

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS CAMPO MOURÃO
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ALIMENTOS
CURSO ENGENHARIA DE ALIMENTOS

KÉZIA RITHÁSSIA PICCOLI

**INFLUÊNCIA DA CRIOCONCENTRAÇÃO NAS PROPRIEDADES
REOLÓGICAS DE SUCOS DE UVA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2015

KÉZIA RITHÁSSIA PICCOLI

**INFLUÊNCIA DA CRIOCONCENTRAÇÃO NAS PROPRIEDADES
REOLÓGICAS DE SUCOS DE UVA**

Trabalho de conclusão de curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso Engenharia de Alimentos do Departamento Acadêmico de Alimentos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Campo Mourão, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Bogdan Demczuk Jr.

CAMPO MOURÃO
2015



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Campo Mourão

Departamento Acadêmico de Alimentos
Engenharia de Alimentos



TERMO DE APROVAÇÃO

INFLUÊNCIA DA CRIOCONCENTRAÇÃO NAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE SUCOS DE UVA

por

KÉZIA RITHÁSSIA PICCOLI

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado dia 1º de julho de 2015 como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Bogdan Demczuk Junior

Profª. Drª. Roberta de Souza Leone

Prof. Dr. Odinei Hess Gonçalves

Nota: O documento original e assinado pela banca examinadora encontra-se na coordenação de Engenharia de Alimentos da UTFPR campus Campo Mourão.

DEDICO

A Deus, por todas as bênçãos que iluminam meu caminho,

A Elizete e Pascoal, pais amados, pelo amor e por tudo que fizeram para que eu completasse mais essa etapa da minha vida,

A minha querida irmã Karen, pela compreensão em todos os momentos difíceis, pelas alegrias e companheirismo,

Ao Alexandre por todo apoio e amor incondicional.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por estar sempre em primeiro lugar. Obrigado, Senhor, pela chance de chegar até aqui e concretizar mais esta etapa da minha vida.

Agradeço à minha família, ao meu pai Pascoal Roberto Piccoli, a minha mãe Elizete das Graças Sturion Piccoli e a minha irmã Karen Raiane Piccoli, que sempre me apoiaram e acreditaram em mim, proporcionando bom exemplo e amor. Sem vocês eu não teria conquistado esse sonho, obrigada por tudo.

Ao meu namorado, Alexandre Pedro Santana, que nunca mediu esforços para me ajudar, que dividia comigo minhas angústias e conquistas, por sempre estar do meu lado, com todo amor e carinho. Você me fez acreditar que somos capazes de tudo, é só querermos. Amo você!

Ao Professor Dr. Bogdan Demczuk Junior, pela sua orientação, paciência, amizade e a oportunidade de realizar este trabalho com ele. Muito obrigada!

Aos membros da banca examinadora, Professor Odinei Hess Gonçalves e Professora Roberta de Souza Leone, pela atenção, correções e indispensáveis contribuições para este trabalho. Prof^a Roberta, agradeço imensamente por ter cedido sua centrífuga para a realização deste trabalho.

À Professora Tanatiana Guelbert, pela paciência, incentivos durante a graduação e por ser minha orientadora de estágio. Muito obrigada professora, por me ouvir e me amparar nos meus momentos mais difíceis.

As minhas amigas de longa data: Ana Cláudia, Cíntia, Renata, Carlinda, Fran e aos meus primos Jhonatan, Weslen, Almir, que sempre foram compreensivos comigo, me auxiliaram e deram força, mesmo quando não podíamos nos ver devido a correria da graduação. Vocês são essenciais na minha vida.

À minha companheira de apartamento e amiga, Luana Abramski, que sempre compartilhou os momentos de desesperos e alegrias. Agradeço por você ter sido minha segunda família, Lu!

À minha amiga Elisandra Rech (Kyka), que me abandonou durante a graduação, mas que, mesmo longe, sempre esteve por perto. Obrigada por tudo, pelas palavras de consolo e principalmente, pela sua amizade verdadeira.

Aos meus amigos feitos pelo caminho da graduação, em especial: Renan, André (Déco), Daiane Andrade, Thaís Fernanda, Luiza, Fábio, Wedisley, Kamila, Heloísa, que me incentivaram a continuar em momentos particulares, e tornaram esse sonho mais fácil. Vocês fazem e sempre farão parte da minha vida, e é com vocês que carrego meu sorriso mais sincero.

As minhas “novas” amigas: Beatriz, Valriane, Thaís (Japa), Ketlyn, que apareceram na vida no final da graduação, para tornar esse momento mais alegre. Obrigada por todos os sorrisos, conversas, conselhos e espero que continuem fazendo parte da minha vida.

Agradeço à UTFPR – campus Campo Mourão e aos professores que me acompanharam e apoiaram nessa longa caminhada. Com certeza foi minha melhor escolha!

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram com o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

PICCOLI, K. R. **Influência da crioconcentração nas propriedades reológicas de sucos de uva**. 2015. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Engenharia de Alimentos), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2015.

Suco de uva é o líquido límpido ou turvo extraído da uva por meio de processos tecnológicos adequados. A crioconcentração é uma técnica de concentração que apresenta a vantagem de manter a qualidade nutricional e os compostos voláteis do produto. O estudo do comportamento reológico é imprescindível para que se obtenha eficiência nos processos de dimensionamento, redução de gastos com formulações e elaboração do produto. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da crioconcentração em sucos de uva integrais (verde e tinto) nas propriedades reológicas. Foi observado que três etapas consecutivas de crioconcentração elevaram o teor de sólidos solúveis totais do suco de uva verde de 18,50 °Brix para 45,00 °Brix, o que representa 2,43 vezes do valor inicial. O suco de uva tinto apresentou um aumento de 16,50 °Brix para 44,52 °Brix, representando 2,70 vezes do valor inicial. Em termos de eficiência, a crioconcentração do suco de uva verde foi mais eficiente que a do suco de uva tinto, pois os valores das constantes de partição efetiva (k) para ambos os processos foram de 0,34 e 0,29, respectivamente. Para ambos os sucos, o método se mostrou satisfatório para a obtenção de um produto concentrado. O efeito da temperatura sobre o comportamento reológico dos sucos de uva foi analisado (entre 10 a 40 °C) por meio de análises reológicas. As curvas de escoamento demonstraram comportamento newtoniano para os sucos de uva integrais e crioconcentrados, com ajuste satisfatório do modelo de Ostwald-de-Waele. O efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente dos sucos foi verificado através da equação de Arrhenius e analisado em relação à energia de ativação, cujo maior valor foi obtido para o suco de uva verde crioconcentrado.

Palavras-chave: *Vitis labrusca*, crioconcentração, reologia.

ABSTRACT

PICCOLI, K. R. **Influence of freeze concentration on rheological properties of grape juice.** 2015. 71f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Engenharia de Alimentos), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2015.

Grape juice is a clear or turbid liquid extracted from grape by means of suitable technological processes. Freeze concentration is a technique that has the advantage of maintaining nutritional quality and volatile compounds from the product. Studying of the rheological behavior assay is essential to get efficiency in processes of dimensioning, reduction of expenses with formulations and preparation of the product. The objective of this study was to evaluate the influence of freeze concentration in of the rheological properties whole grape juices (green and red). It was observed that three consecutive stages of freeze concentration increased the total soluble solids content of green grape juice from 18.50 °Brix to 45.00 °Brix, which represent 2.43 from the initial value. The red grape juice increased from 16.50 °Brix to 44.52 °Brix, representing 2.70 from the initial value. In terms of efficiency, freeze concentration of green grape juice was more efficient than red grape juice, since the values of the effective partition constants (k) for both processes were 0.34 and 0.29, respectively. For both juices, freeze concentration was a satisfactory method for a concentrated product. The effect of temperature on the juices rheological behaviour was evaluated (from 10 to 40 °C) through rheological analysis. The flow curves demonstrated Newtonian behavior to obtain the whole grape juices freeze-concentration, with satisfactory adjustment to Ostwald-de-Waele equation. The effect of temperature on the apparent viscosity of the juices was verified through the Arrhenius equation and their activation energy were analysed, which higher value was obtained for freeze-concentration green grape juice.

Key-words: *Vitis labrusca*, Freeze concentration, Rheology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma simplificado do processo de fabricação do suco de uva. .	26
Figura 2. Digrama esquemático do cisalhamento de uma amostra quando esta sofre uma tensão de cisalhamento.....	31
Figura 3. Curvas de fluxo para diferentes tipos de fluidos. Onde: τ = Tensão de cisalhamento (Pa) e γ = Taxa de cisalhamento (s^{-1}).	33
Figura 4. Reograma para fluidos dependentes do tempo.	35
Figura 5. Suco de uva verde congelado (A), suco de uva tinto congelado (B), gelo retido após a primeira separação do suco de uva verde crioconcentrado (C) e gelo retido após a primeira separação do suco de uva tinto crioconcentrado (D).	45
Figura 6. Relação entre $\ln(C_0/C_i)$ e $\ln(V_0/V_i)$ para os diferentes sucos.	46
Figura 7. Efeito do número de crioconcentrações na constante de partição efetiva (k) para os sucos de uva integrais verde e tinto.	46
Figura 8. Relação entre a taxa de deformação e a tensão de cisalhamento descrita pelo modelo de Ostwald-de-Waelle para o suco de uva verde integral entre 10 °C a 40 °C.	49
Figura 9. Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de cisalhamento descrita pelo modelo de Ostwald-de-Waelle para o suco de uva verde crioconcentrado entre 10 °C a 40 °C.....	49
Figura 10. Relação entre a taxa de deformação e a tensão de cisalhamento descrita pelo modelo de Ostwald-de-Waelle para o suco de uva tinto integral entre 10 °C a 40 °C.	51
Figura 11. Relação entre a taxa de deformação e a tensão de cisalhamento descrita pelo modelo de Ostwald-de-Waelle para o suco de uva tinto crioconcentrado entre 10 °C a 40 °C.....	51
Figura 12. Curva da viscosidade aparente do suco de uva tinto integral entre 10 °C a 40 °C.....	52
Figura 13. Curva da viscosidade aparente do suco de uva tinto crioconcentrado.	53
Figura 14. Curva da viscosidade aparente do suco de uva verde integral.	53

Figura 15. Curva da viscosidade aparente do suco de uva verde crioconcentrado.	54
Figura 16. Efeito da temperatura na viscosidade aparente dos sucos de uvas integrais e crioconcentrados ajustado pela equação de Arrhenius. SVI: Suco de uva verde integral; SVC: Suco de uva verde crioconcentrado; STI: Suco de uva tinto integral; STC: Suco de uva tinto crioconcentrado.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Modelos reológicos mais comuns na literatura.....	36
Tabela 2. Valores obtidos na crioconcentração do Suco de uva Integral Verde e Tinto.	43
Tabela 3. Dados reológicos suco de uva verde ajustado pelo modelo Lei da Potência nas temperaturas de 10 °C a 40 °C.....	47
Tabela 4. Dados reológicos suco de uva tinto ajustado pelo modelo Lei da Potência nas temperaturas de 10 °C a 40 °C.....	50
Tabela 5. Energia de ativação dos sucos de uva estudados.	56

NOMENCLATURA

A - Área (m²)

A – Parâmetro reológico semelhante a τ_0 (adimensional)

B – Parâmetro reológico que mede a taxa de queda da estrutura (adimensional)

C₀ - Concentração de soluto na fase líquida inicial (°Brix)

C_i - Concentração de soluto na fase líquida em um tempo arbitrário (°Brix)

C_s - Concentração de soluto na fase de gelo no limite (°Brix)

E_{at} - Energia de ativação para viscosidade (kJ/mol)

F - Força (N)

k - Parâmetro de ajuste (adimensional)

K - Constante de partição efetiva (adimensional)

K - Índice de consistência (Pa.s)

R - Constante universal dos gases (kJ/mol.K)

t - Tempo (s)

T - Temperatura (K)

V₀ - Volume da fase líquida inicial (mL)

V_i - Volume da fase líquida em um tempo arbitrário (mL)

LETRAS GREGAS

η - Índice de comportamento do escoamento (adimensional)

η_{ap} - Viscosidade aparente (mPa.s)

η_o - Fator pré-exponencial (mPa.s)

η_p - Viscosidade plástica (mPa.s)

γ - Taxa de cisalhamento (s^{-1})

μ - Viscosidade absoluta (Pa.s)

τ - Tensão de cisalhamento (Pa)

τ_o - Tensão de limite de escoamento (Pa)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	17
2.1 OBJETIVO GERAL	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1 SUCO DE UVA	18
3.2 COMPOSIÇÃO DO SUCO DE UVA	19
3.2.1 Água	19
3.2.2 Açúcares.....	19
3.2.3 Ácidos Orgânicos.....	20
3.2.4 Minerais	20
3.2.5 Substâncias Nitrogenadas	21
3.2.6 Vitaminas	21
3.2.7 Pectina.....	21
3.2.8 Compostos Fenólicos	22
3.3 PROCESSO DE ELABORAÇÃO DO SUCO DE UVA	24
3.4 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA	27
3.5 CRIOCONCENTRAÇÃO.....	28
3.6 REOLOGIA	30
3.6.1 Classificação reológica dos fluidos	31
3.6.2 Modelos Reológicos.....	36
3.6.3 Efeito da temperatura no comportamento reológico	38
4 MATERIAIS E MÉTODOS	40
4.1 OBTENÇÃO E TRATAMENTO DAS AMOSTRAS.....	40
4.2 MÉTODO DA CRIOCONCENTRAÇÃO	40
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	43

5.1 CRIOCONCENTRAÇÃO.....	43
5.2 ANÁLISE REOLÓGICA.....	47
5.2.1 Viscosidade Aparente	52
5.2.2 Efeito da temperatura no comportamento reológico	55
CONCLUSÕES	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59

1 INTRODUÇÃO

As uvas (*Vitis labrusca*) são usadas em todo o mundo para consumo *in natura* e processamento (CAMARGO; MAIA; RITSCHHEL, 2010). As bebidas à base de uva ganham destaque por apresentarem alto teor de açúcar, minerais (SANTANA *et al.*, 2008) e substâncias antioxidantes, como as antocianinas (MULINACCI *et al.*, 2008).

Suco de uva é o líquido límpido ou turvo extraído da uva por meio de processos tecnológicos adequados. É uma bebida não fermentada, de cor, aroma e sabor característicos. O suco de uva é submetido a tratamento que assegure sua apresentação e conservação até o momento do consumo. Quanto à cor, pode ser classificado como tinto, rosado e branco. O aroma e o sabor devem ser próprios da uva que deu origem ao suco (RIZZON; MENEGUZZO, 2007).

Entre 2008 e 2011, a produção de suco de uva integral e concentrado no Brasil aumentou em 32%, atingindo um total de cerca de 190 milhões de litros, enquanto a comercialização de suco de uva no país duplicou, entre 2004 e 2009, atingindo um crescimento de 117% (MELLO, 2012).

A demanda da indústria de bebidas para produtos de alta qualidade a preços aceitáveis, geralmente impulsiona o desenvolvimento de novas tecnologias de processo. Manter a aparência natural e o frescor, cria um conflito com fatores como a vida-de-prateleira, transporte e custos de armazenamento. Por isso, uma variedade de técnicas de concentração têm sido desenvolvidas para a remoção eficiente da água (GEA Process Engineering, 2012).

O emprego de calor, embora apresente maior eficiência de retirada de água, leva a uma perda de compostos voláteis, alterando as características sensoriais ou funcionais do produto (FELLOWS, 2006). Por exemplo, a perda ou a estabilidade de antocianinas varia consideravelmente com o tipo, a extensão e a duração do aquecimento (MULINACCI *et al.*, 2008). A crioconcentração é uma possível técnica de concentração que apresenta a vantagem de manter a qualidade nutricional e os compostos voláteis do produto por não empregar baixa pressão nem altas temperaturas. Neste processo, a solução é congelada e

durante o descongelamento a solução concentrada é separada da massa de gelo por gravitação forçada. Nessa condição, o bloco de gelo torna-se uma carcaça pela qual a solução concentrada passa, ficando apenas uma pequena quantidade de soluto retida entre os seus cristais (AIDER; HALLEUX; AKBACHE, 2009).

Durante o processamento, armazenamento, comercialização e consumo, alimentos fluidos em diferentes concentrações, estão sujeitos a diversas temperaturas. O conhecimento do comportamento reológico de sucos de frutas obtidos por processos inovadores ou mesmo tradicionais, concentrados ou não, é fundamental em engenharia de processos e equipamentos. O estudo da reologia também pode explicar as alterações que os alimentos sofrem durante as etapas da cadeia produtiva. Ainda, a definição de modelos adequados à descrição do escoamento é necessária ao projeto de tubulações e de bombas e aos sistemas de agitação e de mistura (VIDAL; GASPARETTO; GRADIN, 2005; HAMINIUK *et al.*, 2009; MCCLEMENTS, 2007).

E apesar de existirem vários trabalhos em literatura discutindo o efeito da concentração nas propriedades reológicas de diversos tipos de polpas de sucos de fruta, Chin *et al.* (2009) afirmam que a maioria deles investigou teores de sólidos relativamente baixos. Também não foram encontrados registros da influência da crioconcentração sobre o comportamento reológico do suco de uva.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência da crioconcentração no comportamento reológico de suco integral de uva das variedades tinto e verde.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Crioconcentrar os sucos de uva integral (tinto e verde) até teor de sólidos constante;
- Analisar os parâmetros matemáticos do processo de crioconcentração dos sucos de uva (tinto e verde);
- Avaliar as propriedades reológicas dos sucos de uva (tinto e verde) crioconcentrado em diferentes teores de sólidos;
- Avaliar o efeito da temperatura sobre a viscosidade nos sucos de uvas (tinto e verde) integrais e crioconcentrados.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 SUCO DE UVA

A legislação brasileira define suco de uva como uma bebida não fermentada, não alcoólica, obtida da parte comestível da uva sã, fresca e madura que resulta em produto com coloração, aroma e sabor característicos da fruta de origem (BRASIL, 1997). Segundo Rizzon e Meneguzzo (2007), quanto ao processamento e constituição, o suco de uva pode ser classificado em:

- Suco de uva integral: apresentado na sua concentração e composição natural, límpido ou turvo, não sendo permitida a adição de outro tipo de açúcar;
- Suco de uva concentrado: parcialmente desidratado com no mínimo 65° Brix em sólidos solúveis totais;
- Suco de uva desidratado: apresentado na forma sólida obtido pela desidratação do suco de uva, com teor de umidade máximo de 3 %;
- Suco de uva adoçado: adicionado de açúcar;
- Suco de uva reprocessado: obtido pela diluição do concentrado ou desidratado, até sua concentração natural.

Os sucos de uva são ricos em compostos fenólicos, que apresentam ação anticarcinogênica, antiviral e antioxidante (MENESES; MESSIAS; BARROS, 2011). Porém, apesar do suco de uva conter grande quantidade de compostos fenólicos, ele não possui a mesma quantidade que a uva *in natura*. A quantidade destes compostos também pode variar dependendo da espécie, cultivar, maturidade, condições climáticas e os tratamentos que a uva é submetida no processo de produção do suco, como o tempo de contato entre as partes sólidas da uva e o suco, o método utilizado para a extração, tratamento térmico, prensagem, a adição de ácidos ou dióxido de enxofre (PINTO *et al.*, 2011).

A principal característica apresentada pelas cultivares para a elaboração de sucos é a preservação do sabor natural da uva após o processamento. A maioria das cultivares *Vitis vinífera* apresenta sabor inferior após pasteurização, entretanto as cultivares americanas e híbridas mantêm, no suco, o aroma e o

sabor típico as da espécie *Vitis labrusca*, característico da uva *in natura* (LEÃO; SOARES; RODRIGUES, 2009).

3.2 COMPOSIÇÃO DO SUCO DE UVA

As uvas destinadas à elaboração de suco devem apresentar características específicas para tal finalidade, entre elas destaca-se a coloração intensa (uvas tintas), alto teor de açúcares e acidez equilibrada. Uma vez que a qualidade do produto final dependerá das particularidades das cultivares de uva utilizadas, das condições edafoclimáticas de cada região produtora, além das técnicas de elaboração adotadas (CAMARGO; MAIA, 2008).

A principal diferença entre a composição química do suco de uva e do fruto, está relacionada ao conteúdo de fibra bruta e óleo, componentes encontrados em maior quantidade nas sementes. A tecnologia de elaboração utilizada, especialmente as variáveis temperatura e tempo de extração, regula a solubilidade e a intensidade de difusão das substâncias contidas na película para o mosto, exercendo influência marcante na composição química do produto final (RIZZON; MENEGUZZO, 2007).

3.2.1 Água

A água é o principal elemento que compõe o suco de uva, sob o ponto de vista quantitativo. A água é extraída do solo pelas raízes da videira e armazenada nas células da uva, passando para o suco durante o processamento (RIZZON; MENEGUZZO, 2007).

3.2.2 Açúcares

Para as uvas destinadas ao processamento, o critério de caracterização mais utilizado é o teor de açúcares e acidez total (GUERRA, 2002). Os principais açúcares encontrados nas uvas são a frutose e a glicose, que geralmente são

responsáveis por 99% dos carboidratos no mosto e por 12 a 27% do peso das uvas maduras (DAUDT; SIMON, 2001). Carvalho *et al.* (2008) indicam que o teor de glicídios da uva é um dos principais responsáveis pelo sabor da uva, sendo que sua concentração é influenciada por diversos fatores, como características genéticas da cultivar, condições climáticas e tipo de solo.

3.2.3 Ácidos Orgânicos

A presença de ácidos orgânicos nas bagas das uvas, em quantidades adequadas, é um fator que determina se o mosto tem potencial de ser utilizado para produção de vinho ou suco (CONDE *et al.*, 2007). Os ácidos orgânicos são responsáveis pelo sabor ácido do suco de uva. Além disso, eles possuem um poder bactericida pronunciado. Os principais ácidos orgânicos presentes no suco de uva são os ácidos tartárico, málico e cítrico. Eles representam a ação estimulante da secreção salivar e do suco gástrico (RIZZON; MENEGUZZO, 2007).

O parâmetro é expresso em porcentagem de acidez titulável e nunca do total, devido aos componentes ácidos voláteis. As frutas apresentam uma quantidade de ácidos que em balanço com os teores de açúcares, representam um importante atributo de qualidade, contribuindo para a acidez e o aroma característico e perdem rapidamente a acidez com a evolução do amadurecimento. A acidez da uva pode apresentar no mínimo 0,41% de ácido tartárico na polpa e no suco de uva (PINHEIRO, 2008).

3.2.4 Minerais

Dos elementos minerais presentes na baga madura, o potássio é considerado o mais importante, não apenas pela sua quantidade, que pode representar até 50% do total de minerais presentes, mas também pela sua importância como ativador de enzimas, no transporte de açúcares e outros minerais e no controle do potencial osmótico (CONDE *et al.*, 2007). É também o elemento mineral que neutraliza os ácidos livres presentes na uva durante a

maturação e contribui para o aumento do pH e redução da acidez total (RIZZON; SGANZERLA, 2007).

3.2.5 Substâncias Nitrogenadas

Na sua constituição, o suco de uva apresenta substâncias nitrogenadas na forma de polipeptídeos, proteínas, nitrogênio amoniacal e aminoácidos. Em princípio, estão presentes os aminoácidos considerados essenciais para o organismo humano (RIZZON; MENEGUZZO, 2007).

3.2.6 Vitaminas

Vitaminas são substâncias que, em doses adequadas, são indispensáveis ao desenvolvimento e ao funcionamento do organismo. Sua falta determina problemas e lesões características. Normalmente, no suco de uva são encontradas as vitaminas do complexo B (tiamina, riboflavina e niacina) e o inositol (RIZZON; MENEGUZZO, 2007). A vitamina C (ácido ascórbico) é outro nutriente de destaque nas uvas, desempenhando um papel relevante na síntese tecidual e na defesa antioxidante do organismo (BARATA-SOARES *et al.*, 2004).

3.2.7 Pectina

As pectinas são derivadas do ácido poligalacturônico, apresentando-se na uva sob forma de protopectina, pectinas e ácido péctico. A protopectina encontra-se principalmente nas paredes primárias das células, transformando-se em pectina, à medida que a uva amadurece, amaciando a fruta. A pectina é a responsável pela formação de um dos precursores do álcool metílico durante a fermentação. E também permite a obtenção de doces e geleias de textura ideal, sendo as uvas americanas as mais utilizadas na elaboração destes produtos (GIOVANNINI, 2005).

3.2.8 Compostos Fenólicos

Os compostos fenólicos são constituintes fundamentais para as plantas e devido à sua imensa diversidade química, podendo exercer uma variedade de funções nos vegetais. Nas uvas, os compostos fenólicos são produzidos principalmente na casca e na semente, e estão entre os principais fatores que determinam parâmetros de qualidade dos sucos, tais como a cor e o sabor (ALLEBRANDT, 2012).

Os constituintes fenólicos têm uma grande importância na enologia, devido ao papel que desempenham direta ou indiretamente sobre a qualidade dos produtos obtidos a partir da uva. De fato, são os responsáveis pela cor e adstringência. Sua classificação é baseada na distinção entre compostos flavonoides e não flavonoides (BADALOTTI, 2011).

Entre as frutas, a uva é uma das maiores fontes de compostos fenólicos. Os principais fenólicos presentes na uva são os flavonoides (antocianinas, flavanóis e flavonóis), os estilbenos (resveratrol), os ácidos fenólicos (derivados dos ácidos cinâmicos e benzóicos) e uma larga variedade de taninos (MALACRIDA; MOTTA, 2005).

3.2.8.1 Antocianinas

As antocianinas são pigmentos vegetais solúveis em água que fornecem cor a uma variedade de vegetais, grãos de cereais, flores e frutos, como as bagas. As antocianinas pertencem à classe de compostos flavonoides vulgarmente conhecido como polifenóis. Nas últimas duas décadas, o interesse nas antocianinas tem aumentado devido à sua utilização como corantes alimentares naturais e suas potenciais propriedades na promoção da saúde (ANDERSEN, 2009).

As antocianinas se encontram largamente distribuídas na natureza e são responsáveis pela maioria das cores azul, violeta e todas as tonalidades de vermelho que aparecem em flores, frutos, algumas folhas, caules e raízes de plantas. Nas videiras, elas acumulam-se nas folhas durante a senescência e são

responsáveis pela coloração das cascas das uvas tintas, sendo encontradas também na polpa de algumas variedades de uvas (MALACRIDA; MOTTA, 2005).

A cor das antocianinas varia de acordo com suas estruturas químicas e das condições físico-químicas do meio (BADALOTTI, 2011).

3.2.8.2 *Taninos*

Os taninos são os compostos fenólicos que têm a capacidade de se combinarem com as proteínas e outros polímeros como os polissacáridos, provocando a sensação de adstringência, caracterizada pela perda do efeito de lubrificação da saliva por precipitação das proteínas. Os taninos podem ser classificados em hidrolisáveis e não hidrolisáveis e taninos condensados (CABRITA; SILVA; LAUREANO, 2003).

Os taninos estão presentes na película, sementes e engaço. Sua formação acompanha a utilização dos açúcares. Os frutos verdes apresentam grandes quantidades de taninos, que sofrem hidrólise durante o amadurecimento e mesmo durante o armazenamento da uva. Na uva madura, os taninos encontram-se basicamente nas sementes e no engaço e tem efeito sobre o sabor. Os taninos influenciam a qualidade da cor e seu grau de condensação relaciona-se à qualidade gustativa e à adstringência (BADALOTTI, 2011).

3.2.8.3 *Resveratrol*

É um polifenol de defesa, pertencente ao grupo das fitoalexinas (BAUR; SINCLAIR, 2006). Entre os estilbenos, o resveratrol é o mais conhecido, o qual se encontra na casca da uva e sua concentração varia em função de fatores diversos, entre eles a variedade de uva. Na uva esta fitoalexina é sintetizada na casca como resposta ao estresse causado por ataque fúngico, dano mecânico ou por irradiação de luz ultravioleta (FLANZY, 2000).

O resveratrol é um dos principais compostos fenólicos constituintes da uva com aplicabilidade farmacológica (MALACRIDA; MOTTA, 2005), seu teor sofre

variações nos produtos de mesma linha processados em diferentes indústrias (SOUTO *et al.*, 2001). O resveratrol presente no suco de uva tinto integral possui uma concentração biologicamente ativa, considerando o suco de uva uma grande fonte alimentícia deste composto (PAN; WANG; LI, 2009).

3.3 PROCESSO DE ELABORAÇÃO DO SUCO DE UVA

O processo escolhido para a produção do suco deve preservar o máximo das características originais da uva fresca, ou seja, manter o aroma, o sabor, coloração, entre outras propriedades. Devem ser evitadas quaisquer alterações de origem biológica ou causadas por ação de enzimas presentes naturalmente no suco. Deve-se atingir também uma estabilidade física e química do produto (MARZAROTTO, 2005)

A colheita é realizada quando a uva atinge o estado de maturação, que é quando a relação açúcar/acidez é tida como ideal para a produção do suco. A maturação é acompanhada com a análise de mudança de aspecto, consistência, teor de açúcar e de acidez. A colheita deve ser feita no período da manhã, preferencialmente em dias secos, evitando provocar danos físicos (MARZAROTTO, 2005).

Logo após ocorre a etapa de esmagamento das bagas da uva. Esse processo é realizado com o objetivo de rompê-las, liberando o suco, de forma que as sementes e engaços sejam preservados. Esta operação visa também à obtenção de uma boa dissolução de matérias corantes de taninos contidos na casca dilacerada (HASHIZUME, 2001).

O suco de uva tem uma ampla constituição de açúcares, a qual poderia ser facilmente fermentada pelas leveduras provenientes do próprio mosto e do ambiente (RIZZON; MANFROI; MENEGUZZO, 1998). A conservação tem como finalidade impedir que ocorra a fermentação alcoólica no produto acabado. As enzimas são adicionadas para degradar as substâncias pécticas da uva, agindo favoravelmente na extração, filtração e na clarificação do suco. Na filtração, retira-se micropartículas indesejáveis do suco, sem diminuir demasiadamente

sua estrutura e sua intensidade aromática. Como resultado obtém-se a sua clarificação (RIZZON; MENEGUZZO, 2007).

A seguir, o suco de uva é pasteurizado, já que o elevado teor de açúcar e o oxigênio oferecem condições especiais para o desenvolvimento de microrganismos que causam deteriorações no suco. Além de destruir a população microbiana, o calor favorece a estabilidade proteica e inativa as enzimas presentes na uva ou produzidas por fungos. A temperatura de aquecimento não pode ultrapassar os 90 °C, a fim de evitar um princípio de caramelização. Um outro processo de pasteurização pode ser realizado à vácuo a 40 °C, retirando todo o oxigênio presente, diminuindo o efeito da temperatura nos compostos voláteis da uva (VENTURIINI FILHO, 2005). Outros métodos físicos de conservação são a refrigeração, congelamento, tratamento “Ultra High Temperature”, filtração esterilizante, concentração, atomização e a liofilização (MARZAROTTO, 2005).

Ao final de todas as etapas, o suco está pronto para ser envasado, mas antes é importante efetuar uma análise físico-química da bebida, para certificar-se de que os parâmetros analíticos estejam enquadrados nos limites estabelecidos pela legislação brasileira. Outro aspecto relevante é fazer uma avaliação sensorial do produto, para detectar possíveis defeitos (RIZZON; MENEGUZZO, 2007).

A Figura 1 apresenta o fluxograma com as etapas para a obtenção do suco de uva.

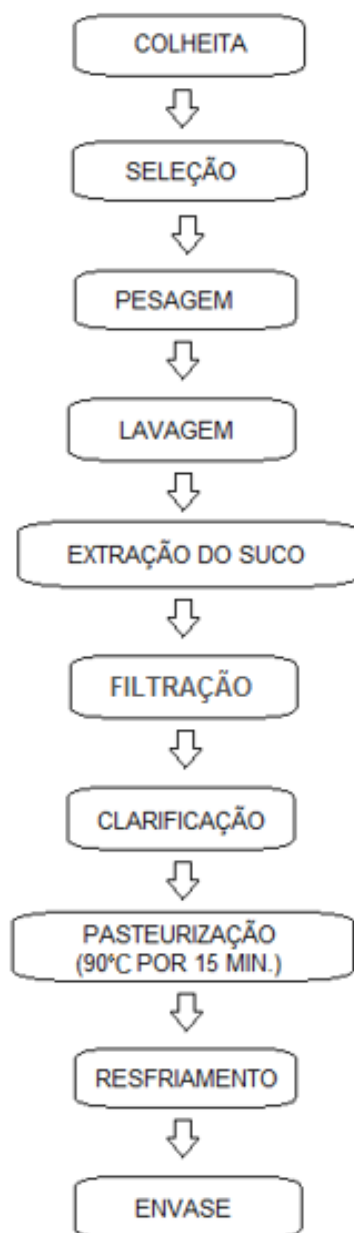


Figura 1. Fluxograma simplificado do processo de fabricação do suco de uva.

Fonte: Adaptado de Rizzon e Meneguzzo (2007).

3.4 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

De acordo com a legislação brasileira vigente o suco de uva é a bebida não fermentada, obtida do mosto simples, sulfitado ou concentrado de uva sã, fresca e madura, sendo tolerada a graduação alcoólica até 0,5% em volume (BRASIL, 2004).

Ainda segundo a Legislação Brasileira, conforme a Portaria nº 55, de 27 de julho de 2004, os sucos de uva são designados conforme os respectivos tipos:

- Suco de uva é o suco apresentado na sua concentração e composição natural, límpido ou turvo;
- Suco de uva concentrado é o suco parcialmente desidratado, por meio de processo tecnológico adequado, apresentando concentração mínima equivalente a 65 °Brix em sólidos naturais da fruta;
- Suco de uva desidratado é o produto sob a forma sólida, obtido pela desidratação do suco de uva, cujo teor de umidade não exceda a 3%;
- Suco de uva reprocessado ou reconstituído é o produto obtido pela diluição do concentrado e/ou desidratado até a sua concentração natural. A palavra reprocessado ou reconstituído deverá constar do rótulo no nome do produto;
- A designação integral ou simples será privativa do suco de uva sem adição de açúcares e na sua concentração natural;
- O suco de uva, quando adicionado de açúcares, trará no rótulo a designação suco adoçado.

O suco de uva deverá apresentar as características próprias da uva. O suco de uva concentrado poderá ser reincorporado dos seus componentes naturais aromáticos, perdidos durante o processamento. Fica proibida a adição de açúcar no suco de uva concentrado ou desidratado (BRASIL, 2004).

A conservação deverá ser feita por meios físicos adequados ou pelo emprego de conservadores químicos autorizados pelos presentes padrões. O produto não poderá ter suas características sensoriais e composição alteradas

pelos materiais dos recipientes, dos utensílios e/ou dos equipamentos utilizados no seu processamento e comercialização. Ao suco de uva simples ou integral ou reprocessado deverá ser sem adição de açúcares e na sua concentração natural (BRASIL, 2004).

3.5 CRIOCONCENTRAÇÃO

O processo de crioconcentração, que é um caso particular do processo de cristalização, onde se cristaliza a água de uma mistura que a contém e os cristais de gelo formados são separados da fase líquida concentrada. Este processo, aplicado a sistemas aquosos como sucos de frutas, que figuram entre os principais alimentos concentrados, desperta interesse na indústria de alimentos, por excluir plenamente perdas de aroma por evaporação e não modificar apreciavelmente a cor e o valor nutricional do alimento, resultando em um produto de melhor qualidade (SILVA, 2003). Quando comparada com tecnologias de evaporação, a alternativa da crioconcentração também apresenta vantagem da eficiência operacional e economia de capital (AHMED, 2004).

O suco é colocado em condições de temperatura para que só a água cristalize. Os produtos obtidos nesse processamento são de alta qualidade, porque não sofrem influência do calor (SPOTO, 2006) e não é necessário utilizar baixas pressões (AIDER; HALLEUX, 2009). A retirada parcial de água é um processo empregado para aumentar a estabilidade do alimento ao reduzir sua atividade de água e o volume e massa do alimento. Como resultado, há economia de energia e custos em demais operações como armazenamento, transporte e distribuição (MCLELLAN; PADILLA-ZAKOUR, 2004; FELLOWS, 2006). O emprego de calor, embora apresente maior eficiência de retirada de água, leva a uma perda de compostos mais voláteis, alterando as características sensoriais do produto (FELLOWS, 2006). A perda ou a estabilidade de antocianinas, por exemplo, varia consideravelmente com o tipo, a extensão e a duração do aquecimento (MULINACCI *et al.*, 2008).

Porém, para alimentos mais concentrados a remoção dos cristais de gelo torna-se mais difícil, a menos que seja possível a lavagem dos mesmos para

evitar perdas de produto. É importante considerar a temperatura em que a água do produto congela, e assim, a concentração deverá ser feita em temperatura superior a esta (DEGÁSPARI *et al.*, 2002).

Esta técnica é possível pois durante o congelamento a água transforma-se em gelo puro, aumentando a concentração dos solutos na fase líquida devido a quantidade decrescente de água disponível como solvente (HORVÁTH-KERKAI, 2006; REID; FENNEMA, 2010). Devido a essa característica, os alimentos não congelam a uma temperatura fixa e sim em uma faixa de temperatura. A maioria dos alimentos começa a congelar a temperatura de -1 °C a -3 °C, sendo que a maior mudança de fase ocorre na faixa de -4 °C a -10 °C. É considerado o congelamento completo dos alimentos somente em temperaturas abaixo de -40 °C (SINGH; SARKAR, 2005).

Aider e Halleux (2008) utilizaram a técnica de crioconcentração para concentrar os sucos de cereja e de damasco. Foi observado no estudo destes autores que a técnica pode ser utilizada repetidamente para aumentar gradativamente o teor de sólidos totais do suco e que as temperaturas de congelamento (-10 °C e -20 °C) não influenciaram na eficiência do processo. O uso da crioconcentração em produtos alimentícios, tem sido objeto de diversos estudos, tais como Aider, Halleux e Akbache (2009) e Sanchez *et al.* (2011a) que crioconcentraram soro de leite, Wiecheteck *et al.* (2005) empregaram a técnica em suco de maçã para a produção de sidra. Jabade e Rane (2005), usaram em soluções de cana-de-açúcar, Hernandez *et al.* (2009) em sucos de maçã e pêra, Sanchez *et al.* (2010) em suco de laranja e Sanchez *et al.* (2011b) em produtos lácteos.

Um dos parâmetros utilizados para representar o processo de crioconcentração é a constante de partição efetiva (K) do soluto entre as fases sólida e líquida na interface gelo-líquido, conforme a Equação 1 (LIU; MIYAWAKI; HAYAKAWA, 1999):

$$K = \frac{C_s}{C_l} \quad (1)$$

Onde: C_s é a concentração de soluto na fase de gelo no limite e C_l é a concentração de soluto na fase líquida. Como o parâmetro K define a eficácia de

congelamento progressivo da concentração, ele também pode ser experimentalmente determinado através do volume das frações obtidas, conforme a Equação 2 (LIU; MIYAWAKI; HAYAKAWA, 1999):

$$(1 - K) \ln \left(\frac{V_l}{V_0} \right) = \ln \left(\frac{C_0}{C_l} \right) \quad (2)$$

Onde: V_0 e V_l , respectivamente, são os volumes de fase líquida, no início e em um tempo arbitrário e C_0 e C_l , respectivamente, são as concentrações de soluto na fase líquida, no início e em um tempo arbitrário.

3.6 REOLOGIA

O termo reologia foi criado como derivação do termo grego “rheos” (fluir) e “logos” (estudo). Reologia é a ciência que estuda a deformação e o escoamento de materiais, ou seja, o modo como os materiais respondem à aplicação de uma tensão ou deformação (STEFFE, 1996). E tem por finalidade prever a força necessária para causar uma deformação ou escoamento em um corpo ou, reciprocamente, prever a deformação ou o escoamento resultante da aplicação de um dado sistema de forças em um corpo. Essas forças podem ser de compressão, tração ou cisalhamento (TATTERSALL; BANFILL, 1983).

A reologia abrange diferentes propriedades associadas à deformação da matéria (VRIESMANN, 2008). A viscosidade é a principal propriedade física de um líquido de resistir ao fluxo induzido pela tensão aplicada (cisalhamento). Ela é dependente da natureza físico-química da substância, da temperatura, da pressão, da taxa de cisalhamento e do tempo e para definir a viscosidade em função de um desses fatores os outros devem ser mantidos constantes e bem definidos (TATTERSALL; BANFILL, 1983).

O comportamento de um alimento durante o seu processo pode variar significativamente, pois a consistência e a composição do material pode ser alterada devido a etapas de mistura, aquecimento, resfriamento, homogeneização, aeração, fermentação, cristalização, contribuindo, portanto, na modificação da viscosidade (BHATTACHARYA, 1997).

Em muitas operações da indústria de alimentos, medir a viscosidade de um fluido é de extrema importância para controle de qualidade das matérias-primas e para avaliação do efeito das variações, tanto nas condições de processamento sobre os produtos durante a fabricação, como no produto final. O conhecimento da viscosidade pode contribuir para a otimização de processos, redução dos custos nos ingredientes e melhoria da consistência do produto (VENDRÚSCULO, 2005).

3.6.1 Classificação reológica dos fluidos

Para Scharamm (2000), a medição da viscosidade de fluidos requer a definição dos parâmetros envolvidos no escoamento. Isaac Newton foi o primeiro a expressar as leis básicas da viscosimetria, descrevendo o comportamento de fluxo de um fluido ideal, conforme mostra a Figura 2.

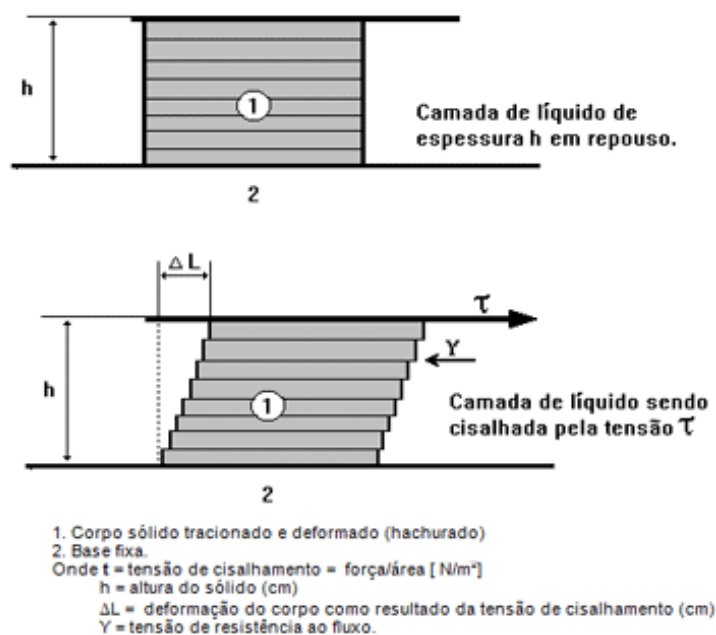


Figura 2. Digrama esquemático do cisalhamento de uma amostra quando esta sofre uma tensão de cisalhamento.

Fonte: SCHARAMM, 2000.

Newton considerou um modelo constituído por duas lâminas paralelas, de mesma área (A), próximas uma da outra, a uma distância (y), entre as quais existe um fluido. Ao se aplicar uma força tangencial (F) sobre a lâmina superior,

mantendo fixa a inferior, cada partícula do fluido percorre uma trajetória paralela às lâminas e com velocidade constante. No entanto, a velocidade das diversas partículas varia de v , junto à lâmina superior, à zero, junto à lâmina inferior. Newton postulou que a força tangencial (F) é diretamente proporcional a área (A) da lâmina e ao gradiente de velocidade ou taxa de cisalhamento (dv/dy). A relação (F/A) é denominada tensão de cisalhamento e a relação tensão de cisalhamento por taxa de cisalhamento é denominada viscosidade absoluta ou dinâmica (μ), apresentada na Equação 3 (SCHARAMM, 2000).

$$\mu = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\partial v}{\partial y}} = \frac{\tau}{\gamma} \quad (3)$$

Onde: μ = viscosidade absoluta (Pa.s); F = Força (N); A = Área (m²); τ = Tensão de cisalhamento (Pa) e γ = Taxa de cisalhamento (s⁻¹).

O comportamento dos fluidos está dividido em newtonianos e não-newtonianos. Os newtonianos são caracterizados por uma relação linear entre tensão de cisalhamento e a taxa de cisalhamento aplicada, dependendo apenas da temperatura e da composição do fluido (STEFFE, 1996). O fluido newtoniano é o fluido cuja viscosidade é invariável quando a temperatura é constante (HAMINIUK *et al.*, 2009).

Já fluidos não-newtonianos têm uma viscosidade que pode variar com a mudança da taxa de cisalhamento ou a tensão de cisalhamento para as diversas formas de fluidos (TATTERSALL; BANFILL, 1983).

A correlação entre tensão e taxa de cisalhamento define o comportamento de fluxo de um fluido (Figura 3).

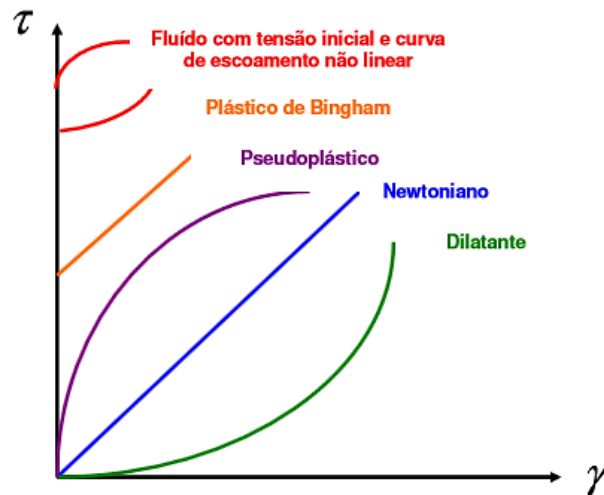


Figura 3. Curvas de fluxo para diferentes tipos de fluidos. Onde: τ = Tensão de cisalhamento (Pa) e γ = Taxa de cisalhamento (s^{-1}).

Fonte: SHARMA; MULVANEY; RIZVI, 2000.

Na curva referente ao fluido pseudoplástico, verifica-se que a viscosidade aparente diminui com a taxa de cisalhamento e o índice de comportamento (n) está entre zero e um ($0 < n < 1$). Emulsões, suspensões e dispersões são exemplos desse tipo de fluido (HAMINIUK, 2005). Por outro lado, no fenômeno caracterizado pela dilatância onde ($n > 1$), a viscosidade aumenta com a taxa de cisalhamento. O mel e as suspensões de amido são dois exemplos (STEFFE, 1996).

De acordo com Castro, Covas e Diogo (2001) a Equação 4 é a representação matemática do comportamento reológico dos fluidos newtonianos. Exemplos de fluidos alimentícios que exibem comportamento newtoniano são água, soluções de açúcar e óleo vegetal.

$$\tau = \mu \cdot \gamma \quad (4)$$

Onde: τ = Tensão de cisalhamento (Pa); μ = Viscosidade absoluta (Pa.s);
 γ = Taxa de cisalhamento (s^{-1}).

Os materiais não-newtonianos podem ser classificados em dois grupos, segundo Skelland (1967), como independentes do escoamento e do tempo, e dependentes do escoamento e do tempo.

Os fluidos não-newtonianos independentes do tempo são divididos em dilatantes, pseudoplásticos e plásticos de Bingham. O comportamento dilatante é caracterizado pelo aumento da viscosidade aparente com a taxa de cisalhamento, provocando ruptura da estrutura e a quantidade de líquido não é mais suficiente para a lubrificação, logo o atrito aumenta. Esse comportamento é explicado supondo-se o fluido constituído de partículas densamente empacotadas, com pequenos espaços intersticiais cheios de líquidos (HOLDSWORTH, 1971).

No comportamento pseudoplástico está classificada a grande maioria dos fluidos estudados. Para estes fluidos a viscosidade aparente depende da taxa de cisalhamento, mas não da duração do cisalhamento. É caracterizado pela diminuição da viscosidade aparente com o aumento da taxa de cisalhamento, ou seja, a tangente em cada ponto da curva de escoamento (viscosidade aparente) diminui com o aumento a taxa de cisalhamento (RAO, 1977). Segundo Holdsworth (1971), a explicação para este fenômeno é que o aumento da taxa de cisalhamento modifica a estrutura das moléculas de cadeias longas, alinhando-as paralelamente às linhas de corrente, diminuindo a resistência ao escoamento, pois, para as altas taxas de cisalhamento, o fluido apresenta um comportamento próximo ao Newtoniano. Essa classe é representada por produtos como polpas e sucos concentrados de frutas, caldos de fermentação, melão de cana e soluções de pectina (CHARM, 1963; HOLDSWORTH, 1971; VITALI; ROIG; RAO, 1974).

Segundo McClements (2007), o plástico de Bingham se comporta como um sólido sob condições estáticas. Certa quantidade de força deve ser aplicada antes que o fluxo seja induzido (tensão inicial). Alguns exemplos de fluidos alimentícios que representam esse comportamento são molhos de tomate, maionese, clara de ovo batida e margarina (BOURNE, 1982). A maioria dos alimentos se enquadra nessa classificação.

Os fluidos não-Newtonianos dependentes do tempo podem ser do tipo tixotrópicos e reopéticos. Um fluido tixotrópico é aquele no qual a viscosidade aparente diminui com o tempo quando o fluido é submetido a uma taxa de cisalhamento constante. Exemplos desse fluido são géis de alginato, clara de ovo, leite condensado açucarado, maionese, gelatinas, cremes, manteigas, molhos para saladas, suco de maçã com polpas, sucos concentrados de maracujá e laranja (SARAVACOS, 1970; VITALI; ROIG; RAO, 1974; RAO, 1977; RAO, 1986; SHARMA; MULVANEY; RIZVI, 2000).

Em fluidos reopéticos, a viscosidade aparente do fluido aumenta com o tempo quando sujeito a uma taxa constante de cisalhamento. Este tipo de comportamento não é comum em alimentos, mas pode ocorrer em soluções de amido altamente concentradas ou em casos de formação de estruturas como na preparação de creme de chantilly e de clara em neve. Fluidos desse grupo representam um comportamento reológico semelhante ao fluido pseudoplástico, no qual a viscosidade aparente diminui com o aumento da taxa de cisalhamento. A diferença desta diminuição não está relacionada somente com essa taxa, mas também com o tempo. A viscosidade aparente e a taxa de cisalhamento diminuem reversivelmente com o tempo de aplicação, quando a temperatura, a composição e a taxa são mantidas constantes (SHARMA; MULVANY; RIZVI, 2000).

A Figura 4 apresenta as curvas de escoamento para os fluidos dependentes do tempo.

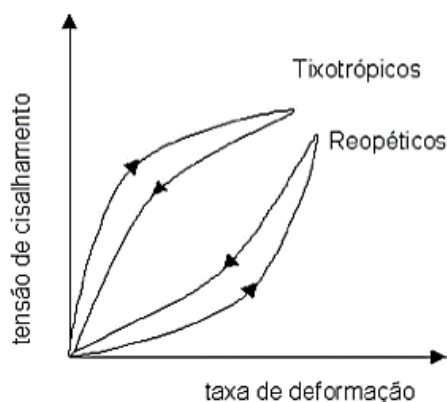


Figura 4. Reograma para fluidos dependentes do tempo.

Fonte: SHARMA; MULVANEY; RIZVI, 2000.

Os estudos da reologia em bebidas, tais como os sucos de frutas são de extrema importância e têm sido publicados por diversos autores, como Cabral, Queiroz e Figueirêdo (2002) que estudaram a polpa de cupuaçu. Silva, Guimarães e Gasparetto (2005) determinaram o comportamento suco de acerola. Haminiuk *et al.* (2009) avaliou misturas ternárias de frutas vermelhas, Grangeiro *et al.* (2007) que analisaram o comportamento reológico da polpa de banana e Guedes, Ramos e Diniz (2010) que estudaram polpa de melancia.

3.6.2 Modelos Reológicos

Os modelos reológicos são usados para uma melhor descrição do comportamento dos fluidos, permitindo relacionar as propriedades reológicas com outras grandezas, como concentração, temperatura e índice de maturação. O conhecimento destas grandezas é indispensável no controle em linhas de produção, no projeto e dimensionamento dos processos (BRANCO, 1995). A Tabela 1 apresenta os modelos reológicos mais utilizados para fluidos.

Tabela 1. Modelos reológicos mais comuns na literatura.

Modelo	Tensão	Viscosidade
Ostwald-de-Waele (Lei da Potência)	$\tau = K \cdot \dot{\gamma}^n$ (5)	$n = K \cdot \gamma^{n-1}$ (9)
Bingham	$\tau = \tau_0 + K_B \cdot \gamma$ (6)	$n = np + \frac{\tau_0}{\gamma}$ (10)
Herschell-Buckley	$\tau = \tau_0 + K_h \cdot (\dot{\gamma})^{n_h}$ (7)	$n = \frac{\tau}{\gamma} + K \cdot \gamma^{n-1}$ (11)
Casson	$\tau^{0,5} = \tau_0^{0,5} + K \cdot (\dot{\gamma})^{0,5}$ (8)	$n = \sqrt[n]{\left(\frac{\tau_0}{\gamma}\right)^n + (np)^n}$ (12)

Fonte: Adaptado por Mathias *et al.* (2013).

Onde:

τ - Tensão de cisalhamento (Pa);

K - Índice de consistência ($\text{Pa}\cdot\text{s}^n$), para Ostwald de Waelle;

n - Índice de comportamento do fluido (adimensional), para Ostwald de Waelle;

$\dot{\gamma}$ - Taxa de deformação (s^{-1});

τ_0 - Tensão residual (Pa);

K_h - Índice de consistência ($\text{Pa}\cdot\text{s}^n$), para Bingham;

K_B - Índice de consistência ($\text{Pa}\cdot\text{s}^n$), para Herschell-Buckley;

n_h - Índice de comportamento do fluido (adimensional), para Herschell-Buckley.

Os dados reológicos mais simples de serem ajustados são os de fluidos newtonianos, no entanto, a maioria dos alimentos, não apresenta esse tipo de comportamento e requer modelos mais complexos para sua caracterização (TABILO-MUNIZAGA; BARBOSA-CÁNOVAS, 2005).

Na literatura existem vários modelos reológicos, e o modelo a ser utilizado é uma função das características do fluido. Um dos modelos mais estudados e de fácil aplicação é o modelo de Oswald-de-Waelle (Lei da Potência) (BRETAS; D'ÁVILA, 2005).

Os fluidos newtonianos apresentam valor de n igual a 1. Porém, os fluidos não-newtonianos apresentam valor de n diferente de 1, sendo que, para o fluido pseudoplástico, o índice de comportamento do escoamento (n) é menor que 1 e a viscosidade aparente diminui com o aumento da taxa de cisalhamento. O inverso ocorre para fluido dilatante, onde o índice de comportamento do escoamento (n) é maior que 1 e a viscosidade aparente aumenta com a taxa de cisalhamento (TONELI; MURR; PARK, 2005).

O modelo da Lei da Potência tem sido adotado para interpretar o comportamento do suco de acerola (SILVA; GUIMARÃES; GASPARETTO, 2005), sucos concentrados de maracujá e laranja (BRANCO; GASPARETTO, 2005) e suco de tangerina e limão (MAGERRAMOV *et al.*, 2007).

3.6.3 Efeito da temperatura no comportamento reológico

A temperatura é um dos fatores que mais afeta a viscosidade das polpas de frutas, pois a maioria destes materiais apresenta-se na forma de sólidos dispersos em meios líquidos. 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 da polpa (PELEGRINE; VIDAL; GASPARETTO, 2000).

Segundo Krokida, Maroulis e Saravacos (2001), a temperatura tem um maior efeito no índice de consistência (K) em fluidos alimentícios não newtonianos, do que no índice de comportamento (n). O efeito da temperatura na viscosidade aparente de fluidos alimentícios, a uma taxa de cisalhamento constante, pode ser descrito pela equação de Arrhenius (RAO, 1986), na qual a viscosidade aparente diminui em uma função exponencial com o aumento da temperatura. A equação de Arrhenius é apresentada na Equação 13 (STEFFE, 1996).

$$\eta_{ap} = \eta_0 e^{\frac{E_{at}}{RT}} \quad (13)$$

Onde: η_{ap} = viscosidade aparente (mPa.s); η_0 = fator pré-exponencial (mPa.s); T = temperatura (K); R = constante universal dos gases (kJ/mol.K); E_{at} = Energia de ativação para viscosidade (kJ/mol)

A Equação 13 indica a tendência geral observada de uma diminuição da viscosidade aparente com o aumento da temperatura. Em geral, uma alta energia de ativação de fluxo implica que pequenas variações de temperatura são necessárias para modificar rapidamente a viscosidade (STEFFE, 1996).

O conhecimento da energia de ativação (E_{at}) e o parâmetro de ajuste (η) permite modelar matematicamente o comportamento reológico, bem como verificar os efeitos da temperatura sobre a viscosidade (GRATÃO; BERTO; SILVEIRA JÚNIOR, 2004). Segundo Pereira, Queiroz e Figueiredo (2003), maiores valores da energia de ativação significam que a viscosidade é relativamente mais sensível à mudança de temperatura.

Uma revisão da literatura realizada por Vitali (1981) sobre a influência da temperatura nos alimentos fluidos, mostrou que, de uma forma geral, os valores de energia de ativação encontram-se na faixa entre 1,5 a 15 kcal/mol (6,28 a 62,8 kJ/mol). Essa variação deve-se à faixa de temperatura considerada, à influência do teor de sólidos solúveis e em suspensão, e à presença de polímeros. Holdsworth (1971) observou valores maiores de energia de ativação para sucos clarificados newtonianos com altos teores de sólidos solúveis.

Alguns autores têm analisado a influência da temperatura sobre o comportamento reológico de suco e polpa de frutas, entre eles Sato (2005) que avaliou a variação de temperatura para a polpa de jabuticaba, Torralles *et al.*, (2006) comprovou o efeito da temperatura e concentração na viscosidade do purê de pêssego, Magerramov *et al.* (2007) avaliaram o efeito da temperatura e da concentração na viscosidade de suco de tangerina e limão e Bezerra *et al.* (2009), estudaram o efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa integral de morango na faixa de 10 °C a 60 °C. Todos estes autores verificaram a dependência de temperatura através da Equação de Arrhenius e concluíram que a viscosidade aparente diminui com o aumento da temperatura.

Branco e Gasparetto (2003) aplicaram a metodologia da superfície de resposta para o estudo do efeito da temperatura sobre o comportamento reológico de misturas ternárias de polpa de manga e sucos de laranja e cenoura, nas temperaturas de 10 e 60 °C. Os dados foram ajustados ao modelo de Ostwald-De-Waelle. Todas as formulações estudadas, independentemente da temperatura, apresentaram comportamento pseudoplástico. Dando continuidade a esse trabalho, em 2005 esses autores estudaram o comportamento da mistura a 60 °C utilizando o modelo de Casson. Os parâmetros reológicos tensão inicial e viscosidade plástica aumentaram com a fração de manga e reduziram com o aumento da fração de suco de laranja e de cenoura. Os autores observaram também que a energia de ativação diminuiu com o aumento da concentração das amostras.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 OBTENÇÃO E TRATAMENTO DAS AMOSTRAS

Foram selecionados Sucos de uva integral (tinto e verde) de embalagens de vidro, com capacidade de 1,5 L, oriundos do mesmo fabricante, adquiridos no comércio do município de Campo Mourão (PR). As amostras foram identificadas e armazenadas em temperatura de refrigeração até o momento da utilização.

4.2 MÉTODO DA CRIOCONCENTRAÇÃO

O processo de crioconcentração foi realizado de acordo com o trabalho de Wiecheteck *et al.*, (2005). Inicialmente utilizou-se um volume de 500 mL de suco de uva, do qual foi determinado o teor de sólidos solúveis com o auxílio de um refratômetro de bancada RL3 (Polskie Zakłady Optyczne).

Em seguida, o suco foi dividido em duas formas retangulares (10,5 cm por 24,2 cm) de alumínio (250 mL cada), para facilitar o congelamento através da exposição da superfície de contato. As formas foram sobrepostas, isoladas por filme de PVC e mantidas por aproximadamente 24 h em congelador à -20 °C. Após esse período, o suco congelado foi quebrado manualmente até obterem-se placas menores e acondicionado em um saco de poliéster. O saco foi colocado no interior de uma centrífuga (Wanke Inova II) e foi submetido à uma centrifugação (1800 rpm) até cessar a saída de suco (aproximadamente 1,5 minutos para o suco de uva branca e 4 minutos para o suco de uva tinto).

No saco ficou retida a água congelada, que foi acondicionada em um béquer para o descongelamento a fim de determinar seu volume e a concentração. O líquido concentrado foi recuperado e submetido à determinação do seu teor de sólidos solúveis (°Brix) e volume (mL) com o auxílio de uma proveta graduada.

O suco semiconcentrado foi novamente disposto em formas de alumínio e congelado, repetindo as etapas do procedimento descrito. O processo foi repetido por três vezes, quando se atingiu uma concentração constante. A partir do máximo

teor de sólidos obtido, os sucos das duas variedades foram utilizados para comparação nas análises do comportamento reológico.

4.3 ANÁLISE REOLÓGICA

A determinação do comportamento reológico dos sucos de uva seguiu a metodologia proposta por Karwowski *et al.* (2013), com algumas modificações.

Amostras de 10 mL de suco de uva (tinto e verde) nas formas integral e obtido por crioconcentração tiveram suas características reológicas avaliadas nas temperaturas de 10 °C, 20 °C, 30 °C e 40 °C. As medidas foram realizadas em reômetro Brookfield modelo LVDV III (Brookfield Engineering Laboratories, Massachussets, EUA) utilizando rotor (*spindle*) SC4-18 para o suco integral e para o suco concentrado. Um banho termostático Tecnal T-184 (Tecnal, Piracicaba, SP, Brasil) foi utilizado para manter a temperatura das amostras na faixa de estudo.

Os dados de viscosidade aparente (η_{ap}), tensão de cisalhamento (τ) e taxa de cisalhamento ($\dot{\gamma}$), foram obtidos utilizando o software Rheocalc (versão V3.1-1, Brookfield Engineering Laboratories, EUA).

Para cada corrida experimental, a curva ascendente teve uma duração de 2 minutos com a taxa de cisalhamento variando de 0 a 330 s⁻¹. Para ambas as curvas (ascendente e descendente), foram obtidos 25 pontos de tensão de cisalhamento *versus* taxa de cisalhamento, resultando em 50 pontos, dos quais foi calculado o valor médio da tensão de cisalhamento para cada taxa de cisalhamento. Duas corridas experimentais foram feitas para cada tipo de suco, e a tensão de cisalhamento resultante foi a média de dois valores experimentais.

Para o ajuste dos dados obtidos, foi utilizado o modelo Lei da Potência, apresentado anteriormente na Tabela 1 (Equação 5) (MATHIAS *et al.*, 2013).

$$\tau = K \cdot \dot{\gamma}^n \quad (5)$$

Onde: τ = tensão de cisalhamento (Pa); K = índice de consistência (Pa.s); n = índice de comportamento do escoamento (adimensional) e $\dot{\gamma}$ = taxa de cisalhamento (s^{-1}).

O melhor ajuste aos dados experimentais foi analisado com base no parâmetro R^2 (proporção da variação total da média explicada pela regressão). Quanto menor o valor de R^2 maior a distância dos pontos experimentais ao modelo ajustado. Portanto, o modelo que melhor se ajusta é aquele com altos valores de R^2 (próximo de 1) (MONTGOMERY; RUNGER, 2003).

Também foi avaliado o efeito da temperatura sobre o comportamento reológico do suco integral e crioconcentrado através da equação de Arrhenius, (descrita anteriormente pela Equação 13), que envolve a temperatura (T), a constante universal dos gases (R), o fator pré-exponencial (η_0) e a energia de ativação para viscosidade (E_{at}), calculada na taxa de cisalhamento de $110 s^{-1}$ (KARWOWSKI *et al.*, 2013).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 CRIOCONCENTRAÇÃO

Na Tabela 2 são apresentados os valores de volume (mL) e teor de sólidos solúveis (°Brix) das duas variedades de sucos ao longo dos três processos de crioconcentração.

Tabela 2. Valores obtidos na crioconcentração do Suco de uva Integral Verde e Tinto.

Nº de Crioconcentrações	Volume de suco (mL)		Teor de sólidos solúveis do suco (°Brix)		Volume do gelo (mL)		Teor de sólidos solúveis do gelo (°Brix)	
	Verde	Tinto	Verde	Tinto	Verde	Tinto	Verde	Tinto
Inicial	500	500	18,50 ^d ± 0,02	16,50 ^d ± 0,03	-	-	-	-
1	261	275	31,50 ^c ± 0,04	24,80 ^c ± 0,03	199	195	0,90 ± 0,02	1,00 ± 0,03
2	155	158	41,50 ^b ± 0,02	39,30 ^b ± 0,04	82	95	0,80 ± 0,02	1,00 ± 0,03
3	126	118	45,00 ^a ± 0,02	44,50 ^a ± 0,05	16	23	0,80 ± 0,02	0,90 ± 0,02

Nota: Letras diferentes sobrescritas aos valores na mesma coluna indicam diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

O suco de uva integral verde apresentou um teor de sólidos inicial 18,50 °Brix. Após a primeira etapa de crioconcentração, o teor de sólidos solúveis totais foi de 31,52 ± 0,04 °Brix, o que representou um aumento de aproximadamente 70,40%. Após a segunda etapa, o teor de sólidos aumentou para 41,52 ± 0,02 °Brix, representando um aumento de 31,70% em relação à concentração anterior. Após a terceira etapa, o teor de sólidos foi de 45,00 ± 0,02 °Brix, um aumento de 8,40% em relação à etapa anterior. Após esse número de crioconcentrações, o teor de sólidos solúveis totais permaneceu constante.

Para o suco de uva integral tinto, a concentração inicial foi de 16,50 °Brix. Após a primeira etapa de crioconcentração, o teor de sólidos solúveis totais aumentou para 24,82 ± 0,03 °Brix, apresentando aumento de 50,40% em relação à concentração inicial. Após a segunda etapa, o teor de sólidos aumentou para 39,32 ± 0,04 °Brix, representando 58,40% de aumento em relação à etapa

anterior. Após a terceira etapa, o teor de sólidos foi de $44,52 \pm 0,05$ °Brix, um aumento de 13,20% em relação a concentração anterior. Após esse número de crioconcentrações, o teor de sólidos solúveis totais também permaneceu constante.

A comparação das médias obtidas para o teor de sólidos de ambos os sucos evidencia a influência significativa de todas as etapas do processo de crioconcentração sobre o parâmetro analisado.

Wiecheteck *et al.* (2005) estudaram a crioconcentração do suco de maçã e observaram que o teor de sólidos solúveis aumentou de 13,50 °Brix para 22,50 °Brix após 2 etapas de crioconcentração, porém o aumento não foi expressivo após o terceiro ciclo. Aider, Halleux e Akbache (2009) aplicaram a crioconcentração sobre soro de leite e observaram que a base seca do soro aumentou progressivamente ao longo das etapas de concentração, de 6,93% para 34,20% (massa/massa) após 4 ciclos sucessivos, sendo que o quinto ciclo de crioconcentração não apresentou aumento significativo da porcentagem de base seca. Watanabe (2013) crioconcentrou suco de yacon e avaliou um aumento de 7,00 °Brix para 18,00 °Brix no teor de sólidos totais após o terceiro ciclo, não apresentando aumento significativo no quarto ciclo. Petzold *et al.* (2015) realizou a crioconcentração nos sucos de mirtilo e abacaxi, onde resultaram, após 3 repetições, um aumento de 13,00 °Brix para 33,00 °Brix em ambos os sucos.

Pode ser observado no presente trabalho que três etapas consecutivas de crioconcentração elevaram o teor de sólidos solúveis totais do suco de uva verde de 18,50 °Brix para 45,00 °Brix, o que representa 2,43 vezes o valor de teor de sólidos solúveis iniciais. E o suco de uva tinto, apresentou um aumento de 16,50 °Brix para 44,52 °Brix, representando 2,70 vezes o valor inicial.

O rendimento final das duas variedades de suco foi em média 24,40% e o teor de sólidos do gelo retido teve teores médios de sólidos solúveis totais inferiores a 1,00 °Brix.

A partir da Figura 5 pode-se observar os sucos de uva integrais verde e tinto congelado antes da etapa de centrifugação e o gelo retido após a centrifugação. Assim como foi descrito por Aider e Halleux (2008), uma carcaça

de gelo ficou retida no saco no interior da centrífuga durante o processo de crioconcentração, enquanto que o suco concentrado escoou através da carcaça.

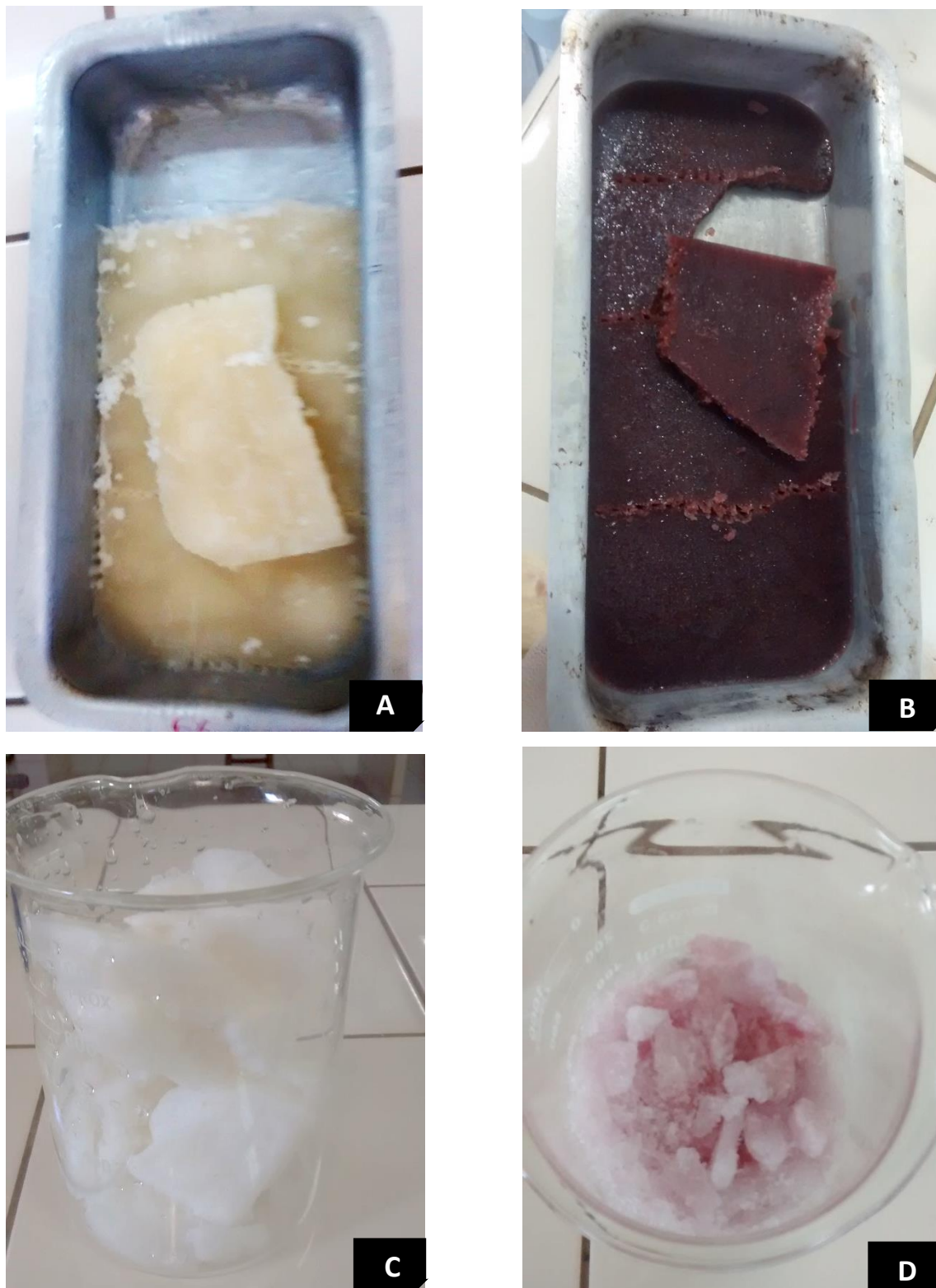


Figura 5. Suco de uva verde congelado (A), suco de uva tinto congelado (B), gelo retido após a primeira separação do suco de uva verde crioconcentrado (C) e gelo retido após a primeira separação do suco de uva tinto crioconcentrado (D).

A relação linear entre $\ln(C_0/C_i)$ e $\ln(V_0/V_i)$ foi obtida com auxílio da Equação 2. A constante de partição efetiva (k) foi obtida a partir da inclinação das retas, conforme mostrado na Figura 6.

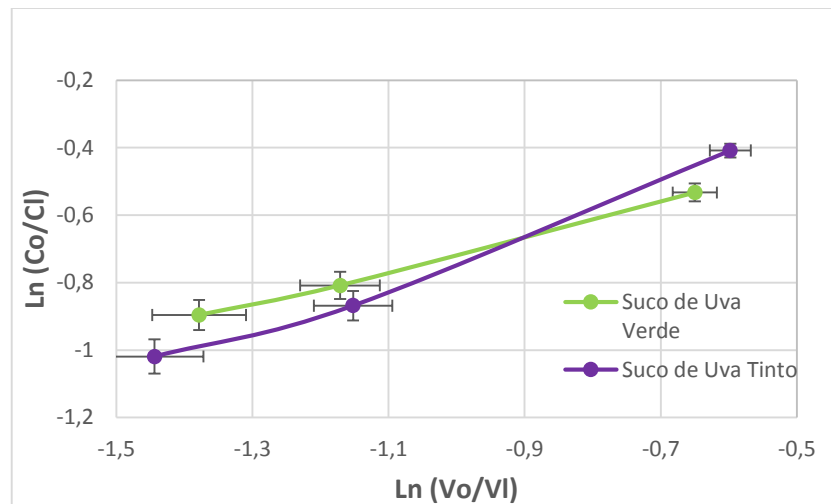


Figura 6. Relação entre $\ln(C_0/C_i)$ e $\ln(V_0/V_i)$ para os diferentes sucos.

Na Figura 7 é apresentado o efeito das etapas de crioconcentração na constante de partição efetiva (k) para cada suco, que também é utilizada para representar a eficiência da crioconcentração.

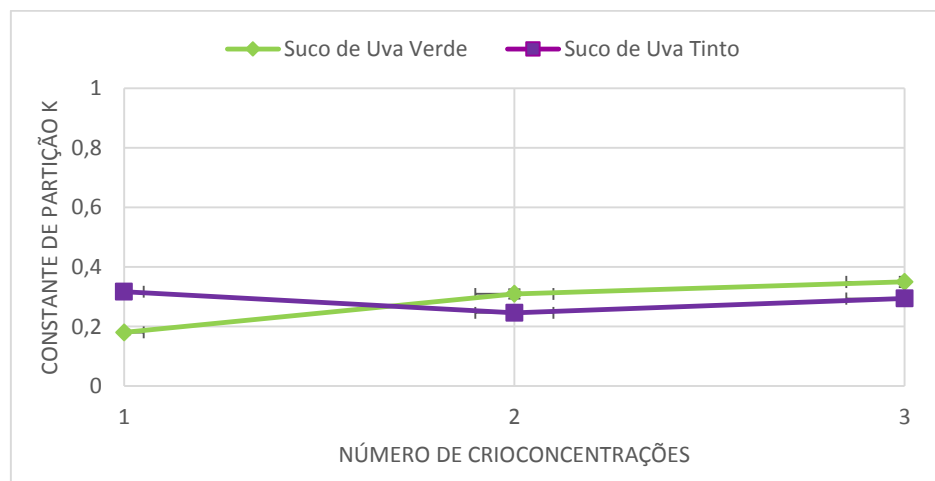


Figura 7. Efeito do número de crioconcentrações na constante de partição efetiva (k) para os sucos de uva integrais verde e tinto.

Foi observado que na primeira crioconcentração, o suco de uva verde apresentou uma constante k de 0,18 e, após as três etapas, a constante k foi de

0,34. Para o suco de uva tinto, no entanto, a constante de partição efetiva foi de 0,31 na primeira crioconcentração, reduzindo o valor para 0,24 na segunda etapa e aumentando para 0,29 na etapa final. Liu, Miyawaki e Hayakawa (1999) também determinaram a eficiência da crioconcentração em suco de tomate, obtendo o valor de K de 0,20.

Pode-se observar que a crioconcentração do suco de uva integral verde foi mais eficiente que a do suco de uva integral tinto. Isso pode ser explicado devido ao suco verde apresentar o teor de sólidos solúveis totais inicial maior do que comparado com o suco tinto. No entanto, ambos os sucos apresentaram o mesmo valor de teor de sólidos solúveis (aproximadamente 45 °Brix) ao final das três etapas.

5.2 ANÁLISE REOLÓGICA

Com os dados de tensão de cisalhamento e taxa de cisalhamento obtidos experimentalmente, foram realizados os ajustes ao modelo reológico da Lei da Potência. Foram obtidos os parâmetros matemáticos com a finalidade de descrever o comportamento reológico dos sucos de uva verde e tinto, integral e crioconcentrado.

Os parâmetros reológicos para o suco de uva verde integral e crioconcentrado são exibidos na Tabela 3, na faixa de temperatura entre 10 °C a 40 °C.

Tabela 3. Dados reológicos suco de uva verde ajustado pelo modelo Lei da Potência nas temperaturas de 10 °C a 40 °C.

T (°C)	Suco verde integral			Suco verde crioconcentrado		
	K (Pa.s ⁿ)	n*	R ²	K (Pa.s ⁿ)	n*	R ²
10	0,024	0,987	0,996	0,044	1,12	0,999
20	0,007	1,147	0,993	0,03	1,14	0,998
30	0,016	0,977	0,995	0,02	1,15	0,999
40	0,007	1,116	0,996	0,024	1,14	0,999

* adimensional

De acordo com os valores dos parâmetros de coeficiente de determinação (R²), os dados experimentais ajustaram-se adequadamente ao modelo da Lei da

Potência, apresentando valores maiores que 0,99 para o R^2 . O modelo de Ostwald-de-Waelle é o mais indicado por ser simples e de ampla aplicação tecnológica (BRANCO; GASPARETO, 2003), além de ser bastante utilizado para descrever o comportamento reológico de sucos e néctares.

O índice de comportamento do fluido (n) obtido pelo ajuste não linear dos dados de taxa de cisalhamento por tensão de cisalhamento caracterizou todas as amostras como fluidos newtonianos, pois para todos os tratamentos o valor de n foi próximo a um (1), confirmando a natureza newtoniana dos sucos verde integral e crioconcentrado. Nindo *et al.* (2005) observaram o comportamento reológico de sucos comerciais de framboesa e mirtilo, apresentando também um comportamento predominantemente newtoniano.

Comportamentos similares também foram observados por Silva, Guimarães e Gasparetto (2005), ao analisarem o efeito da temperatura nos parâmetros reológicos de suco de acerola, e por Cabral, Queiroz e Figueirêdo (2002), ao estudarem o comportamento reológico da polpa de cupuaçu peneirada.

Nas Figuras 8 e 9 são mostrados os comportamentos reológicos (curvas de fluxo) dos sucos de uva verde crioconcentrado e integral, respectivamente. Para os ajustes foram utilizadas as curvas ascendentes e descendentes, tomando os pontos que representam o valor médio dos dados experimentais dos reogramas, enquanto as linhas contínuas são os resultados dos ajustes ao modelo da Lei da Potência (Ostwald-de-Waelle).

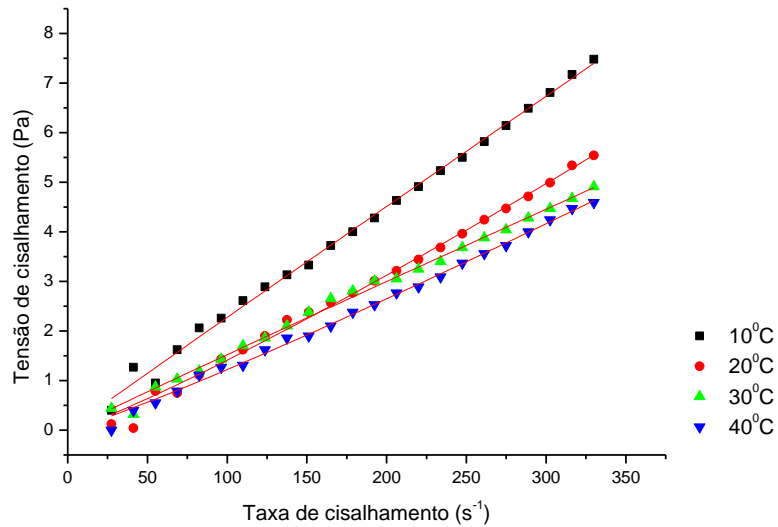


Figura 8. Relação entre a taxa de deformação e a tensão de cisalhamento descrita pelo modelo de Ostwald-de-Waele para o suco de uva verde integral entre 10 °C a 40 °C.

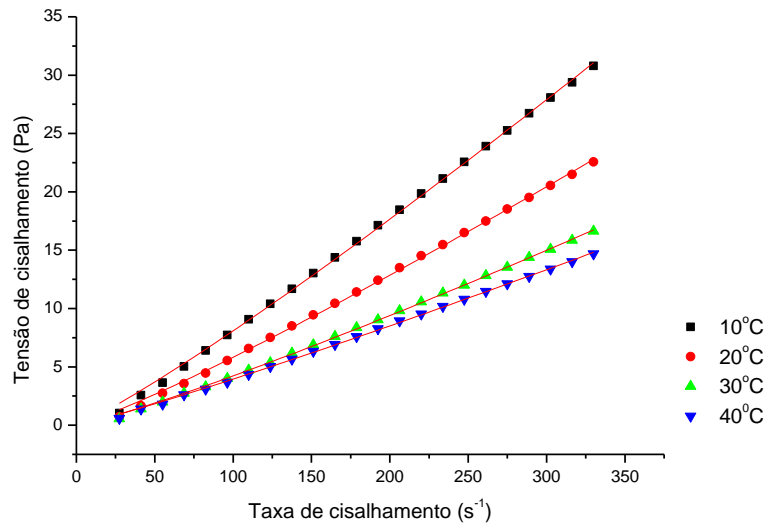


Figura 9. Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de cisalhamento descrita pelo modelo de Ostwald-de-Waele para o suco de uva verde crioconcentrado entre 10 °C a 40 °C.

Pode-se verificar o comportamento newtoniano para os sucos de uva verde, onde a inclinação das curvas aumenta com o aumento da tensão de cisalhamento. Os fluidos newtonianos são caracterizados por uma relação linear

entre tensão de cisalhamento e a taxa de cisalhamento aplicada, dependendo apenas da temperatura e da composição do fluido (STEFFE, 1996). Isto evidencia uma diminuição da viscosidade aparente com o aumento da taxa de deformação, resultando em uma maior diminuição para o suco de uva verde integral.

Os parâmetros reológicos para o suco de uva tinto integral e crioconcentrado são exibidos na Tabela 4, na faixa de temperatura de 10 °C a 40 °C.

Tabela 4. Dados reológicos suco de uva tinto ajustado pelo modelo Lei da Potência nas temperaturas de 10 °C a 40 °C.

T (°C)	Suco tinto integral			Suco tinto crioconcentrado		
	K (Pa.s ⁿ)	n*	R ²	K (Pa.s ⁿ)	n*	R ²
10	0,031	0,932	0,994	0,0487	1,11	0,999
20	0,0143	1,024	0,997	0,0396	1,097	0,999
30	0,009	1,069	0,992	0,0303	1,09	0,999
40	0,0063	1,119	0,994	0,0243	1,096	0,999

*adimensional

De acordo com os parâmetros reológicos para o suco de uva tinto, pode ser observado que o modelo da Lei da Potência ajustou-se adequadamente aos dados experimentais, apresentando valores acima de 0,99 para o coeficiente de determinação (R²), sendo mais próximo de 1 no suco de uva tinto crioconcentrado em toda a faixa de temperatura estudada.

O modelo da Lei da Potência foi anteriormente utilizado por Silva *et al.* (2012) em polpas de acerola. Maceiras, Álvarez e Cancela (2007) também verificaram que os dados obtidos na análise reológica de purês de frutas apresentaram melhor ajuste ao modelo da Lei da Potência.

Na Figura 10 e 11 é apresentado o comportamento reológico dos sucos de uva tinto integral e crioconcentrado, respectivamente. Para os ajustes foram utilizadas as curvas ascendentes e descendentes, sendo tomando os pontos que representam o valor médio dos dados experimentais, enquanto as linhas contínuas são os resultados dos ajustes ao modelo da Lei da Potência (Ostwald-de-Waelle).

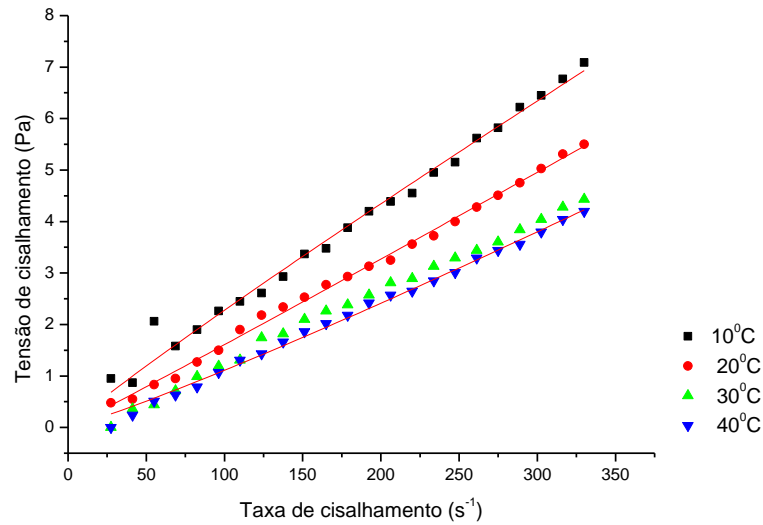


Figura 10. Relação entre a taxa de deformação e a tensão de cisalhamento descrita pelo modelo de Ostwald-de-Waele para o suco de uva tinto integral entre 10 °C a 40 °C.

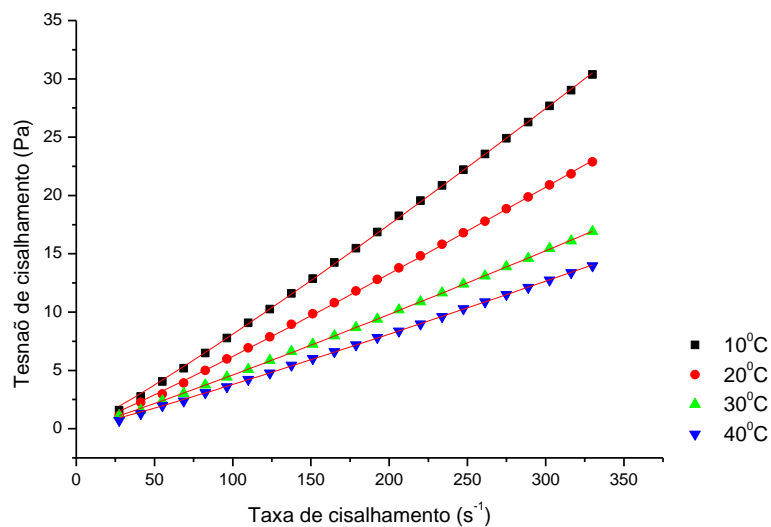


Figura 11. Relação entre a taxa de deformação e a tensão de cisalhamento descrita pelo modelo de Ostwald-de-Waele para o suco de uva tinto crioconcentrado entre 10 °C a 40 °C.

Observou-se que as amostras dos sucos de uva verde e tinto apresentaram comportamentos semelhantes, apresentando uma relação diretamente proporcional entre tensão de cisalhamento e taxa de cisalhamento, ou seja, com o aumento da taxa de cisalhamento aplicada observou-se aumento da tensão de cisalhamento, sugerindo que o fluido é do tipo newtoniano.

Este comportamento newtoniano foi observado em estudos com polpa de yacon (LAGO *et al.*, 2011), polpa de caju clarificada (CIANCI *et al.*, 2005), suco de cenoura integral (VANDRESSEN *et al.*, 2009), misturas ternárias de morango, amora-preta e framboesa centrifugadas (HAMINIUK *et al.*, 2009) e polpa de pitanga clarificada (ONGARATTO; VIOTTO, 2009).

Segundo Scharramm (2000) as propriedades reológicas de fluidos newtonianos são independentes da taxa de cisalhamento e do histórico anterior do cisalhamento e dependentes somente da composição e da temperatura. A independência dos valores de tensão de cisalhamento (τ) em relação à taxa de cisalhamento (γ) demonstra a característica newtoniana dos sucos de uva.

5.2.1 Viscosidade Aparente

Nas Figuras 12 a 15, observa-se a variação da viscosidade aparente em função da taxa de cisalhamento dos sucos de uva verde e tinto (integral e crioconcentrado).

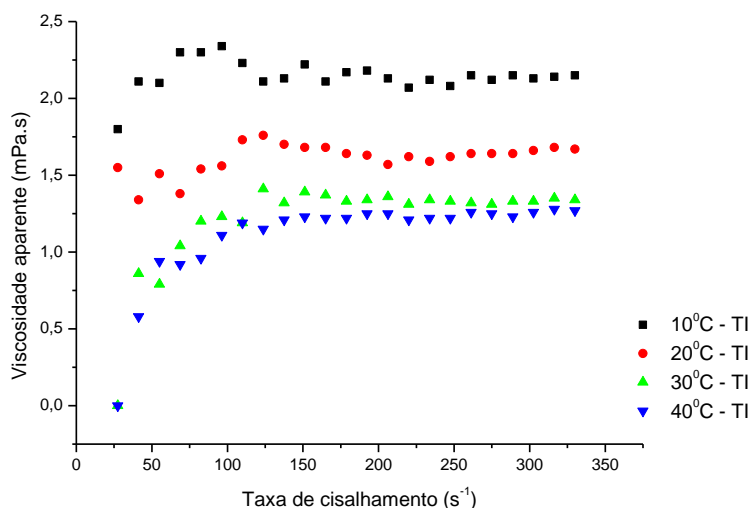


Figura 12. Curva da viscosidade aparente do suco de uva tinto integral entre 10 °C a 40 °C.

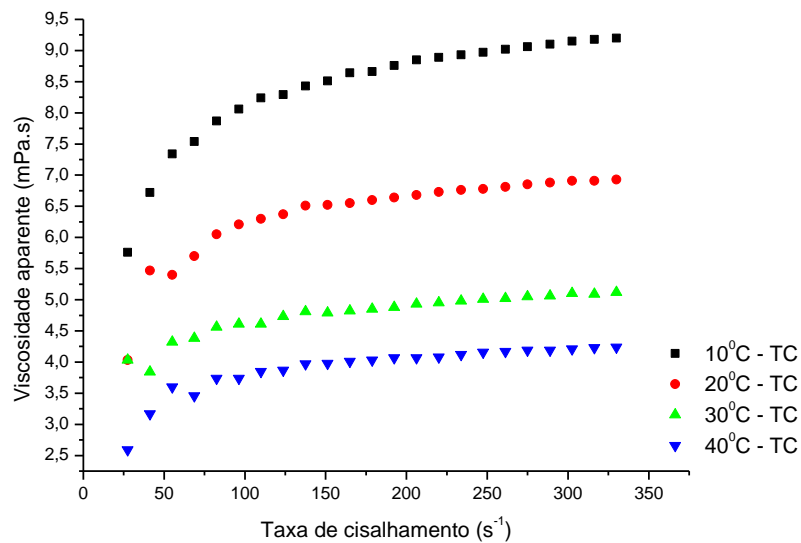


Figura 13. Curva da viscosidade aparente do suco de uva tinto crioconcentrado.

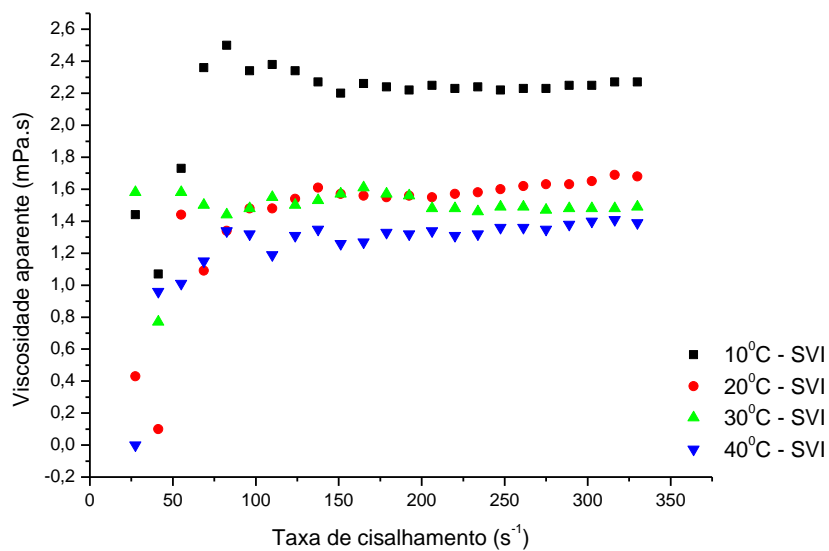


Figura 14. Curva da viscosidade aparente do suco de uva verde integral.

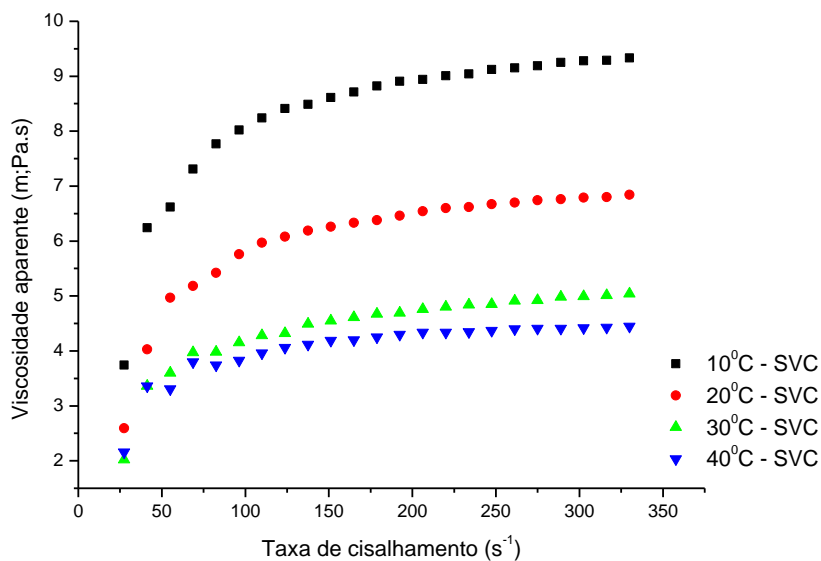


Figura 15. Curva da viscosidade aparente do suco de uva verde crioconcentrado.

Em todos os experimentos, observa-se a formação de duas regiões bem distintas, às quais correspondem comportamentos estruturais diferenciados. A primeira região, conforme Bezerra *et al.* (2013), caracterizada como a zona de taxa de cisalhamento inferior a 100 s^{-1} , na qual as forças de agregação, em razão do movimento browniano, começam a ser superadas pelas forças de cisalhamento, induzindo o alinhamento das partículas, de modo que a viscosidade aparente da amostra aumente exponencialmente. Na segunda região, na zona de taxa de cisalhamento superior a 100 s^{-1} , o estado de alinhamento e orientação das partículas encontra-se plenamente estabelecido, e a viscosidade aparente dos sucos tendem a ficar constante, indicando um comportamento newtoniano para o suco.

Comportamento semelhante foi observado em outros estudos de caracterização reológica de fluidos derivados de frutas, como Haminiuk *et al.*, (2006) e Silva, Guimarães e Gasparetto (2005).

5.2.2 Efeito da temperatura no comportamento reológico

Durante o processamento, os alimentos são submetidos a diversas temperaturas nos diversos equipamentos usados para obtenção de sucos. Com a concentração dos sucos, ocorre o aumento dos sólidos solúveis e totais variando a composição dos mesmos em cada etapa do processamento.

Evidentemente, as propriedades reológicas são afetadas por mudanças tanto na temperatura como na composição e têm sido objeto de estudo por vários pesquisadores (VANDRESEN *et al.*, 2009; OSÓRIO *et al.*, 2008; VRIESMANN, 2008; GRANGEIRO *et al.*, 2007; HAMINIUK *et al.*, 2006; SILVA; GUIMARÃES; GASPARETTO, 2005).

Na Figura 16 é possível observar que a relação de Arrhenius (Equação 6) empregada apresentou bom ajuste do efeito da temperatura na viscosidade aparente das polpas, devido aos altos valores de R^2 encontrados na Tabela 5.

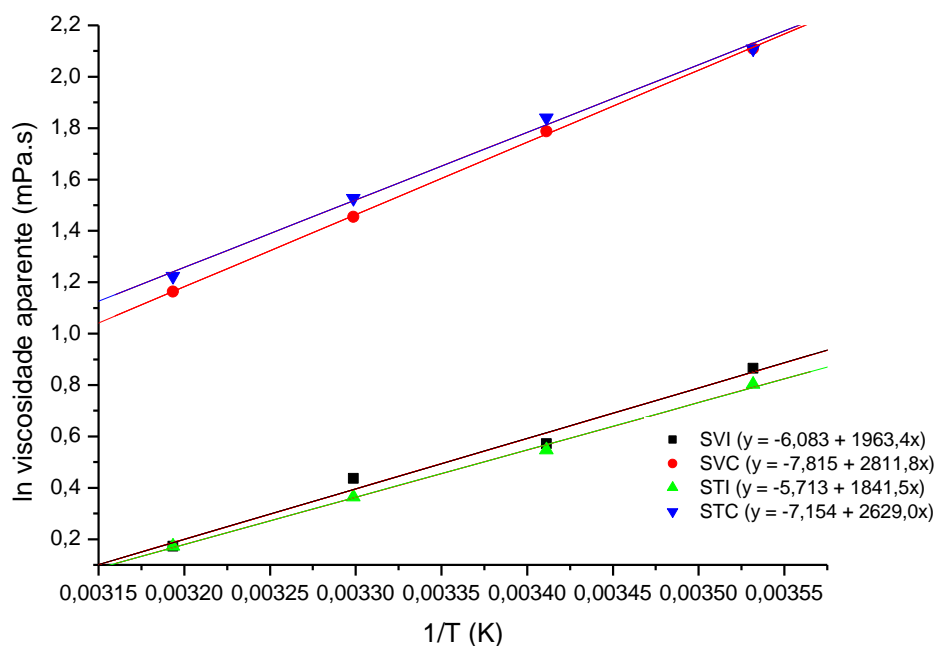


Figura 16. Efeito da temperatura na viscosidade aparente dos sucos de uvas integrais e crioconcentrados ajustado pela equação de Arrhenius. SVI: Suco de uva verde integral; SVC: Suco de uva verde crioconcentrado; STI: Suco de uva tinto integral; STC: Suco de uva tinto crioconcentrado

Conforme citado por Oliveira, Rossi e Barros (2011), nestas condições de aumento de temperatura, a rapidez da movimentação das partículas é mais acentuada, enquanto que as forças de interação enfraquecem e as partículas ficam mais livres para escoar.

Bezerra *et al.* (2013), observaram valores de \ln de viscosidade aparente acima de 1,4 para sucos mistos de frutas tropicais, na taxa de cisalhamento de 100 s^{-1} e temperatura variando de 10 a 60 °C, sendo, portanto, próximo a viscosidade aparente para os sucos de uva crioconcentrados e superiores aos sucos de uva integrais.

A energia de ativação e o coeficiente de determinação do ajuste, obtidos pela relação de Arrhenius, estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5. Energia de ativação dos sucos de uva estudados.

Sucos	E_{at} (kJ/mol)	R^2
SVI	$16,315 \pm 0,04571$	0,9915
SVC	$23,366 \pm 0,00968$	0,9998
STI	$15,303 \pm 0,01814$	0,9984
STC	$21,847 \pm 0,0278$	0,9982

SVI: Suco de uva verde integral; SVC: Suco de uva verde crioconcentrado; STI: Suco de uva tinto integral; STC: Suco de uva tinto crioconcentrado

Percebe-se que a energia de ativação dos sucos de uvas integrais foi similar, variando de $15,303 \pm 0,01814 \text{ kJ.mol}^{-1}$ (suco de uva verde) a $16,315 \pm 0,04571 \text{ kJ mol}^{-1}$ (suco de uva tinto). O mesmo é apresentado para os sucos de uva crioconcentrados, que varia de $21,847 \pm 0,0278 \text{ kJ.mol}^{-1}$ (suco de uva tinto) a $23,366 \pm 0,00968 \text{ kJ.mol}^{-1}$ (suco de uva verde). Desta forma, pode-se afirmar que os sucos integrais com alto teor de sólidos em suspensão possuem valores de energia de ativação inferiores aos sucos crioconcentrados.

O coeficiente de determinação (R^2) manteve-se acima de 0,99, indicando que a equação de Arrhenius apresentou ajuste satisfatório aos valores de viscosidade aparente.

Magerramov *et al.* (2007) avaliaram o efeito da temperatura e da concentração na viscosidade de suco de tangerina e limão num intervalo de 15 °C a 40 °Brix e 17 °C a 45 °Brix e Osório *et al.* (2008), estudaram a reologia do purê de morango. Todos estes autores verificaram a dependência de temperatura através Lei de Arrhenius e concluíram que a viscosidade aparente diminui com o aumento da temperatura.

Segundo Da Silva (2008), quanto maior for o valor da energia de ativação, maior será a influência da temperatura nos parâmetros reológicos do fluido em estudo, incluindo a viscosidade. Assim, pode-se dizer que a maior influência da temperatura sobre a viscosidade ocorreu no suco de uva verde crioconcentrado.

Em relação aos baixos valores de E_{at} para os sucos de uvas integrais, Bezerra *et al.* (2009) verificaram energia de ativação de $12,999 \text{ kJ g}^{-1}\text{mol}^{-1}$ para polpa de morango, contendo 8,35 °Brix, na taxa de cisalhamento de $47,2 \text{ s}^{-1}$. Lopes *et al.* (2013) obtiveram $12,33 \text{ kJ mol}^{-1}$ em polpa de pitanga com 7,97 °Brix na taxa de cisalhamento de 100 s^{-1} . O valor da energia de ativação encontrado por Karwowski *et al.* (2013), para polpa de uvaia e pitanga integral, a uma taxa de 50 s^{-1} , foi de $16,59 \text{ kJ mol}^{-1}$ e $14,22 \text{ kJ.mol}^{-1}$, respectivamente.

CONCLUSÕES

Pode-se concluir que o método da crioconcentração aplicado às duas variedades de sucos de uva integrais se mostrou eficiente.

No entanto, com o auxílio dos parâmetros matemáticos, foi concluído que a crioconcentração do suco de uva integral verde foi mais eficiente que a do suco de uva integral tinto. O fato se deve ao teor de sólidos solúveis totais iniciais do suco de uva verde ser maior, indicando uma constante de partição efetiva crescente, comparado com o de suco de uva tinto.

Os sucos de uva verde e tinto (integrais e crioconcentrados) apresentaram um comportamento reológico de fluido newtoniano, considerando o melhor ajuste ao modelo de Ostwald-de-Waelle, nas quatro temperaturas estudadas (10, 20, 30 e 40 °C).

Os valores de viscosidade aparente, tanto dos sucos de uva integrais, quanto para os sucos de uva crioconcentrados, mantiveram-se constantes, após a uma taxa de cisalhamento superior a 100 s^{-1} , apresentando comportamento compatível com o fluido do tipo newtoniano.

Através da determinação da energia de ativação dos sucos, constatou-se que a viscosidade aparente dos sucos de uva crioconcentrados sofrem maior influência da temperatura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMED, J. Rheological behaviour and colour changes of ginger paste during storage. **Int J Food Sci Tech**, v. 39, n. 3, p. 325- 330, 2004.

AIDER, M.; HALLEUX, D; AKBACHE, A. Whey cryoconcentration and impact on its composition. **J Food Eng**, v. 1, n. 82, p. 92-102, 2009.

AIDER, M. HALLEUX, D. Production of concentrated cherry and apricot juices by cryoconcentration technology. **LWT – Food Science and Technology**, v. 41, issue 10, p. 1768-1775, 2008.

ALLEBRANDT, R. **Caracterização da maturação e composição das uvas Carbenet sauvignon e Merlot produzidas em São Joaquim-SC**. Trabalho de conclusão do curso (Engenharia Agrônoma) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

ANDERSEN, O. M. Recent advances in the field of anthocyanins — Main focus on structures. In F. Daayf, & V. Lattanzio (Eds.), **Recent Advances in Polyphenol Research**, 1, Oxford, UK: WileyBlackwell, 2009.

BADALOTTI, D. A. **Compostos fenólicos e atividade antioxidante de sucos de uva Bordô, Concord e Isabel elaborados com uvas produzidas pelo sistema orgânico**. Trabalho de conclusão do curso (Tecnologia em Viticultura e Enologia) – Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Bento Gonçalves, 2011.

BARATA-SOARES, A. D.; GOMEZ, M. L. P. A.; MESQUITA, C. H.; LAJOLO, F. M; Ascorbic acid biosynthesis: a precursor study on plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v.16, n.3, p.147-154, Sept./Dec, 2004.

BAUR, J. A.; SINCLAIR, D. A. Therapeutic potential of resveratrol: the in vivo evidence. **Nat. Rev. Drug Discov.**, v. 5. p. 493-506, 2006.

BEZERRA, J. R. M.; RIGO, M.; DEMCZUCK JUNIOR, B.; CÓRDOVA, K. R. V. Estudo do efeito da temperatura nas propriedades reológicas da polpa de morango (*Fragaria ananassa*). **Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**. v. 5, n.1. p.37 – 47. Jan./Abr. 2009.

BEZERRA, C. V.; SILVA, L. H. M.; COSTA, R. D. S.; MATTIETTO, R. A.; RODRIGUES, A. M. C. Rheological properties of tropical juices. **Brazilian Journal of Food Technology**. Campinas, v.16, n.2, p.155-162, abr./jun. 2013.

BHATTACHARYA, S. N. **Rheology: fundamentals and measurements**. Australia: Royal Melbourne Institute of Technology, 1997.

BOURNE, M. C. **Food texture and viscosity: concept and measurement**. New York: Academic Press, p.325, 1982.

BRANCO, I. G. **Suco de laranja concentrado – comportamento reológico a baixas temperaturas**. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Universidade de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas, 1995.

BRANCO, I. G.; GASPARETTO, C. A. Response surface methodology applied to the study of temperature effect on the rheological behavior of ternaries mixtures with mango pulp and orange and carrot juices. **Food Science and Technology**, v. 23, p.166-171, 2003.

BRANCO, I. G.; GASPARETTO, C. A. Comportamento reológico de misturas de polpa de manga e sucos de laranja e cenoura utilizando modelo de casson. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.8, n.2, p.183-189, 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Portaria nº. 55 de 27 de julho de 2004. Dispõe sobre Normas referentes à complementação dos padrões de identidade e qualidade do vinho e dos derivados da uva e do vinho. **Diário Oficial da União**. Brasília: 30 de julho de 2004.

BRETAS, R. E. S.; D'ÁVILA, M. A. **Reologia de polímeros fundidos**. 2. ed. São Carlos: Ed. UFSCar, 2005.

CABRAL, M. F. P.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Comportamento reológico da polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum Schum.*) peneirada. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 4, n.1, p. 37-40, 2002.

CABRITA, M. J.; SILVA, J. R.; LAUREANO, O. **Os compostos polifenólicos das uvas e dos vinhos**. Lisboa, 2003. Disponível em: <

<http://www.isa.utl.pt/riav/Pdf/Memoria%20del%20Seminarario%202003.3.pdf>>.

Acesso em: 23 jun. 2013.

CAMARGO, U. A.; MAIA, J. D. G. Cultivares de uvas rústicas para regiões tropicais e subtropicais. In: BOLIANI, A. C.; FRACARO, A. A.; CORRÊA, L. de S. **Uvas rústicas: cultivo e processamento em regiões tropicais**. Jales: Universitária Gráfica e Editora; p. 368, 2008.

CAMARGO, U. A.; MAIA, J. D. G.; RITSCHER, P. Embrapa Uva e Vinho: novas cultivares brasileiras de uva. **Embrapa Uva e Vinho**. Bento Gonçalves, 1 ed. p. 64, 2010.

CASTRO, A. G.; COVAS, J. A.; DIOGO, A. C. Reologia e suas aplicações industriais. **Coleção Ciência e Técnica**. Instituto Piaget, Lisboa, 2001.

CHARM, S. E. The direct determination of shear stress-shear rate behavior of foods in the presence of yield stress. **Journal of Food Science**, Massachusetts, v. 28, n. 1, p. 107-117, 1963.

CHIN, N. L.; CHAN, S. M.; YUSOF, Y. A.; CHUAH, T. G.; TALIB, R. A. Modelling of rheological behavior of pummelo juice concentrates using master-curve. **J Food Eng**. n. 93, p. 134-140, 2009.

CIANCI, F. C.; SILVA, L. F. M.; CABRAL, L. M. C.; MATTA, V. M. Clarificação e concentração de suco de caju por processos com membranas. **Ciênc. Tecnol. Aliment**, vol. 25, n. 3, p. 579-583, 2005.

CONDE, C.; SILVA, P.; FONTES, N.; DIAS, A. C. P.; TAVARES, R. M.; SOUSA, M. J.; AGASSE, A.; DELROT, S.; GERÓS, H. Biochemical changes throughout grape berry development and fruit and wine quality. **Ed. Global Science Book**, , v.1., n.1, p.1-22, 2007.

DA SILVA, N. M. C. **Propriedades termofísicas e comportamento reológico da polpa de jenipapo (*Genipa americana* L.)**. 2008. 56 f. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2008.

DAUDT, C. E.; SIMON, J. A.; Um método rápido para análise de glicose em mostos e sua quantificação em algumas cultivares do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.4, p.697-701, jul./ago. 2001.

DEGÁSPARI, C. H.; LEITE, B. Z.; D'ANDREA, B. I.; GUERRA, A. S. Obtenção de extrato de carqueja (*Baccharis articulata* (Lam.) Pers.) por diferentes processos de concentração. **Tuiuti: Ciência e cultura**, n.29, FACET 04, p. 119-130, abr. 2002.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos: Princípios e Prática**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

FLANZY, C. **Enología: Fundamentos Científicos Y Tecnológicos**. Madrid: Mundi Prensa, 2000.

GEA Process Engineering. Freeze Concentration of Citrus and other Fruit Juices. (**GEA Messo PT**). Holanda, 2012. Disponível em: <[http://www.gea-messopt.com/geacrystal/cmsresources.nsf/filenames/TSF02052012Hcitrus.pdf/\\$file/TSF02-052012-H-citrus.pdf](http://www.gea-messopt.com/geacrystal/cmsresources.nsf/filenames/TSF02052012Hcitrus.pdf/$file/TSF02-052012-H-citrus.pdf)>. Acesso em: 07 nov. 2014.

GIOVANNINI, E. **Produção de uvas para vinho, suco e mesa**. 2. ed. Porto Alegre: Renascença, p. 368, 2005.

GRANGEIRO, A. A.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; RANGEL, M. E.; MOREIRA, C. M. Viscosidades de polpas concentradas de figo-da-índia, **R. Bras. Agrociência**, Pelotas, v. 13, n. 2, p. 219-224, abr-jun, 2007.

GRATÃO, A. C. A.; BERTO, M. I.; SILVEIRA JÚNIOR, V. Reologia do açúcar líquido invertido: influência da temperatura na viscosidade. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, n. 4, v. 24, p. 652-656, 2004.

GUIMARÃES, D. H. P.; MASCIGRANDE, D. D. Polpas de Juçara e Açaí: diferenças reológicas em função da temperatura e teor de sólidos suspensos. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 4, n. 1, p. 169–181, 2011.

GUEDES, D. B.; RAMOS, A. M.; DINIZ, M. D. N. S. Efeito da temperatura e da concentração nas propriedades físicas da polpa de melancia, **Braz. J. Food Technol.**, Campinas, v. 13, n. 4, p. 279-285, out./dez. 2010.

GUERRA, C. C. Maturação da uva e condução da vinificação para a elaboração de vinhos finos. *In*: SIMPÓSIO MINEIRO DE VITICULTURA E ENOLOGIA, 1.,

2002, Andradas. **Viticultura e enologia: atualizando conceitos**. Caldas: Epamig, p.179-192, 2002.

HAMINIUK, C.W.I. **Comportamento Reológico e Fracionamento Péctico das Polpas Integrais de Araçá (*Psidium cattleianum sabine*) e Amora-Preta (*Rubus spp*)**. Tese (Mestrado em Tecnologia de Alimentos). Programa de pós-graduação em tecnologia de alimentos, setor de tecnologia da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

HAMINIUK, C. W. I.; SIERAKOWSKI, M. R.; VIDAL, J. R. M. B.; MASSON, M. L. Influence of temperature on the rheological behavior of whole araçá pulp (*Psidium cattleianum sabine*). **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 39, n. 4, p. 427-431, 2006.

HAMINIUK, C. W. I.; SIERAKOWSKI, M. R.; IZIDORO, D. R.; MACIEL, G. M.; SCHEER, A. P.; MASSON, M. L. Comportamento reológico de sistemas pécticos de polpas de frutas vermelhas. **Ciência Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 1, p. 225-231, 2009.

HASHIZUME, T. Tecnologia do vinho. In: AQUARONE, E. et al. (Ed.). **Biotechnologia industrial: biotecnologia na produção de alimentos**. São Paulo: E. Blücher, cap 1, p. 21-68, 2001.

HERNANDEZ, E.; RAVENTOS, M.; AULEDA, J. M.; IBARZ, A. Concentration of apple and pear juices in a multi-plate freeze concentrator. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.10, p. 348–355, 2009.

HOLDSWORTH, S. D. Applicability of rheological models to the interpretation of flow and processing behaviour of fluid food products. **Journal of Texture Studies**, v.2, n.4, p.393-418, 1971.

HORVÁTH-KERKAI, E. Manufacturing fruit beverages. In: HUI, Y. H; BARTA, J; CANO, M. P; GUSEK, T; SIDHU, J. S; SINHA, N. **Handbook of Fruits and Fruit Processing**. Ames: Blackwell Publishing, 2006.

JABADE, S. K.; RANE, M. V. Freeze concentration of sugarcane juice in a jaggery making process. **App Therm Eng**, v. 25, p. 2122-2137, 2005.

KARWOWSKI, M. S. M.; MASSON, M. L.; LENZI, M. L.; SCHEER, A. P.; HAMINIUK, C. W. I.; Characterization of tropical fruit: rheology, stability and phenolic compounds. **Acta Aliment**, v. 42, n. 4, p. 586–598, 2013.

KROKIDA, M. K.; MAROULIS, Z. B.; SARAVACOS, G. D. Rheological properties of fluid fruit and vegetable puree products: compilation of literature data. **International Journal of Food Properties**, v.4, n.2, p.179-200, 2001.

LAGO, C. C.; BERNSTEIN, A.; BRANDELLI, A.; NOREÑA, C. Z. Estudo do comportamento reológico, da atividade de água e do ponto de início de congelamento do suco de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) a diferentes concentrações. **Braz. J. Food Technol.**, Campinas, v. 14, n. 1, p. 1-9, jan./mar. 2011.

LEÃO, P. C. S.; SOARES, J. M.; RODRIGES, B. L. Principais Cultivares. In: SOARES, J. M; LEÃO, P. C. de S (Eds.) A vitivinicultura no Semiárido brasileiro. Petrolina, PE: **Embrapa Semiárido**, p. 599-656, 2009.

LIU, L.; MIYAWAKI, O.; HAYAKAWA, K. Progressive Freeze-Concentration of Tomato Juice. **Food Sci Technol Int Res**. 5, p. 108-112, 1999.

LOPES, A. S.; MATTIETTO, R. A.; MENEZES, H. C.; SILVA, L. H. M.; PENA, R. S. Rheological behavior of Brazilian Cherry (*Eugenia uniflora L.*) pulp at pasteurization temperatures. **Food Science and Technology**, v. 33, n. 1, p. 23-31, 2013.

MACEIRAS, R.; ÁLVAREZ, E.; CANCELA, M.A. Rheological properties of fruit purees: effect of cooking. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 80, p. 763–769, 2007.

MAGERRAMOV, M. A., ABDULAGATOV, A. I., AZIZOV, N. D.; ABDULAGATOV, I. M. Effect of temperature, concentration and pressure on the viscosity of pomegranate and pear juice concentrates. **Journal of Food Engineering**, v.80, n.2, p. 476-489, 2007.

MALACRIDA, C. R.; MOTTA, S. Compostos fenólicos totais e antocianinas em suco de uva. **Ciênc. Technol. Aliment.**, Campinas, 25(4): 659-664, out.-dez. 2005.

MARTINS, M. C. **Análise de vinhos por RMN**. 2004. 37f. Relatório de estágio supervisionado. (Graduação em Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

MARZAROTTO, V. Suco de uva. In: Venturini, W. G. F. (Org.) **Tecnologia de bebidas: matéria-prima, processamento, BPF/APPCC, legislação e mercado**. São Paulo: Edgard Blücher, p. 311-346, 2005.

MATHIAS, T. R. S.; ANDRADE, K. C. S.; ROSA, C. L. S.; SILVA, B. A. Avaliação do comportamento reológico de diferentes iogurtes comerciais. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 16, n. 1, Mar. 2013.

MCLELLAN, M. R.; PADILLA-ZAKOUR, O. I. Juice processing. In **Processing Fruits: Science and Technology**, 2nd edition, Chapter 4. BARRETT, D. M.; SOMOGYI, L.; RAMASWAMY, H. (Eds.). CRC Press. Boca Raton, FL. p.73-97, 2004.

MCCLEMENTS, J. Impact of electrostatic interactions on formation and stability of emulsions containing oil droplets coated by β -lactoglobulin-pectin complexes. **Agric. Food Chem.**, v.55, p.475-485, 2007.

MELLO, L. M. R. Vitivinicultura brasileira: Panorama 2012. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2012. 4 p. (**Embrapa Uva e Vinho**. Comunicado Técnico, 115.)

Disponível em: <<http://www.cnpuv.embrapa.br/publica/comunicado/cot115.pdf>>. Acesso em: 11 Mar. 2015.

MENESES, F.; MESSIAS, G. M.; BARROS, N. E. R. Análise sensorial de suco de uva orgânico – teste de aceitação. **Revista Eletrônica: Novo Enfoque**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 12, p. 01– 05. 2011.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. CALADO, V. (Trad.), 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, p. 461, 2003

MULINACCI, N.; IERI, F.; GIACCHERINI, C.; INNOCENTI, M.; ANDRENELLI, L.; CANOVA, G. Effect of cooking on the anthocyanins, phenolic acids, glycoalkaloids, and resistant starch content in two pigmented cultivars of *Solanum tuberosum*. **J Agr Food Chem**, v. 56, p. 11830–11837, 2008.

NINDO, C. I.; TANG, J.; POWERS, J. R.; TAKHAR, P. S. Rheological properties of blueberry puree for processing applications. **LWT – Food Science and Technology**. v.40, n.2, p.292–299, 2007.

OLIVEIRA, R. C.; ROSSI, R. M.; BARROS, S. T. D. Estudo do efeito da temperatura sobre o comportamento reológico das polpas de gabioba e goiaba. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 33, n. 1, p. 31-37, 2011.

ONGARATTO, R. S.; VIOTTO, L. A. Clarificação do suco de pitanga (*Eugenia uniflora* L.) e concentração de carotenoides por microfiltração e ultrafiltração. **Braz. J. Food Technol.**, Preprint Series, n. 12, jun. 2009.

OSÓRIO, O; MARTI´NEZ-NAVARRETE, N; MORAGA, G.; CARBONELL, J.V. Effect of thermal treatment on enzymatic activity and rheological and sensory properties of strawberry purees. **Food Sci Tech Int.**, v.14 (Supl. 5), p.103-108, 2008.

PAN, Q. H.; WANG, L; LI, J. M. Amounts and subcellular localization of stilbene synthase in response of grape berries to UV irradiation. **Plant Sci.**, v. 176, p. 360-366, 2009.

PELEGRINE, D. H.; VIDAL, J. R. M. B.; GASPARETTO, C. A. Estudo da viscosidade aparente das polpas de manga (Keitt) e abacaxi (Pérola). **Ciência Tecnologia de Alimentos**, v.20, n.1, p.128-131, 2000.

PEREIRA, E. A.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIREDO, R. M. F. Comportamento reológico de mel da abelha urucu (*Melípona scutellaris*, L.). **Revista Ciências Exatas e Naturais**, n.2, v.5, 2003.

PETZOLD, G.; MORENO, J.; LASTRA, P.; ROJAS, K.; ORELLANA, P. Block freeze concentration assisted by centrifugation applied to blueberry and pineapple juices. **Innovative Food Science and Emerginf Technologies**. 1466-8564. 2015.

PINHEIRO, E. S. **Avaliação dos aspectos sensoriais, físico-químicos e minerais do suco de uva da variedade Benitaka (*Vitis vinífera* L.)**. Dissertação (Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

PINTO, E. P.; MOREIRA, A. S.; MACHADO, M. R. G.; RODRIGUES, R. S. A uva como um alimento funcional. **Revista Brasileira de Viticultura e Enologia**, Bento Gonçalves, v. 3, p. 66 – 73, set. 2011.

PRADO, A.; SILVA, T. M. **Mundo vinho**. 2007. 83f. Monografia (Graduação em Jornalismo) – Faculdade de Ciências Sociais e Aplicadas da Universidade de Tuiuti do Paraná, Curitiba, 2008.

PROTAS, J. F. S.; CAMARGO, U. A.; MELO, L. M. R. A vitivinicultura Brasileira: perspectivas e realidades. Bento Gonçalves: **Embrapa Uva e Vinho**, 2008. Disponível em: <<http://www.cnpuv.embrapa.br/publica/artigos/vitivinicultura/>> Acesso em 11 mar. 2015.

RAO, M. A. Rheological properties of fluid foods. *In*: RAO, M.A.; RIZVI, S.S.H. (eds), **Engineering propertires of foods**. New York: Marcel Dekker, p. 1-47, 1986.

RAO, M. A. Rheology of liquid foods – a review. **Journal of Texture Studies**, New York, v.8, n.2, p.135-168, 1977.

REID, D. S; FENNEMA, O. R. Água e gelo. *In*: DAMODARAN, S; PARKIN, K. L; FENNEMA, O. R. **Química de Alimentos de Fennema**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

RIZZON, L. A.; MANFROI, V.; MENEGUZZO, J. Elaboração de suco de uva na propriedade vitícola. Bento Gonçalves: **EMBRAPA-CNPUV**, 1998. 24 p. (EMBRAPACNPUV. Documentos, 21).

RIZZON, L. A.; MENEGUZZO, J. Suco de uva. Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**, p. 45, 2007.

RIZZON, L. A.; SGANZERLA, V. M. A. Ácidos tartárico e málico no mosto de uva em Bento Gonçalves-RS. **Ciência Rural**, v.37, p.911-914, 2007.

SANCHEZ, J.; RUIZ, M.; RAVENTOS, M.; AULEDA, J. M.; HERNANDEZ, E. M. Progressive freeze concentration of orange juice in a pilot plant falling film. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 11, p. 644–651, 2010.

SANCHEZ, J.; HERNANDEZ, E.; AULEDA, J. M.; RAVENTOS, M. Freeze concentration of whey in a falling-film based pilot plant: process and characterization. **J Food Eng**, v. 103, p.147–155, 2011a.

SANCHEZ, J., HERNANDEZ, E., AULEDA, J.M., RAVENTOS, M. Freeze Concentration Technology Applied to Dairy Products. **Food Sci Technol Int**, v. 61, 2011b.

SANTANA, M. T. A.; SIQUEIRA, H. H.; REIS, K. C.; LIMA, L. C. O.; SILVA, R. J. L. Caracterização de diferentes marcas de sucos de uva comercializados em duas regiões do Brasil. **Ciênc Agrotec**, v. 32, n. 3, p. 882-886, 2008.

SARAVACOS, G. D. Effect of temperature on viscosity of fruit juices and purees. **Journal of Food Science**, v. 35, p. 122-125, 1970.

SATO, A. C. K. **Influência do tamanho de partículas no comportamento reológico da polpa de jabuticaba**. 86p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) UNICAMP, Campinas, 2005.

SCHARAMM, G. A. **A practical approach to rheology and rheometry**. 2nd edition, Karlsruhe, Germany, 2000.

SENGÜL, M.; ERTUGAY, M. F.; SENGÜL, M. Rheological, physical and chemical characteristics of mulberry pekmez. **Food Control**, v. 15, p. 73-76, 2005.

SHARMA, S. K.; MULVANEY, S. J.; RIZVI, S. S. H. **Food processing engineering: theory and laboratory experiments**. United States of America: Wiley-Interscience. 348p., 2000.

SILVA, J. M. F. **Aperfeiçoamento tecnológico do processo de crioconcentração: modelagem e simulação**. Campinas, 187p. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, 2003.

SILVA, F. C.; GUIMARÃES, D. H. P.; GASPARETTO, C. A. Reologia do suco de acerola: efeitos da concentração e temperatura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n.1, p.121-126, jan.- mar., 2005.

SILVA, L. M. R.; MAIA, G. A.; FIGUEIREDO, R. W.; RAMOS, A. M.; GONZAGA, M. L. C.; LIMA, A. S. Comportamento reológico de bebidas mistas de cajá e manga adicionadas de prebióticos. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 30, p. 75-82, 2012.

SINGH, R. P.; SARKAR, A. 2005. Thermal properties of frozen food. *In: Engineering Properties of Foods*, Edited by RAO, M. A.; RIZVI, S. S. H.; DATTA, A. K. Chapter 5, pp. 175-207.

SKELLAND, A. H. P. **Now-newtonian flow and heat transfer**. New York, John Wiley & Sons. 469p. 1967.

SOUTO, A. A.; CARNEIRO, M. C.; SEFERIN, M.; SENNA, M. J. H.; CONZ, A.; GOBBI, K. Determination of trans-resveratrol concentrations in Brazilian red wines by HPLC. **J. Food Comp. Anal.**, v. 14, p. 441-445, 2001.

SPOTO, M. H. F. Conservação de frutas e hortaliças pelo calor, *in: OETTERER, M.; REGITANO-D ARCE, M. A. B.; SPOTO, M. H. F. Fundamentos de ciência e tecnologia de alimentos*. São Paulo: Manole, 2006.

STEFFE, J. F. **Rheological methods in food process engineering**. 2. ed. Freeman Press, 412p., 1996.

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

TATTERSALL, G. H.; BANFILL, P. F. G. **The rheology of fresh concrete**. London: Pitman, 347p. 1983.

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**, Campina Grande, v.7, p.181-204, 2005.

TORRALLES, R. P.; MALGARIM, M. B.; VENDRUSCOLO, J. L.; CANTILLANO, R. F. F.; TREPTOW, R. O. Um estudo para compreender a preferência e aceitação de consumidores de purês de pêssegos brasileiros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 397-401, 2006.

VANDRESEN, S.; QUADRI, M. G. N.; DE SOUZA, J. A. R.; HOTZA, D. Temperature effect on the rheological behavior of carrot juices. **Journal of Food Engineering**, Amsterdam, v. 92, n. 3, p. 269-274, 2009.

VENDRÚSCULO, A. T. **Comportamento reológico e estabilidade física de polpa de carambola (*Averrhoa carambola L.*)**. 90f. Dissertação Mestrado em Engenharia de Alimentos), Área de desenvolvimento de processos da indústria de alimentos - Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

VENTURINI FILHO, W. G.; **Tecnologia de Bebidas: Matéria-Prima, Processamento, BPF/APPCC, Legislação e Mercado**, capítulo 14. São Paulo. Editora Edigard Blücher, 2005.

VIDAL, J. R. M. B.; GASPARETTO, C. A.; GRANDIN, A. Efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v.1, n.2, p.69-76, 2005.

VITALI, A. A. **Comportamento reológico de purê de goiaba (*Psidium guajava L.*) em função da concentração e temperatura**. 151f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1981.

VITALI, A. A.; ROIG, S. M.; RAO, M. A. Viscosity behaviour of concentrated passion fruit juice. **Confructa**. Campinas, v.19, n.5, p.201-206, 1974.

VRIESMANN, L. C. **Extração, caracterização e aspectos reológicos de polissacarídeos da polpa dos frutos de *Theobroma grandiflorum* (Cupuaçu)**. 118f. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

WATANABE, F. M. F. **Estudo da viabilidade de *bifidobacterium animalis ssp. lactis* em suco de yacon**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

WIECHETECK, F. V. B.; NOGUEIRA, A.; DRILLEAU, J.F.; WOSIACKI, G. **Efeito da crioconcentração sobre o teor de compostos fenólicos em mostos industriais de maçã**. UEPG – Ciências Exatas e da Terra, Agrárias e Engenharia, Ponta Grossa, v. 11, n. 1, p. 27-34, 2005.