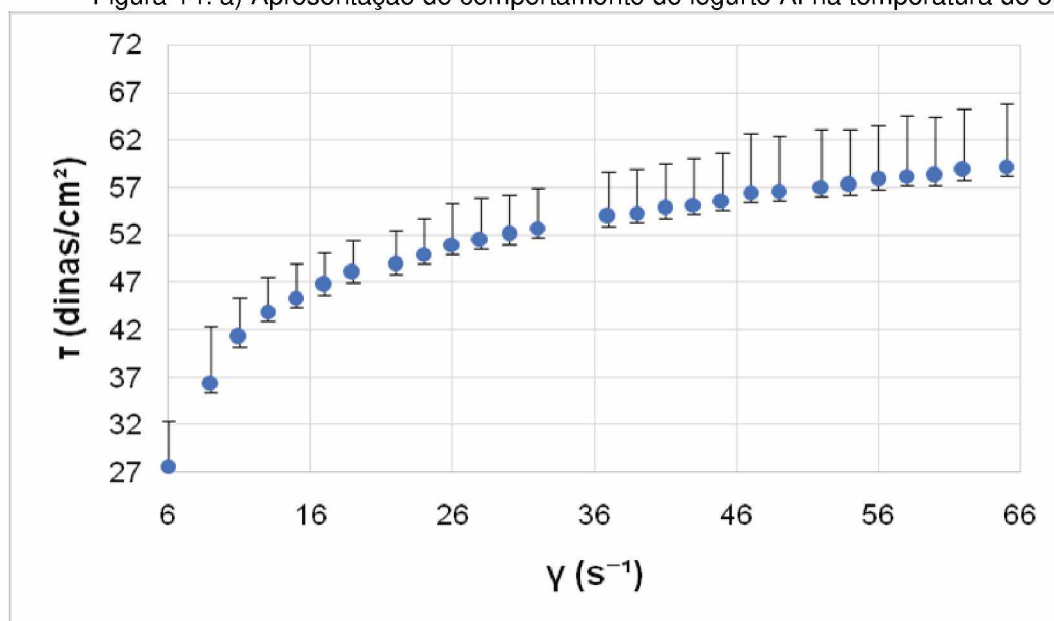
O comportamento do iogurte da marca A integral (AI) analisado na temperatura de 36°C está apresentado na Figura 14. Observa-se pela Fig. 14a que seu comportamento se assemelha a fluidos pseudoplásticos. Ao ajustar os modelos de reologia aplicados a alimentos aos dados, observou-se que o modelo da Lei de Newton não se ajustou (Fig. 14b, Apêndice D). Os modelos de Lei da Potência (Fig. 14c, Apêndice D) e Herschel-Bulkley (Fig. 14d, Apêndice D) se ajustaram melhor aos dados, sendo que o modelo que obteve o menor erro e o maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi o de Herschel-Bulkley se comparado com a Lei da Potência, conforme pode ser visto na Tabela 9.

Tabela 9: Resultados dos parâmetros dos modelos utilizados no ajuste dos dados do iogurte AI a 36°C.

Modelo	$\tau_0$	N	$R^2$	ErroRelativo
Lei de Newton	-	-	0,799	0,007
Lei da Potência	-	0,187	0,989	0,0004
Herschel Bulkley	20,9	0,319	0,99	0,0003

Fonte: A autora.

Figura 14: a) Apresentação do comportamento do iogurte AI na temperatura de 36°C.



Fonte: A autora.

O comportamento do iogurte da marca A integral (AI) analisado na temperatura de 45°C está apresentado na Figura 15. Observa-se pela Fig. 15a que seu comportamento se assemelha a fluidos pseudoplásticos. Ao ajustar os modelos de reologia aplicados a alimentos aos dados, observou-se que o modelo da Lei de Newton não se ajustou (Fig. 15b, Apêndice D). Os modelos de Lei da Potência (Fig. 15c, Apêndice D) e Herschel-Bulkley (Fig. 15d, Apêndice D) se ajustaram melhor aos dados, sendo que o modelo que obteve o menor erro e o maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi o de Herschel-Bulkley se comparado com a Lei da Potência, conforme pode ser visto na Tabela 10.

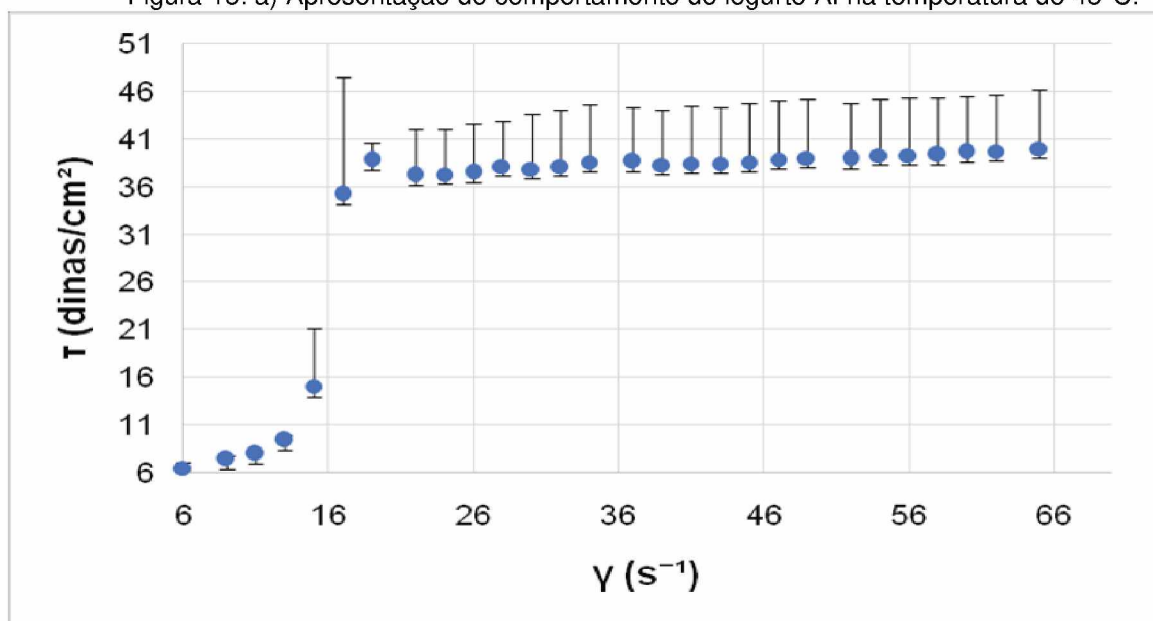
Tabela 10: Resultados dos parâmetros dos modelos utilizados no ajuste dos dados do iogurte AI a 45°C.

Modelo	$\tau_0$	N	$R^2$	Erro Relativo
Lei de Newton	-	-	0,510	0,198
Lei da Potência	-	0,059	0,932	0,0006
Herschel Bulkley	11,79	0,064	0,933	0,0005

Fonte: A autora.



Figura 15: a) Apresentação do comportamento do iogurte AI na temperatura de 45°C.



Fonte: A autora.

#### 4.3.3.4 Amostra da marca B integral (BI)

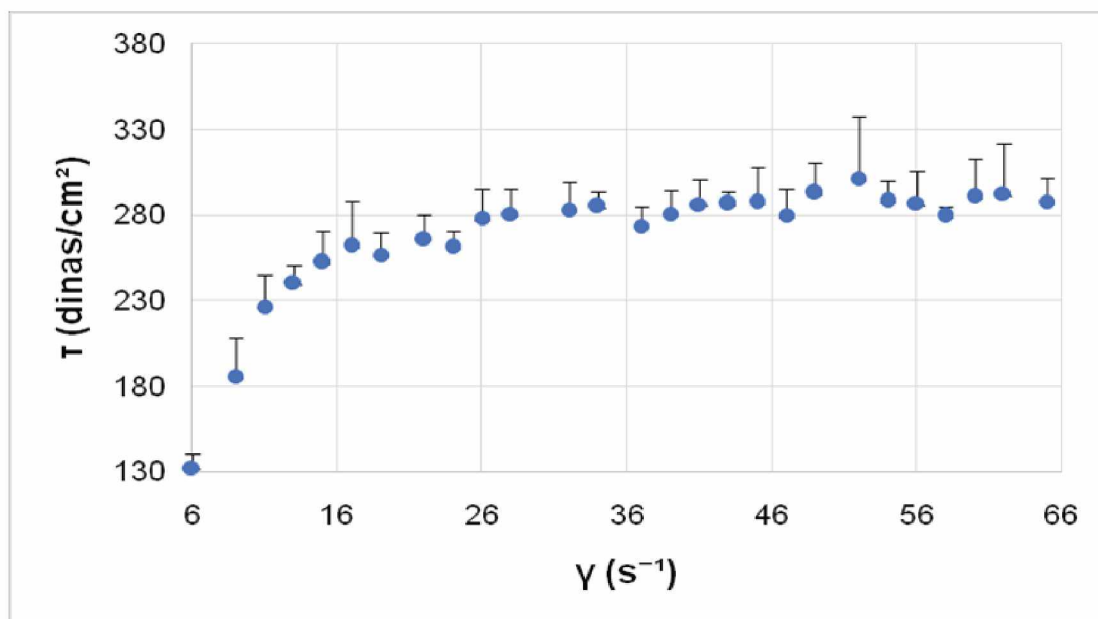
O comportamento do iogurte da marca B integral (BI) analisado na temperatura de 6°C está apresentado na Figura 16. Observa-se pela Fig. 16a que seu comportamento se assemelha a fluidos pseudoplásticos. Ao ajustar os modelos de reologia aplicados a alimentos aos dados, observou-se que o modelo da Lei de Newton não se ajustou (Fig. 16b, Apêndice E). Os modelos de Lei da Potência (Fig. 16c, Apêndice E) e Herschel-Bulkley (Fig. 16d, Apêndice E) se ajustaram melhor aos dados, sendo que o modelo que obteve o menor erro foi o de Herschel-Bulkley se comparado com a Lei da Potência que obteve o maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ), conforme pode ser visto na Tabela 11.

Tabela 11: Resultados dos parâmetros dos modelos utilizados no ajuste dos dados do iogurte BI a 6°C.

Modelo	$\tau_0$	N	$R^2$	ErroRelativo
Lei de Newton	-	-	0,546	0,014
Lei da Potência	-	0,113	0,826	0,0004
Herschel Bulkley	97,43	0,180	0,818	0,0003

Fonte: A autora.

Figura 16: a) Apresentação do comportamento do iogurte BI na temperatura de 6°C.



Fonte: A autora.

O comportamento do iogurte da marca B integral (BI) analisado na temperatura de 36°C está apresentado na Figura 17. Observa-se pela Fig. 17a que seu comportamento se assemelha a fluidos pseudoplásticos. Ao ajustar os modelos de reologia aplicados a alimentos aos dados, observou-se que o modelo da Lei de Newton não se ajustou (Fig. 17b, Apêndice E). Os modelos de Lei da Potência (Fig. 17c, Apêndice E) e Herschel-Bulkley (Fig. 17d, Apêndice E) se ajustaram melhor aos dados, sendo que o modelo que obteve o menor erro foi o de Herschel-Bulkley se comparado com a Lei da Potência que obteve o maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ), conforme pode ser visto na Tabela 12.

Tabela 12: Resultados dos parâmetros dos modelos utilizados no ajuste dos dados do iogurte BI a 36°C.

Modelo	$\tau_0$	N	$R^2$	Erro Relativo
Lei de Newton	-	-	0,818	0,003
Lei da Potência	-	0,148	0,982	0,0007
Herschel Bulkley	31,82	0,306	0,977	0,0006

Fonte: A autora.



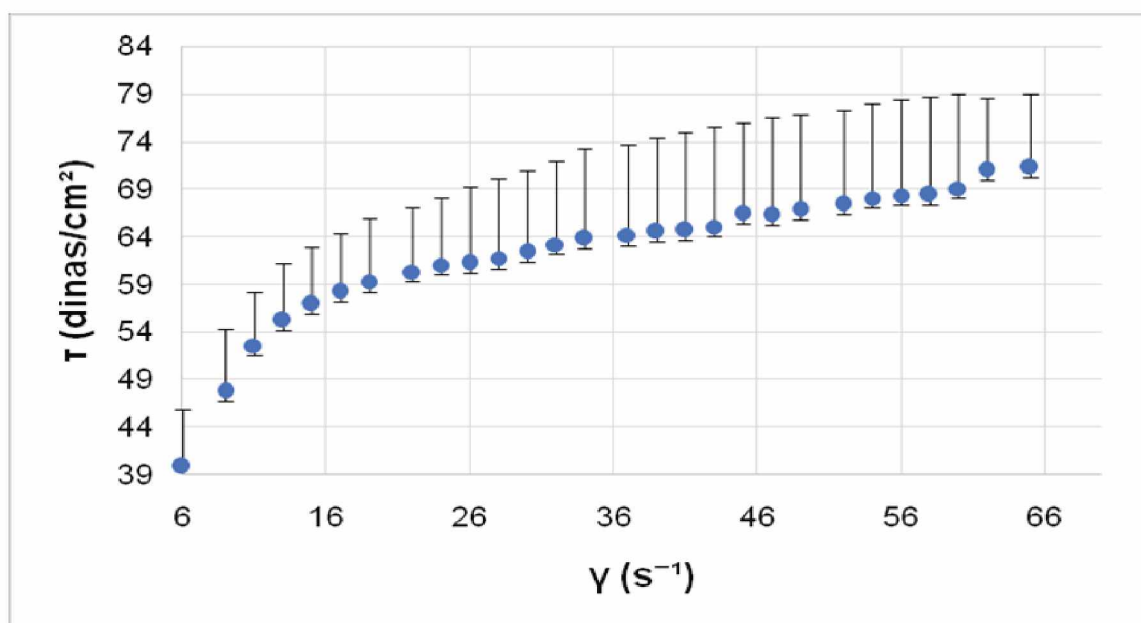


Figura 17: a) Apresentação do comportamento do iogurte BI na temperatura de 36°C.

Fonte: A autora.

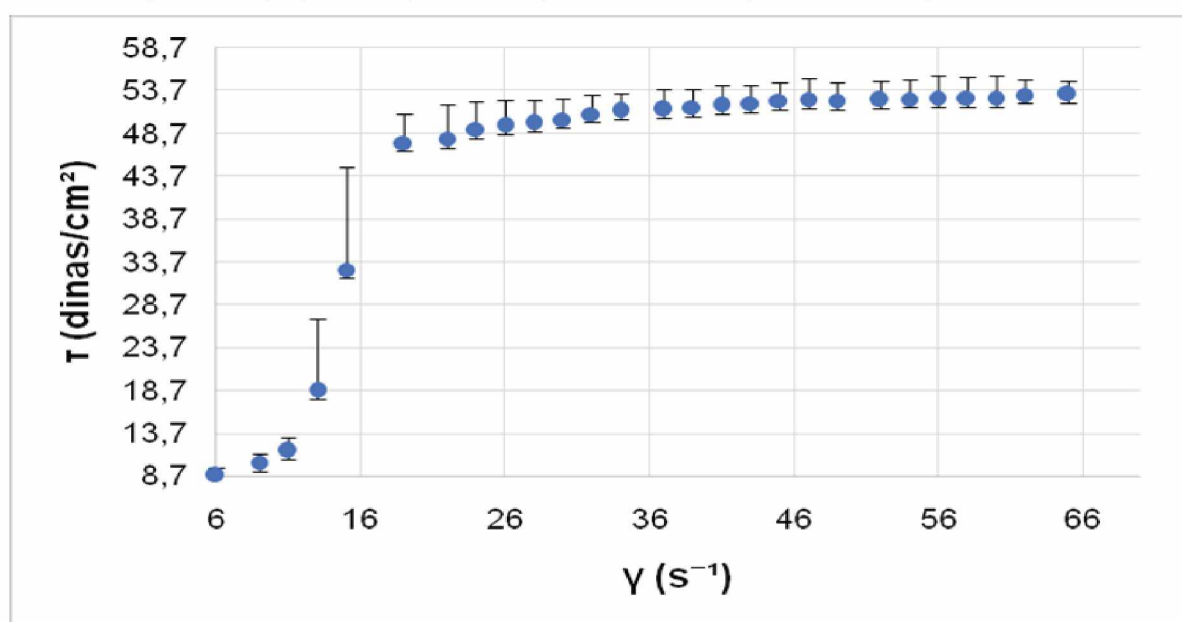
O comportamento do iogurte da marca B integral (BI) analisado na temperatura de 45°C está apresentado na Figura 18. Observa-se pela Fig. 18a que seu comportamento se assemelha a fluidos pseudoplásticos. Ao ajustar os modelos de reologia aplicados a alimentos aos dados, observou-se que o modelo da Lei de Newton não se ajustou (Fig. 18b, Apêndice E). Os modelos de Lei da Potência (Fig. 18c, Apêndice E) e Herschel-Bulkley (Fig. 18d, Apêndice E) se ajustaram melhor aos dados, sendo que o modelo que obteve o menor erro foi o de Herschel-Bulkley se comparado com a Lei da Potência que obteve o maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ), conforme pode ser visto na Tabela 13.

Tabela 13: Resultados dos parâmetros dos modelos utilizados no ajuste dos dados do iogurte BI a 45°C.

Modelo	$\tau_0$	N	$R^2$	Erro Relativo
Lei de Newton	-	-	0,571	0,198
Lei da Potência	-	0,088	0,943	0,0006
Herschel Bullkley	4,35	0,091	0,933	0,0003

Fonte: A autora.

Figura 18: a) Apresentação do comportamento do iogurte BI na temperatura de 45°C.



Fonte: A autora.

Para melhor interpretação da influência da temperatura no comportamento dos iogurtes desnatados e integrais, os parâmetros de coeficiente de determinação, erro relativo e n são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14: Comparação entre os modelos ajustados e os seus parâmetros nos iogurtes integrais e desnatados das marcas A e B.

Temperatura	Parâmetros	AD		BD		AI		BI	
		Lei da Potência	Herschel-Bulkey	Lei da Potência	Herschel-Bulkey	Lei da Potência	Herschel-Bulkey	Lei da Potência	Herschel-Bulkey
6°C	R <sup>2</sup>	-	-	-	-	0,936	0,936	0,826	0,818
	Erro	-	-	-	-	0,0007	0,0006	0,0004	0,0003
	n	-	-	-	-	0,151	0,247	0,113	0,18
	T <sub>0</sub>	-	-	-	-		84,88		97,43
36°C						máx=241,95		máx=287,76	
	R <sup>2</sup>	0,912	0,923	0,979	0,962	0,989	0,99	0,982	0,977
	Erro	0,072	0,022	0,113	0,0008	0,0004	0,0003	0,0007	0,0006
	n	0,153	0,297	0,244	0,432	0,187	0,319	0,148	0,306
45°C	T <sub>0</sub>	-	25,95	-	20,09	-	22,57	-	31,82
		máx=56,96		máx=58,71		máx=59,13		máx=71,26	
	R <sup>2</sup>	0,992	0,911	0,807	0,973	0,932	0,933	0,943	0,933
	Erro	0,002	0,0003	0,089	0,062	0,0006	0,0005	0,0006	0,0003
	n	0,311	0,424	0,165	0,44	0,059	0,064	0,088	0,091
	T <sub>0</sub>	-	8,02	-	11,79	-	3,27	-	4,35
		máx=35,57		máx=37,82		máx=39,99		máx=53,24	

Fonte: A autora.

Observa-se na Tabela 14 que os valores de n encontrados em todos os ajustes de modelos para os iogurtes desnatados e integrais estudados são valores menores que 1, comprovando o comportamento deste fluido como pseudoplástico, constatação presente também nos trabalhos de Bezerra (2010), Mendonça (2002), Mühlbauer et al. (2012), Mathias et al. (2013), Pelegrine; Araújo (2014) e Egea et al. (2019).

Os dados experimentais dos iogurtes integrais das marcas A e B, em todas as temperaturas estudadas, se ajustaram muito bem aos modelos de Potência e Herschel-Bulkey, apresentando erros relativos e coeficientes de determinação semelhantes. Já os dados apresentados para os iogurtes desnatados da marca A e B melhor se ajustaram ao modelo de Herschel-Bulkey, mesmo que em algumas temperaturas (AD 45°C e BD 36°C) o coeficiente de determinação foi um pouco maior obtido ao ajuste do modelo de potência, o erro relativo apresentado é bem menor.











Com o aumento da temperatura resultou em uma diminuição da tensão inicial em todos os iogurtes estudados.

Na temperatura de 6°C os valores da tensão inicial foram 84,88 e 97,43 dinas/cm<sup>2</sup> nos iogurtes integrais da marca A e B, respectivamente. Já na temperatura de 36°C os valores encontrados para as tensões iniciais foram: 25,95; 20,09; 22,57 e 31,82 dinas/cm<sup>2</sup>, para os iogurtes AD, BD, AI e BI, respectivamente. Para a temperatura 45°C, os valores das tensões iniciais foram 8,02; 11,79; 3,27 e 4,35 dinas/cm<sup>2</sup>. Quando a temperatura aumenta os valores das tensões iniciais diminuem, efeito esperado, pois com o aumento da temperatura ocorre uma facilidade no escoamento, constatou-se pelos dados de tensão inicial apresentados na Tabela 14. Resultados apresentados no trabalho de Portelinha (2013).

Observa-se pelos maiores valores de tensão cisalhante encontrados nos reogramas dos iogurtes estudados que os iogurtes integrais apresentam maiores tensões cisalhantes em comparação aos iogurtes desnatados, como (AD 36°C=56,96 e AI 36°C = 59,13); (BD 36°C= 58,71 e BI 36°C= 71,26), mas o mesmo comportamento pode ser observado na temperatura de 45°C.

A característica visual de cada iogurte nos experimentos pode ser observado na Figura 15.

Tabela 15: Fotos das análises dos iogurtes em duas marcas diferentes A e B no viscosímetro.

Amostra	6°C	36°C	45°C
AD	-		
BD	-		
AI			
BI			

Fonte: A autora.

## 5 CONCLUSÃO

Os iogurtes comerciais analisados apresentaram resultados de pH, acidez, cinzas, umidade, proteína e gorduras totais dentro do limite imposto pela legislação.

O comportamento do fluido em relação à viscosidade é influenciado pelo tempo, assim o fenômeno da tixotropia ocorre e é necessária a quebra a partir de 40 min, para que seja possível visualizar o comportamento da viscosidade do fluido relacionando com a influência da temperatura.

As composições dos iogurtes interferem diretamente na viscosidade do mesmo, o iogurte integral apresentou maiores tensões de cisalhamento utilizando a mesma temperatura em comparação aos iogurtes desnatados.

Por fim, foi possível concluir que os iogurtes utilizados neste trabalho são considerados fluidos pseudoplásticos e que o modelo de Herschel-Bulkley foi o que mais se ajustou aos dados experimentais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, T. L.; FARO, A. C. M.; LAGANÁ, M. T. C. Temperatura corporal: planejamento da assistência de enfermagem na verificação da temperatura, no atendimento da febre e da hipertermia maligna. **Revista da Escola de Enfermagem da USP**, v. 26, n. 3, p. 315–324, 1992.

BEZERRA, M. F. **Caracterização físico-química, reológica e sensorial de iogurte obtido pela mistura dos leites bubalino e caprino**. 2010. Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, 2010.

BEZERRA, J. R. M. V. et al. Estudo do efeito da temperatura nas propriedades reológicas da polpa de morango ( *Fragaria ananassa* ). **Ambiência**, v. 5, n. 1, p. 37–47, 2009.

BRAGA, A. C. C. et al. Avaliação Da Influência Da Temperatura E Do Tratamento Enzimático No Comportamento Reológico Do Suco De Abacaxi Pérola. **Revi. Bras. Frutic.**, v. 35, n. 1, p. 226–237, 2013.

BRAGA, A. C. C.; ASSIS NETO, E. F.; VILHENA, M. J. V. ELABORAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE IOGURTES ADICIONADOS DE POLPA E DE XAROPE DE MANGOSTÃO (*Garcinia mangostana* L.). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 14, n. 1, p. 77–84, 2012.

BRAGA, E. R. **ESTUDO DO ESCOAMENTO DE FLUIDOS DE PERFURAÇÃO EM DUTOS E EM REGIÕES ANULARES**. 2009. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2009.

BRASIL. **Portaria CVS-6/99, de 10.03.99**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <[http://www.cvs.saude.sp.gov.br/zip/E\\_PT-CVS-06\\_100399.pdf](http://www.cvs.saude.sp.gov.br/zip/E_PT-CVS-06_100399.pdf)>. Acesso em: 2 dez. 2019.

CAMARGO, M. G.; FURLAN, M. M. D. P. Resposta Fisiológica do Corpo às Temperaturas Elevadas: Exercício, Extremos de Temperatura e Doenças Térmicas. **Saúde e Pesquisa**, v. 4, n. 2, 2011.

CANCIAM, C. A. Efeito Da Temperatura Na Viscosidade Dinâmica Dos Óleos Lubrificantes Sae 5W20, Sae 5W30 E Sae 5W40. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 11, n. 2, p. 228–238, 2013.

COSTA, C. M. Caracterização Reológica De Fluidos Complexos. **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, v. 4, p. 3–28, 2017.

CRUZ, A. G. et al. **Processamento de produtos lácteos: queijos, leites fermentados, bebidas lácteas, sorvete, manteiga, creme de leite, doce de leite, soro em pó e lácteos funcionais. Vol.3**. [s.l.] Gen LTC, 2017.

CRUZ, D. F. A. **Cálculo simplificado do coeficiente de atrito e do número de Nusselt em escoamentos laminares de fluidos nao-Newtonianos em condutas circulares**. 2010. Universidade do Porto, 2010.

EGEA, M. B. et al. Relação entre as características físico-químicas e reológica e o valor comercial de iogurte integral com sabor morango. **Segurança Alimentar e**

**Nutricional**, v. 26, n. 64, p. e019003, 2019.

FARAH, B. C. et al. AVALIAÇÃO DA ALIMENTAÇÃO PRÉ, DURANTE E PÓS- TREINO DE JOVENS NADADORES. **Revista Brasileira de Nutrição Esportiva**, p. 319–326, 2016. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5609462>>.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos: princípios e práticas**. 2. ed. [s.l.] Artmed, 2006.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos ara análise de alimentos**. 4 ,1 digit ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

KOBLITZ, M. G. B. **Matérias-primas Alimentícias: composição e controle de qualidade**. 2. ed. [s.l.] Guanabara Koogan, 2016.

MARINO, M. P. **Desenvolvimento de um software de código aberto para cálculo voltado à engenharia de petróleo**. 2017. Universidade Federal Fluminense, 2017.

MATHIAS, T. R. S. et al. Avaliação do comportamento reológico de diferentes iogurtes comerciais. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 16, n. 1, p. 12–20, 2013.

MENDONÇA, E. **Estudo do comportamento reológico de iogurtes comerciais**. 2002. Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

MÜHLBAUER, F. B. et al. Avaliação das características físicas e químicas da polpa e do iogurte de uvaia. p. 60–77, 2012.

NIRENBERG, H. **Desenvolvimento de uma modelagem para a viscosidade relativa de suspensões em fluidos Newtonianos e não Newtonianos em dutos**. 2019. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2019.

ORDÓÑEZ, J. A. **Tecnologia de Alimentos: Alimentos de origem animal Vol. 2**. [s.l.] Artmed, 2005.

PELEGRIE, D. H. G.; ARAÚJO, G. Iogurte De Juçara: Formulação E Correlação Entre Os Parâmetros Reológicos. **COBEQ**, p. 4785–4792, 2014.

PORTELINHA, D. M. G. **Valorização do soro para produção de iogurte**. 2013. Universidade do Minho, 2013.

REIS, J. S. et al. **Fabricação de derivados do leite como uma alternativa de renda ao produtor rural**. 2000. UFLA, 2000.

SANTOS, P. H. **Influência da temperatura e da concentração de sólidos solúveis no comportamento reológico de polpas de jambo-vermelho com casca, cupuaçu e suas misturas**. 2013. Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.

SHIROMA, P. H. **ESTUDO DO COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE SUSPENSÕES AQUOSAS DE BENTONITA E CMC: INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DO NaCl**. 2012. Escola Politécnica da Universidade de São



Paulo, 2012.

SILVA, C. M.; SILVA JR., T. L.; PINTO JR, I. M. Caracterização reológica de fluidos não newtonianos e sua aplicabilidade na indústria. v. 5, p. 285–300, maio 2019.

SILVEIRA, A. C. R. et al. Parâmetros Físico-Químicos E Sensoriais De logurtes Com Biomassa Da Banana Verde. **Global Science and Technology**, v. 10, n. 1, p. 29–42, 2017.

STAKE, L. Reologia dos Fluidos. p. 11, 2016.

TABILO-MUNIZAGA, G.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Rheology for the food industry. **Journal of Food Engineering**, v. 67, n. 1–2, p. 147–156, 2005.

TETRA PAK. Dairy Processing Handbook. **Tetra Pak Processing Systems**, p. 331–352, 1995.

TONELI, J. T. C. L.; MURR, F. E. X.; PARK, K. J. Estudo Da Reologia De Polissacarídeos Utilizados Na Indústria De Alimentos. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 7, n. 2, p. 181–204, 2005.

VICENTE, M. R. **Propriedades reológicas de suco de abacaxi com Yacon**. 2015. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

VIDIGAL, M. C. T. R. **Caracterização reológica e sensorial de sobremesa láctea diet contendo concentrado protéico de soro**. 2009. Universidade Federal de Viçosa, 2009.

ZOCCAL, R. **Brasil e o comércio internacional de lácteos » Revista Balde Branco**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.baldebranco.com.br/brasil-e-o-comercio-internacional-de-lacteos/>>. Acesso em: 6 jun. 2019.

APÊNDICE A: MODELO DO PROGRAMA UTILIZADO NO VISCOSIMETRO,  
NAS TEMPERATURA DE 6, 36 E 45°C.

#	Cmd	Parameter1
1	SSP	SC4-21
2	WTP	6 ,0
3	SSN	6 ,0
4	WTI	00:40:00
5	SSN	6,0
6	DCI	00:30
7	WTI	00:02:00
8	LSC	27
9	SSI	2,00
10	DCI	00:30
11	WTI	00:02:00
12	LEC	

#	Cmd	Parameter1
1	SSP	SC4-21
2	WTP	36,0
3	SSN	6 ,0
4	WTI	00:40:00
5	SSN	6,0
6	DCI	00:30
7	WTI	00:02:00
8	LSC	27
9	SSI	2,00
10	DCI	00:30
11	WTI	00:02:00
12	LEC	

#	Cmd	Parameter1
1	SSP	SC4-21
2	WTP	45 ,
3	SSN	6 ,0
4	WTI	00:40:00
5	SSN	6,0
6	DCI	00:30
7	WTI	00:02:00
8	LSC	27
9	SSI	2,00
10	DCI	00:30
11	WTI	00:02:00
12	LEC	

APÊNDICE B: REOGRAMAS AJUSTADOS NOS MODELOS REOLÓGICOS APLICADOS AOS DADOS DO IOGURTE DA MARCA A DO TIPO DESNATADO.

Figura 9b: Dados do iogurte AD a 36°C ajustados ao modelo Newtoniano.

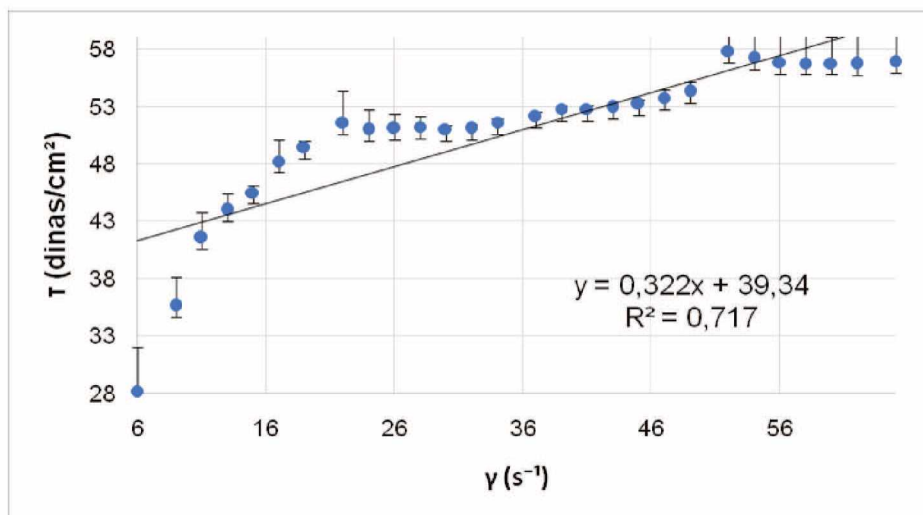


Figura 9c: Dados do iogurte AD a 36°C ajustados ao modelo da Lei da Potência.

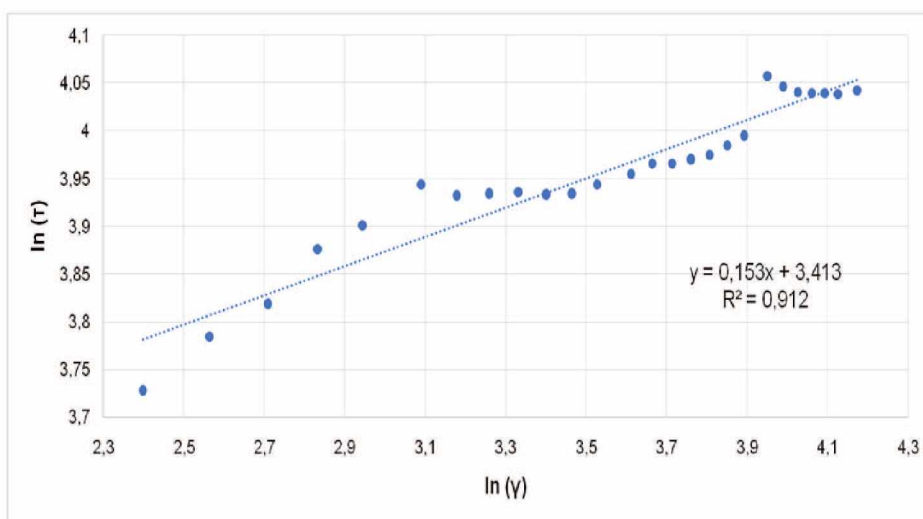


Figura 9d: Dados do iogurte AD a 36°C ajustados ao modelo de Herschel-Bulkley.

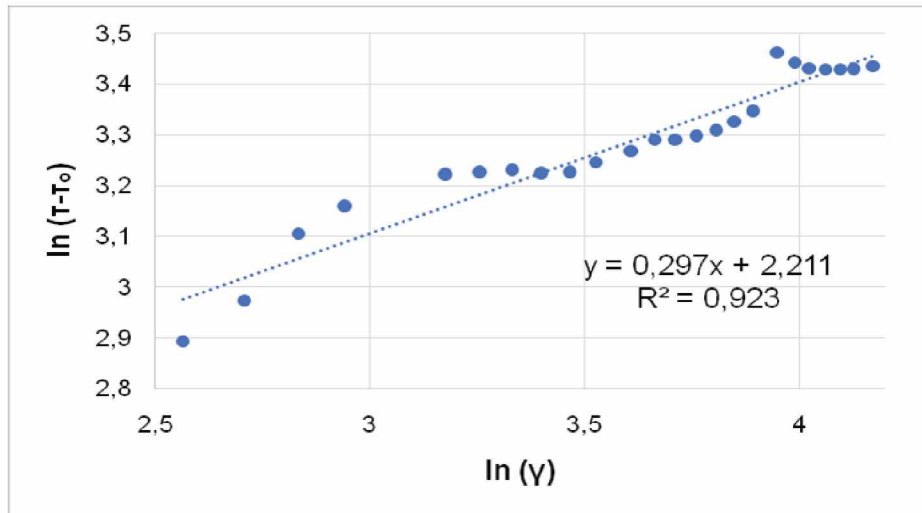


Figura 10b: Dados do iogurte AD a 45°C ajustados ao modelo Newtoniano.

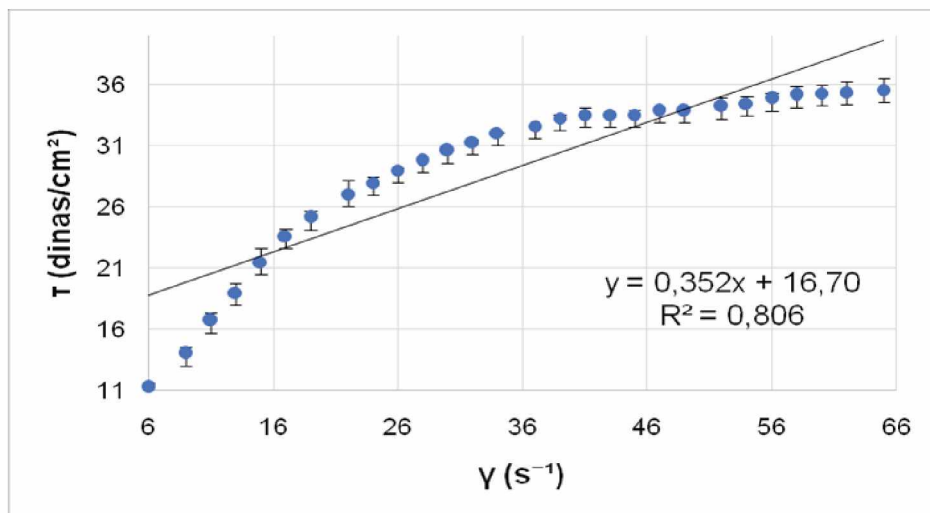


Figura 10c: Dados do iogurte AD a 45°C ajustados ao modelo da Lei da Potência.

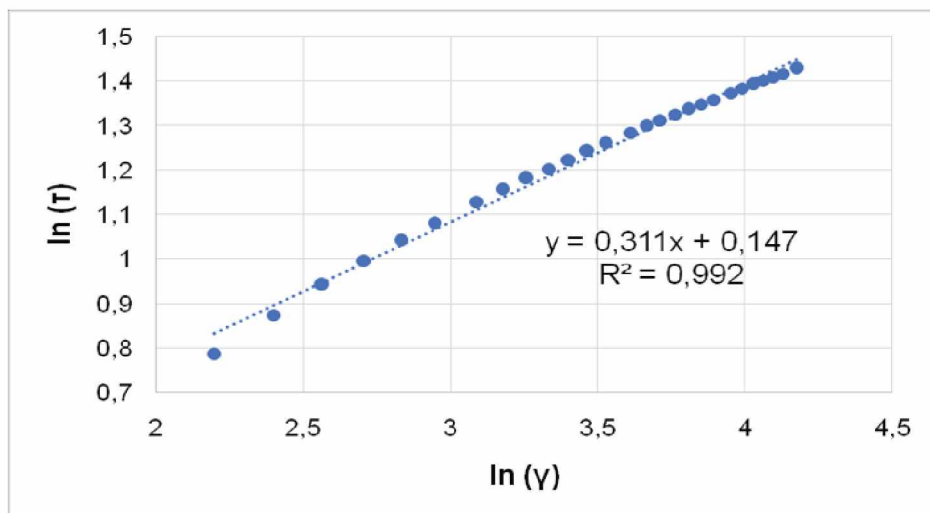
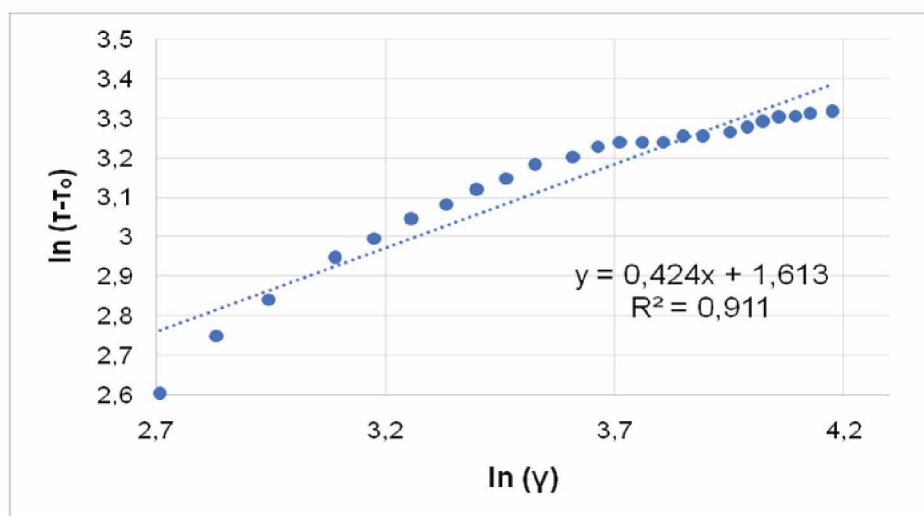


Figura 10d: Dados do iogurte AD a 45°C ajustados ao modelo de Herschel-Bulkley.



APÊNDICE C: REOGRAMAS AJUSTADOS NOS MODELOS REOLÓGICOS APLICADOS AOS DADOS DO IOGURTE DA MARCA B DO TIPO DESNATADO.

Figura 11b: Dados do iogurte BD a 36°C ajustados ao modelo Newtoniano.

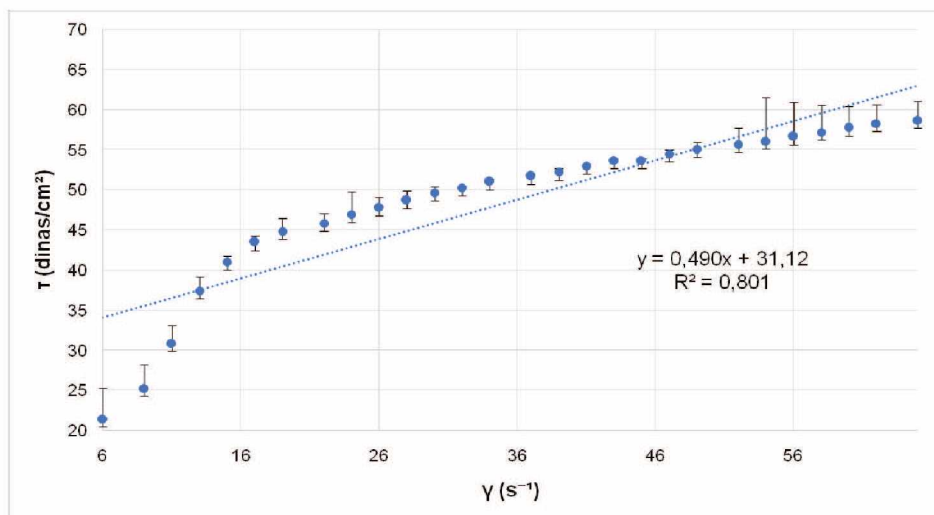


Figura 11c: Dados dos iogurtes BD a 36°C ajustados ao modelo da Lei da Potência.

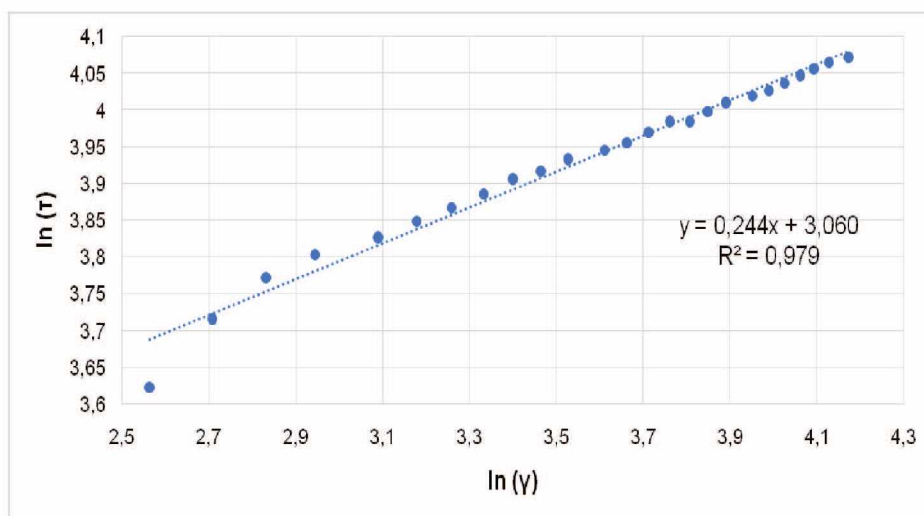


Figura 11d: Dados dos iogurtes BD a 36°C ajustados ao modelo de Herschel-Bulkley.

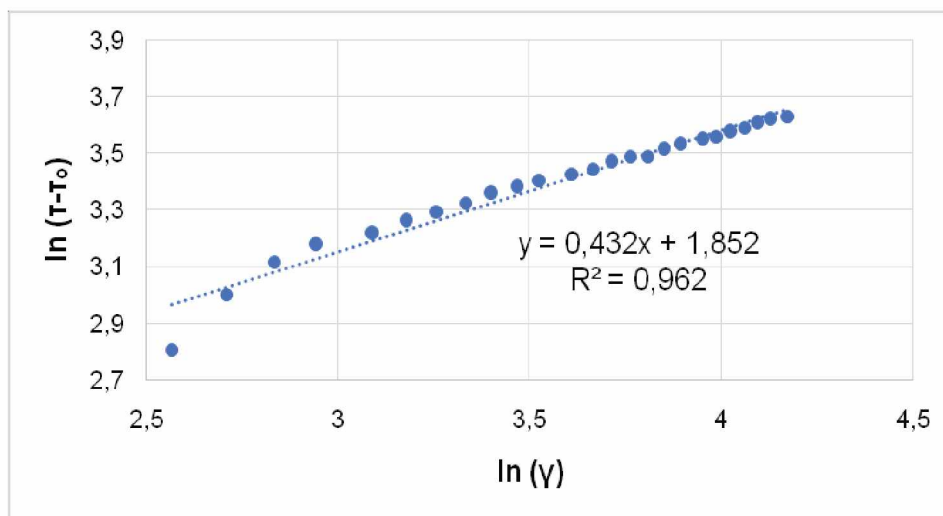


Figura 12b: Dados dos iogurtes BD a 45°C ajustados ao modelo Newtoniano.

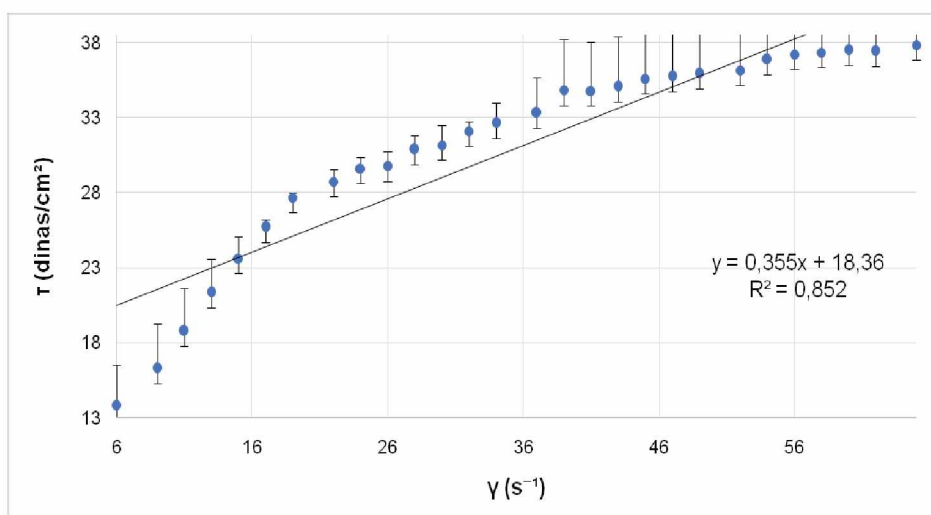


Figura 12c: Dados dos iogurtes BD a 45°C ajustados ao modelo da Lei da Potência.

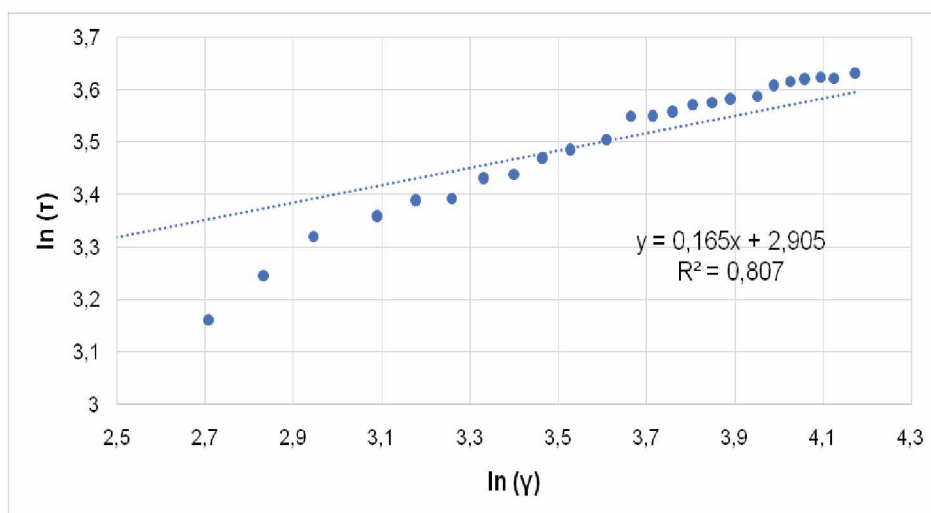
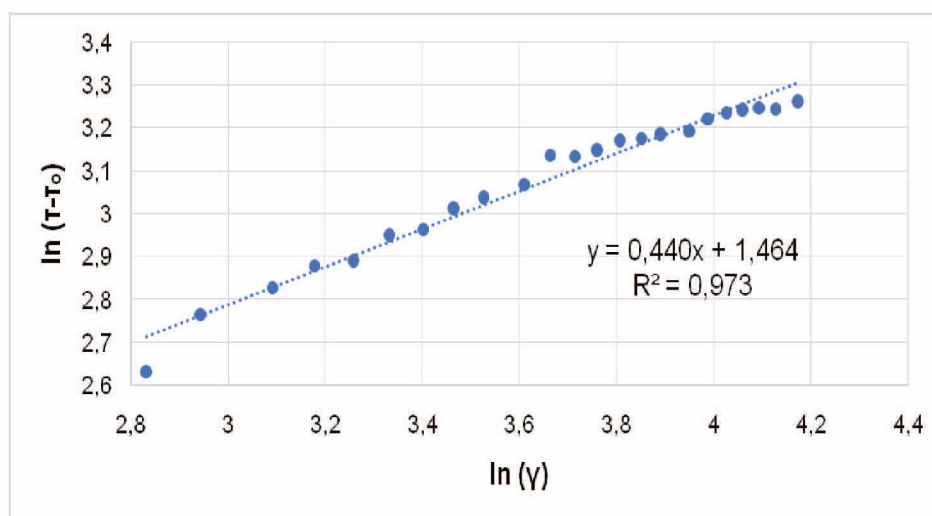


Figura 12d: Dados dos iogurtes BD a 45°C ajustados ao modelo de Herschel-Bulkley.





APÊNDICE D: REOGRAMAS AJUSTADOS NOS MODELOS REOLÓGICOS APLICADOS AOS DADOS DO IOGURTE DA MARCA A DO TIPO INTEGRAL.

Figura 13b: Dados dos iogurtes AI a 6°C ajustados ao modelo Newtoniano.

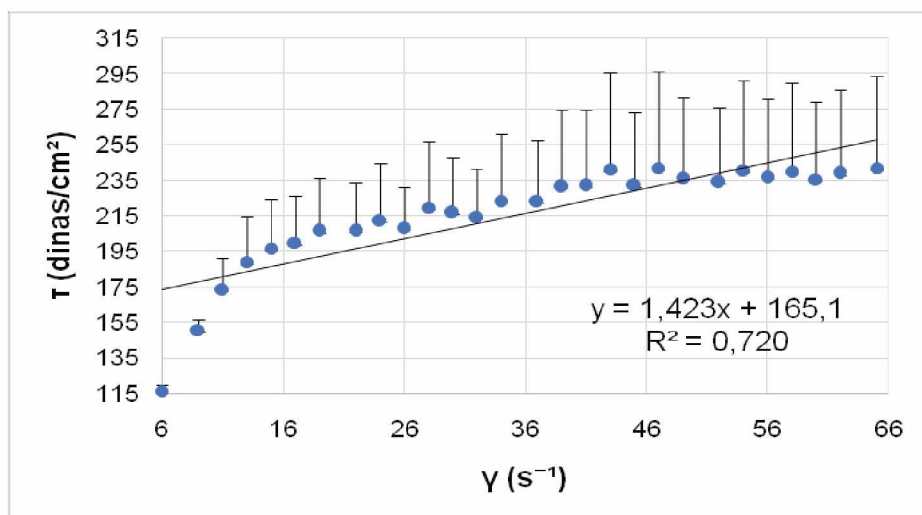


Figura 13c: Dados dos iogurtes AI a 6°C ajustados ao modelo da Lei da Potência.

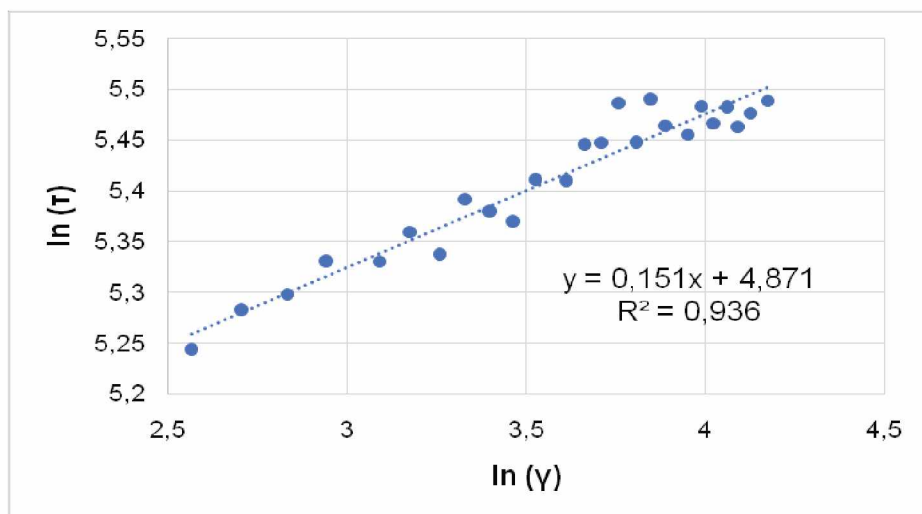


Figura 13d: Dados dos iogurtes AI a 6°C ajustados ao modelo de Herschel-Bulkley.

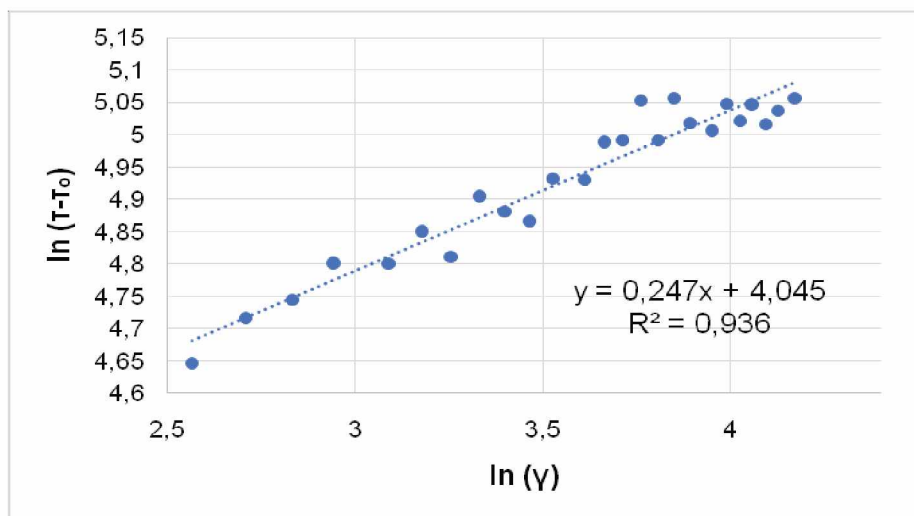


Figura 14b: Dados dos iogurtes AI a 66°C ajustados ao modelo Newtoniano.

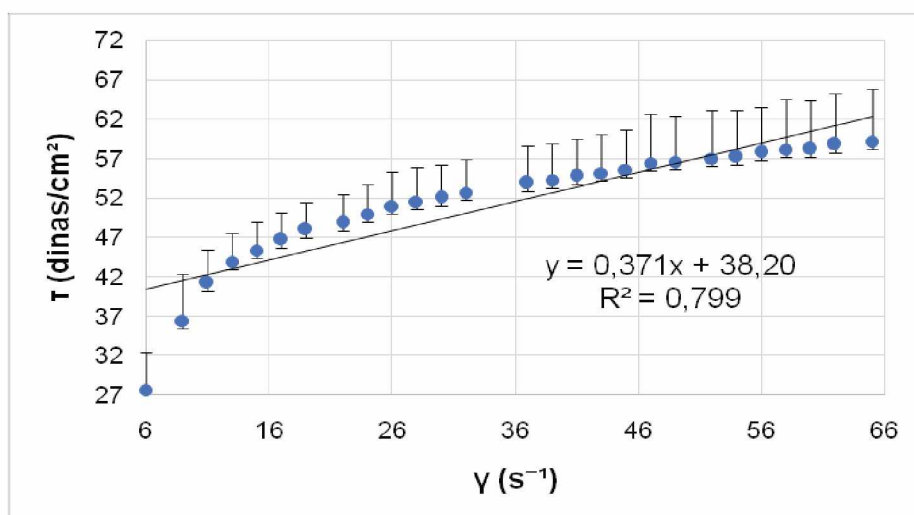


Figura 14c: Dados dos iogurtes AI a 36°C ajustados ao modelo da Lei da Potência.

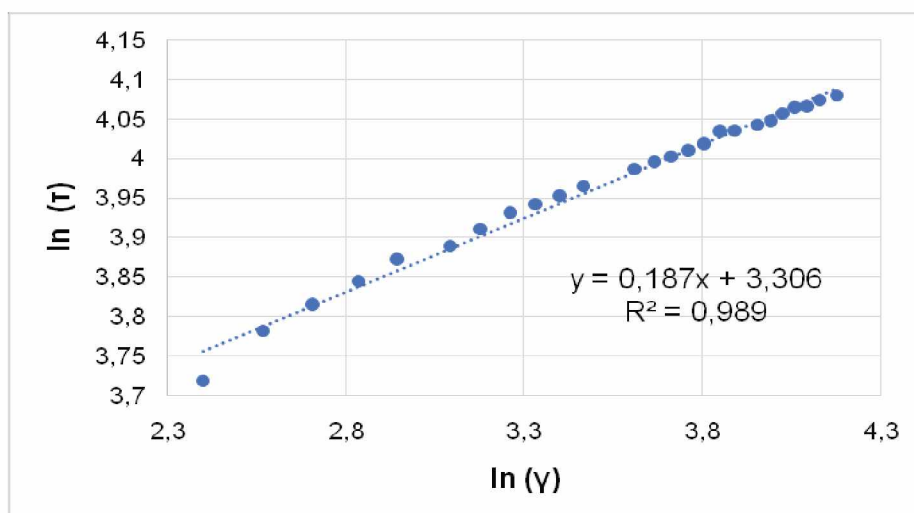


Figura 14d: Dados dos iogurtes AI a 36°C ajustados ao modelo de Herschel-Bulkley.

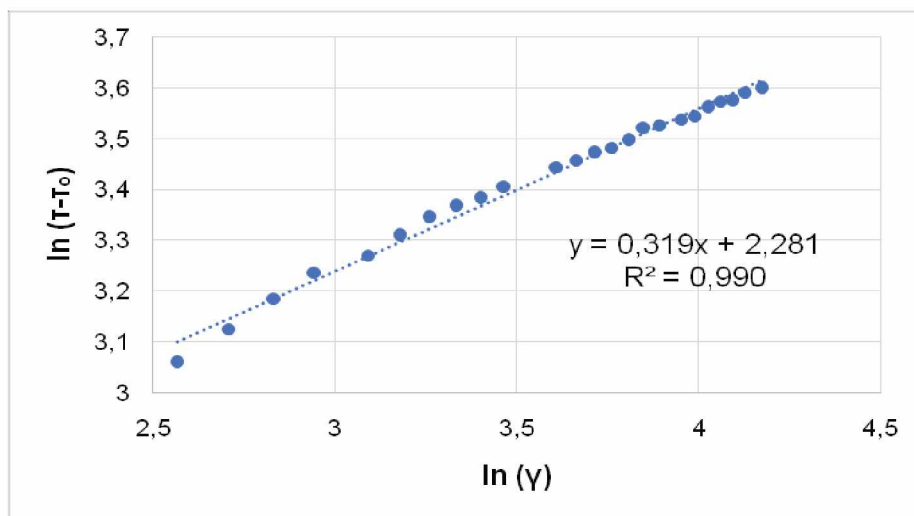


Figura 15b: Dados dos iogurtes AI a 45°C ajustados ao modelo Newtoniano.

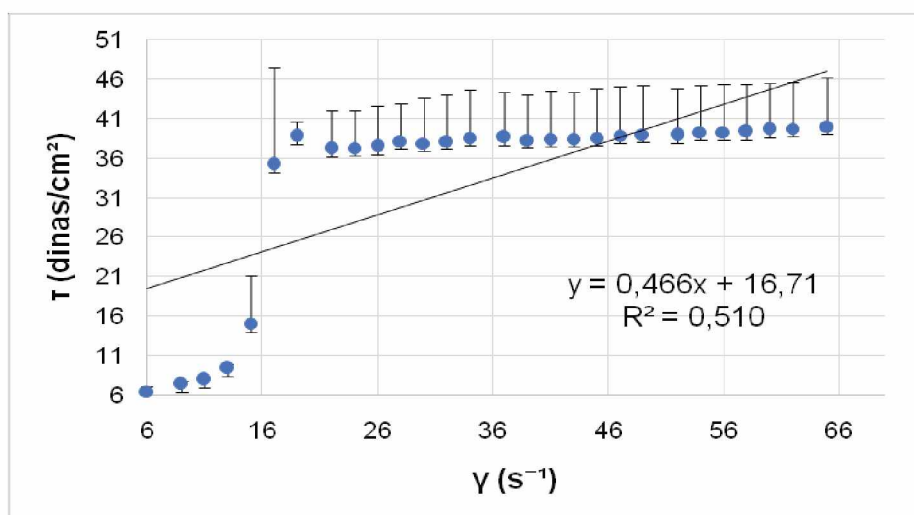


Figura 15c: Dados dos iogurtes AI a 45°C ajustados ao modelo da Lei da Potência.

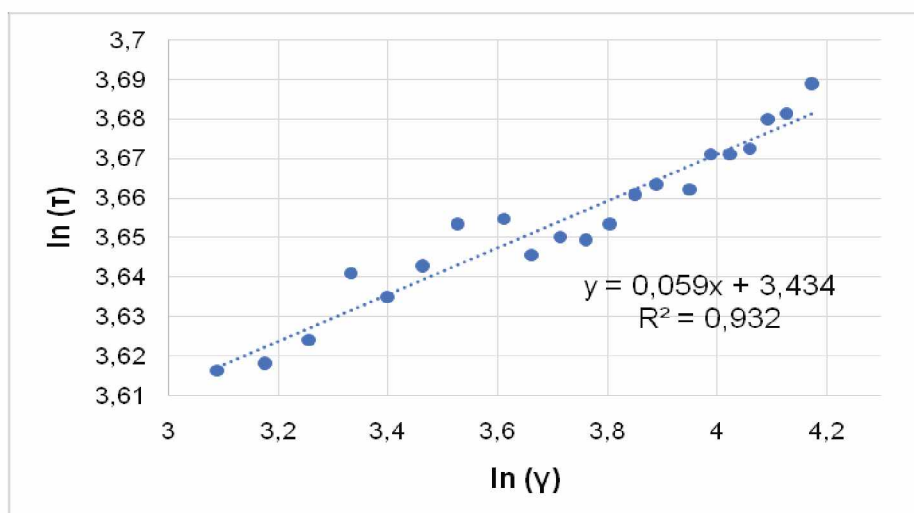
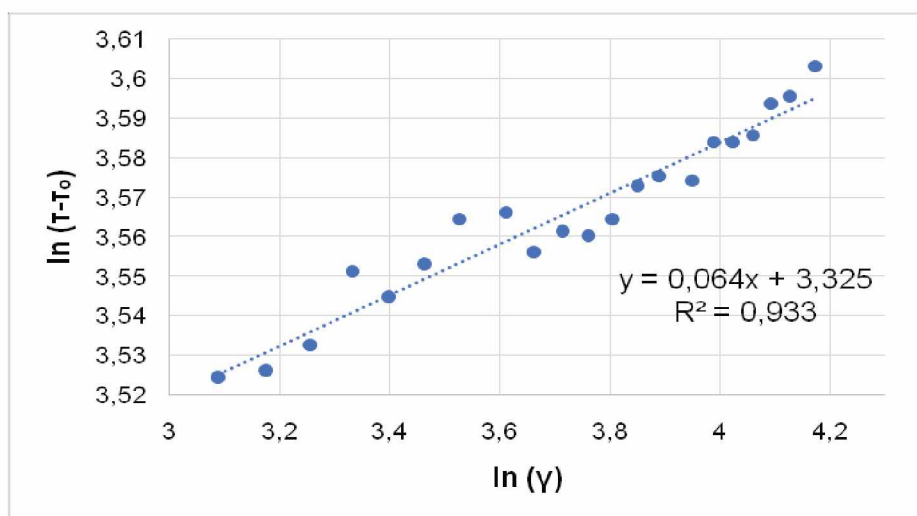


Figura 15d: Dados dos iogurtes AI a 45°C ajustados ao modelo de Herschel-Bulkley.



APÊNDICE E: REOGRAMAS AJUSTADOS NOS MODELOS REOLÓGICOS APLICADOS AOS DADOS DO IOGURTE DA MARCA B DO TIPO INTEGRAL.

Figura 16b: Dados dos iogurtes BI a 6°C ajustados ao modelo Newtoniano.

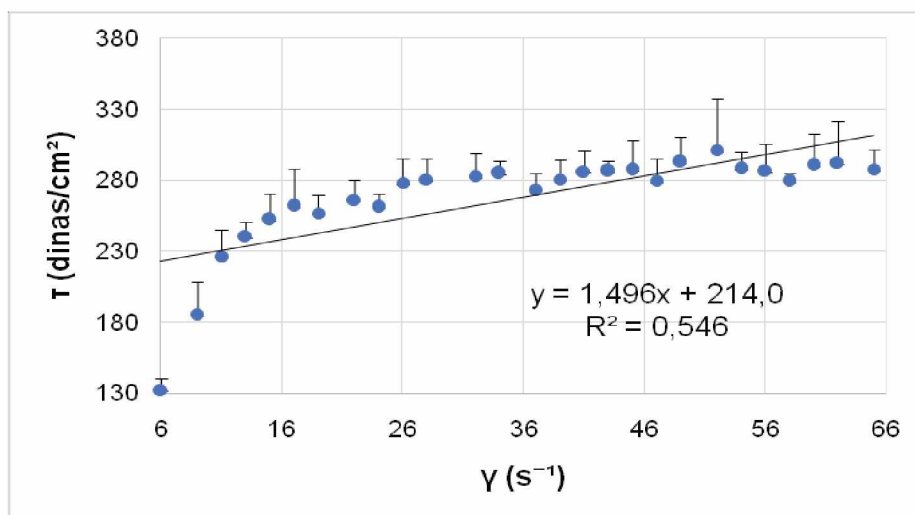


Figura 16c: Dados dos iogurtes BI a 6°C ajustados ao modelo da Lei da Potência.

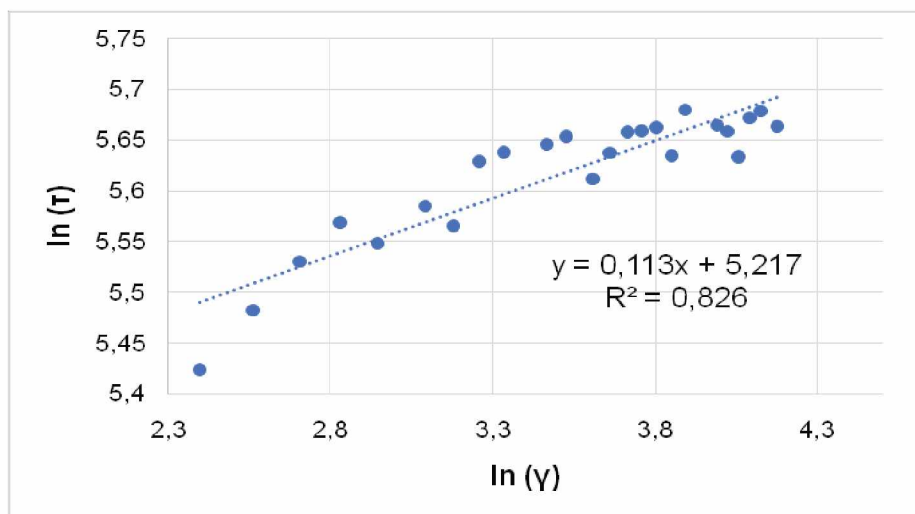


Figura 16d: Dados dos iogurtes BI a 6°C ajustados ao modelo de Herschel-Bulkley.

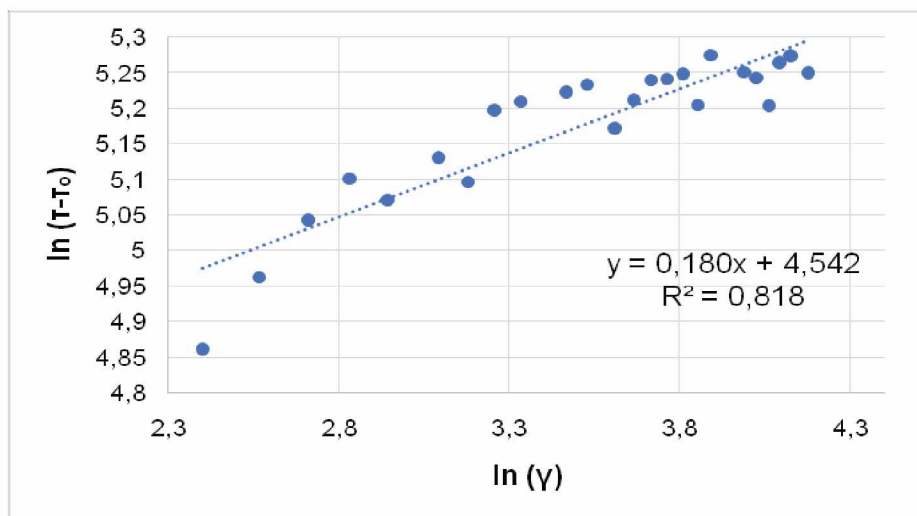


Figura 17b: Dados dos iogurtes BI a 36°C ajustados ao modelo Newtoniano.

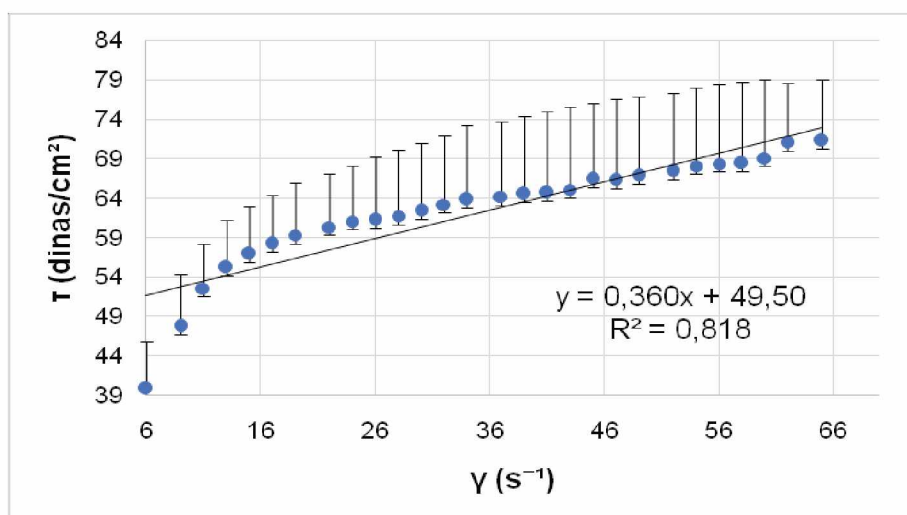


Figura 17c: Dados dos iogurtes BI a 36°C ajustados ao modelo da Lei da Potência.

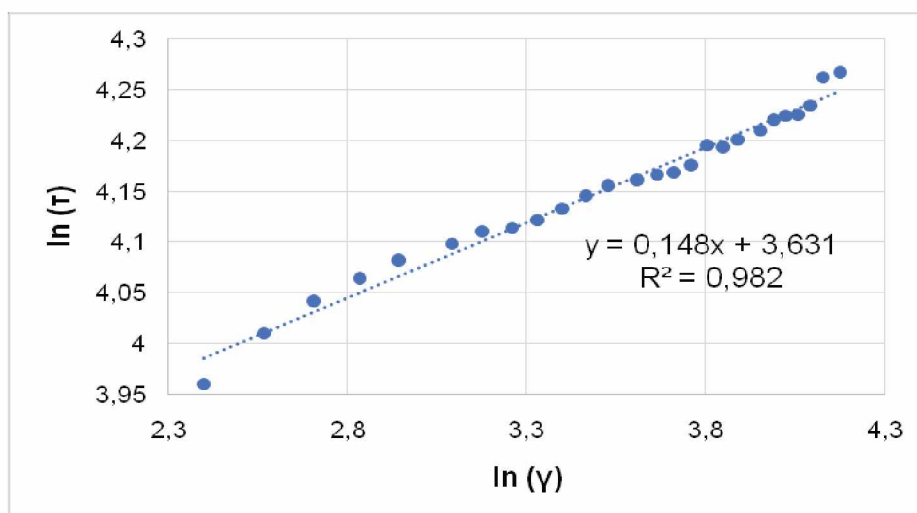


Figura 17d: Dados dos iogurtes BI a 36°C ajustados ao modelo de Herschel-Bulkley.

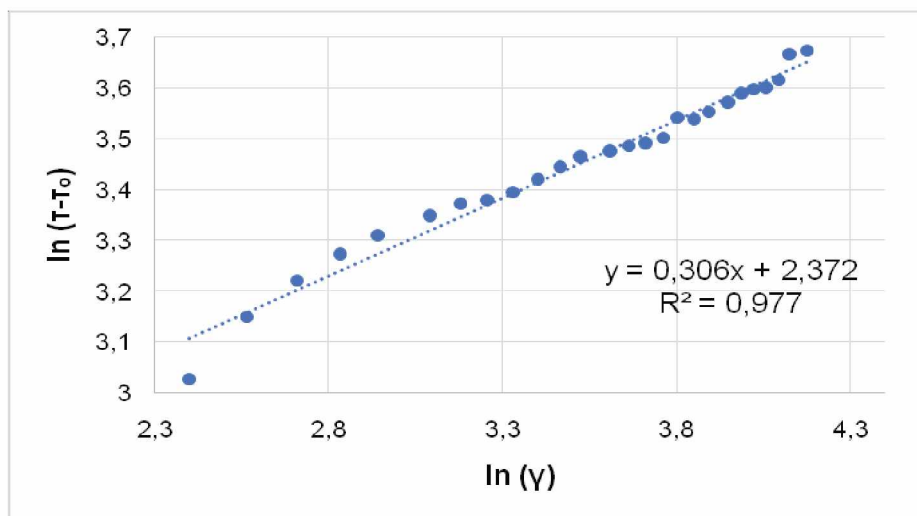


Figura 18b: Dados dos iogurtes BI a 45°C ajustados ao modelo Newtoniano.

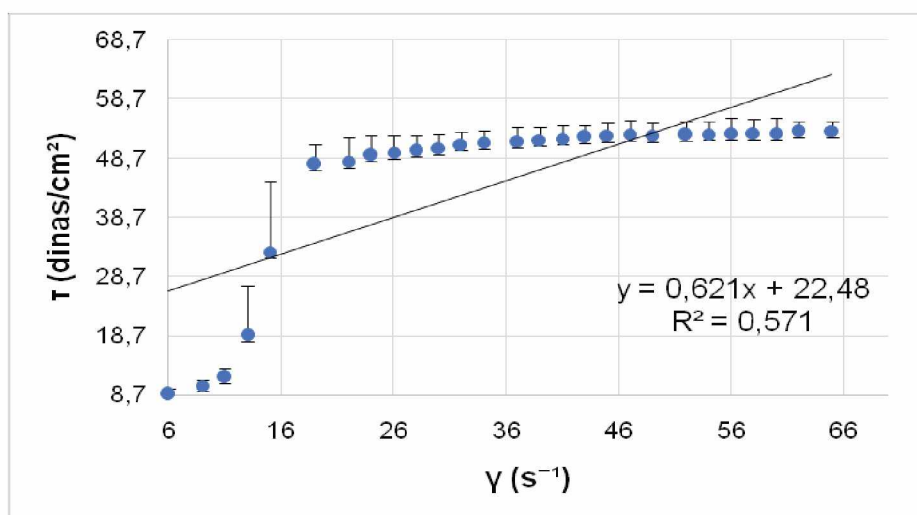


Figura 18c: Dados dos iogurtes BI a 45°C ajustados ao modelo da Lei da Potência.

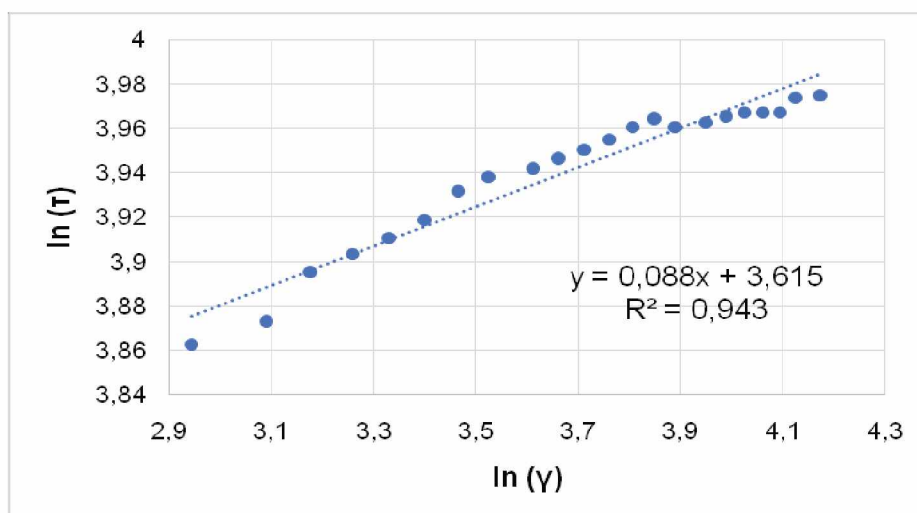
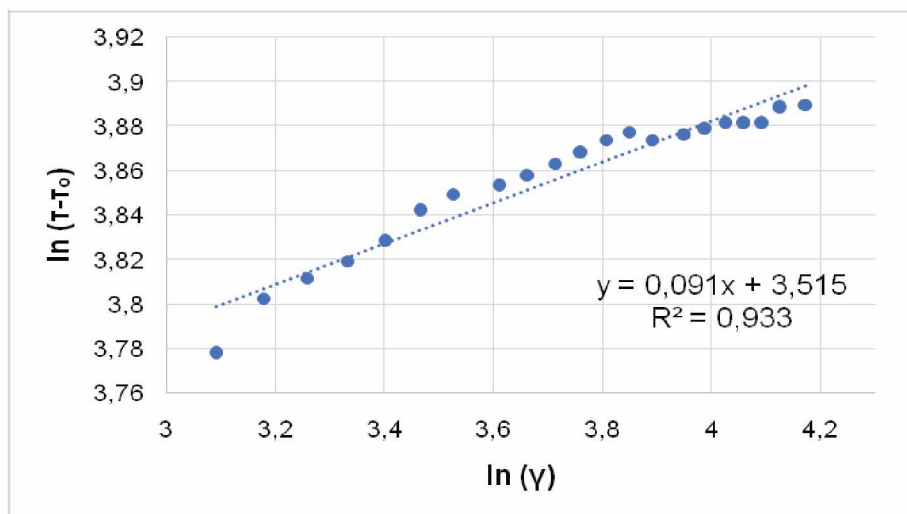


Figura 18d: Dados dos iogurtes BI a 45°C ajustados ao modelo de Herschel-Bulkley.





## ANEXO A: ESPECIFICAÇÕES DOS PARÂMETROS DO PROGRAMA RHEOCALC V3.3.

Comando	Função	Descrição
SSN	Definir velocidade	Execute o reômetro na velocidade especificada
WTP	Aguarde a temperatura	Permaneça na etapa útil (sem coleta de dados) até o valor especificado de temperatura seja atingido
SSP	Selecionar o spindle	Ajuste o spindle para usar com o reômetro. O usuário será solicitado a conectar este spindle ao reômetro, e o SRC dele será usado para todos os cálculos
WTI	Esperar determinado tempo	Permaneça na etapa útil (sem coleta de dados) até o intervalo de tempo especificado decorrer
DCI	Intervalo de coleta de dados	Comece a coletar dados sem intervalo de tempo especificado
LSC	Iniciar contagem de loop	Marca o início de um loop. Execute todos os comandos, iniciando após este até o próximo LEC (final do loop), o número de vezes especificado
SSI	Acréscimo ou decréscimo de velocidade	Aumentar ou diminuir a velocidade atual pelo valor especificado
LEC	Finalizar contagem de loop	Marca o final de um loop. Execute todos os comandos anteriores a este para retornar ao LSC mais recente o número de vezes indicado no LSC