

Giani Aparecida dos Santos Cartapatti-Stuchi

**Efeitos dos Teores de Sólidos e da Tensão
aplicada sobre a Condutividade Elétrica
dos Sucos a Baixas Temperaturas**



*

1910001205



GIANI APARECIDA DOS SANTOS CARTAPATTI-STUCHI

GIANI APARECIDA DOS SANTOS CARTAPATTI-STUCHI

EFEITOS DOS TEORES DE SÓLIDOS E DA TENSÃO APLICADA
SOBRE A CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DOS SUCOS A BAIXAS
TEMPERATURAS

EFEITOS DOS TEORES DE SÓLIDOS E DA TENSÃO
APLICADA SOBRE A CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DOS
SUCOS A BAIXAS TEMPERATURAS

Orientador: Prof. Dr. José Antônio Gomes Vieira

São José do Rio Preto

2003



14/05/03



GIANI APARECIDA DOS SANTOS CARTAPATTI-STUCHI

EFEITOS DOS TEORES DE SÓLIDOS E DA TENSÃO APLICADA

**EFEITOS DOS TEORES DE SÓLIDOS E DA TENSÃO APLICADA
SOBRE A CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DOS SUCOS A BAIXAS
TEMPERATURAS**

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências, Letras e Ciências
Exatas da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho".
Campus de São José do Rio Preto, para a obtenção do título de
Mestre em Engenharia e Ciências de Alimentos (Área de
concentração em Engenharia de Alimentos).

Orientador: Prof. Dr. José Antônio Gomes Vieira

São José do Rio Preto

2003



h.1.205/03



664.8.037.59
C322e

GIANI APARECIDA DOS SANTOS CARTAPATTI-STUCHI

EFETOS DOS TEORES DE SÓLIDOS E DA TENSÃO APLICADA
SOBRE A CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DOS SUCOS A BAIXAS
TEMPERATURAS

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências, Letras e Ciências
Exatas da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"
Campus de São José do Rio Preto para a obtenção do título de
Mestre em Engenharia e Ciências de Alimentos (Área de
concentração em Engenharia de Alimentos)

Cartapatti-Stuchi, Giani Aparecida dos Santos.

Efeitos dos teores de sólidos e da tensão aplicada sobre a
condutividade elétrica dos sucos a baixas temperaturas / Giani Aparecida
dos Santos Cartapatti-Stuchi – São José do Rio Preto : [s.n.], 2003
119 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: José Antônio Gomes Vieira

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Instituto de
Biociências, Letras e Ciências Exatas

1. Tecnologia de alimentos. 2. Descongelamento ôhmico. I. Vieira,
José Antônio Gomes. II. Universidade Estadual Paulista. Instituto de
Biociências, Letras e Ciências Exatas. III. Título.

CDU – 664.8.037.59

GIANI APARECIDA DOS SANTOS CARTAPATTI-STUCHI

DADOS CURRICULARES

**EFEITOS DOS TEORES DE SÓLIDOS E DA TENSÃO APLICADA
SOBRE A CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DOS SUCOS A BAIXAS
TEMPERATURAS**

Banca Examinadora da dissertação para obtenção do grau de mestre

FILIAÇÃO Begayr Rodrigues dos Santos Cartapatti

Nome Jorge Cartapatti

Prof. Dr. José Antônio Gomes Vieira

1984/1988 Curso de Graduação Engenharia de Alimentos

Prof. Dr. Fábio Yamashita

2001/2003 Curso de Pós-graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, nível Mestrado IBILCE - UNESP

Prof. Dra. Maria Aparecida Mauro

Prof. Dr. Javier Teles Romero

Prof. Dra. Ana Lúcia Gabbas

São José do Rio Preto, 18 de Junho de 2003

AGRADECIMENTOS

DADOS CURRICULARES

GIANI APARECIDA DOS SANTOS CARTAPATTI-STUCHI

NASCIMENTO 04.2.1967 – BELA VISTA/MS

FILIAÇÃO Begayr Rodrigues dos Santos Cartapatti

Jorge Cartapatti

1984/1988 Curso de Graduação: Engenharia de Alimentos

UNESP – São José do Rio Preto

2001/2003 Curso de Pós Graduação em Engenharia e Ciência de

Alimentos, nível Mestrado, IBILCE – UNESP

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. João Gomes Vieira, pela oportunidade concedida, pela paciência, pela compreensão as minhas limitações de tempo e pelo apoio incondicional.

A banca examinadora pelas sugestões que contribuíram para a correção do trabalho.

À Prof. Dra. Maria Aparecida Mauro, pelas dicas e orientações fundamentais para a realização do trabalho.

As estagiárias da graduação, Ellen Lago da Silva e Juliana Gombais Hatakeyama, que com dedicação ajudaram na realização deste

trabalho. **À minha família, Marcelo, Marcelinho e Bruna, por entenderem as minhas ausências.**

Aos meus pais, por ajudarem a suprir estas ausências.

Aos meus amigos de curso, que compartilharam as horas de estudos, principalmente quando fizera os "meus horários" para que eu pudesse participar.

Ao Alan e ao Marcelo pelo apoio e pela amizade.

À Ana e à Márcia, com quem aprendi o valor das grandes amizades e do esforço em equipe.

Aos grandes amigos que mesmo não participando deste trabalho, apoiaram e incentivaram.

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Antônio Gomes Vieira, pela oportunidade concedida, pela dedicação, pela compreensão as minhas limitações de tempo e pelo apoio incondicional.

À banca examinadora pelas sugestões que contribuíram para a correção do trabalho.

À Prof. Dra. Maria Aparecida Mauro, pelas dicas e orientações fundamentais para a realização do trabalho.

Às estagiárias da graduação, Ellen Lago da Silva e Juliana Gombata Hatakeyama, que com dedicação ajudaram na realização deste trabalho.

Ao técnico de laboratório, Newton Mayer Filho, pelo apoio técnico e pela companhia nas longas horas de análises.

Ao meus amigos de curso, que compartilharam as horas de estudos, principalmente quando fizeram os "meus horários" para que eu pudesse participar.

Ao Alan e ao Marcelo pelo apoio e pela amizade.

À Ana e a Márcia, com quem aprendi o valor das grandes amizades e do esforço em equipe.

Aos grandes amigos que mesmo não participando deste trabalho, apoiaram e incentivaram.



À Indústria Bascitrus Ind. e Com. pelo fornecimento do material de estudo.

A Nutrin Sistema de Alimentação e Americanflex Ind. Reunidas, pela oportunidade e confiança autorizando a realização deste trabalho.

À minha equipe de trabalho pela grandeza de entenderem o valor do meu trabalho.

A DEUS
PELA FORÇA

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE TABELAS	14
NOMENCLATURA	18
RESUMO	19
ABSTRACT	20
1 - INTRODUÇÃO	22
2 - OBJETIVOS	27
3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	28
3.1 - Laranja	28
3.2 - Abacaxi	29
3.3 - Manga	30
3.4 - Condutividade Elétrica	31
3.5 - Aquecimento Ôhmico	36
4 - MATERIAL E MÉTODOS	47
4.1 - MATERIAIS	47
4.1.1 - Suco de Laranja	47
4.1.2 - Suco de Abacaxi	47
4.1.3 - Suco de Manga	48
4.1.4 - Célula Condutivimétrica	48
4.2 - MÉTODOS	50
4.2.1 - Determinação da Condutividade Elétrica	50

*À DEUS,
PELA FORÇA*

4.2.2 – Determinação da Condutividade Elétrica	52
4.2.3 – Determinação dos Teores Sólidos Solúveis	53
4.2.4 – Avaliação da Enzima no Suco de Manga	53
4.2.5 – Variação do tamanho de partículas em Sucos de Laranja e Abacaxi	54
5 – Análises Estatísticas dos Dados	54
LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE TABELAS	14
NOMENCLATURA	18
RESUMO	19
ABSTRACT	20
5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	22
1 – INTRODUÇÃO	22
2 – OBJETIVOS	27
3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	28
3.1 – Laranja	28
3.2 – Abacaxi	29
3.3 – Manga	30
3.4 – Condutividade Elétrica	31
3.5 – Aquecimento Ôhmico	36
4 – MATERIAL E MÉTODOS	47
4.1 – MATERIAIS	47
4.1.1 – Suco de Laranja	47
4.1.2 – Suco de Abacaxi	47
4.1.3 – Suco de Manga	48
4.1.4 – Célula Condutivimétrica	48
4.2 – MÉTODOS	50
4.2.1 – Determinação da Condutividade Elétrica	50
4.2.2 – Determinação da Condutividade Elétrica	52
4.2.3 – Determinação dos Teores Sólidos Solúveis	53
4.2.4 – Avaliação da Enzima no Suco de Manga	53
4.2.5 – Variação do tamanho de partículas em Sucos de Laranja e Abacaxi	54
5 – Análises Estatísticas dos Dados	54

4.2.2 – Determinação de pH	52
4.2.3 – Determinação dos Teores Sólidos Solúveis	53
4.2.4 – Aplicação da Enzima no Suco de Manga	53
4.2.5 – Variação do tamanho de partículas em Sucos de Manga e de Abacaxi	54
4.2.6 – Análises Estatísticas dos Dados	54
5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	55
5.1 – Verificação da aferição da célula condutivimétrica	55
5.2 – Caracterização das matérias-primas	56
5.3 – Influência dos teores de sólidos solúveis na condutividade elétrica e na taxa de aquecimento ôhmico do suco de laranja a baixas temperaturas	57
5.4 - Influência da tensão aplicada na condutividade elétrica e no tempo de aquecimento ôhmico do suco de laranja.	63
5.5 – Influência do tamanho das partículas na condutividade elétrica e no tempo de aquecimento do suco de abacaxi a baixas temperaturas	66
5.6 - Influência das tensões aplicadas sobre a condutividade elétrica e o tempo de aquecimento do suco de abacaxi.	70
5.7 - Influência dos tamanhos de partículas e da temperatura na condutividade elétrica e no tempo de aquecimento, a baixas temperaturas, do suco de manga.	73
5.8 – Influência da tensão aplicada na condutividade elétrica	77

e no tempo de aquecimento ôhmico do suco de manga em diferentes tamanhos de partículas.

Figura 5.9 - Influência dos teores de sólidos solúveis, da aplicação de enzima e da temperatura na condutividade elétrica e no tempo de aquecimento do suco de manga.	81
5.10 – Influência das tensões aplicadas sobre a condutividade elétrica e sobre o tempo de aquecimento do suco de manga concentrado a 42°Brix.	85
6 – CONCLUSÕES	90
7 – SUGESTÕES	91
8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
ANEXOS	102

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Modelo esquemático de célula proposto por Palaniappan e Sastry	50
Figura 2	Sequência montada para a medida da condutividade elétrica na célula condutivimétrica, durante o aquecimento ôhmico	51
Figura 3	Variação da condutividade elétrica do suco de laranja a baixas temperaturas, com diferentes teores de sólidos solúveis e tensão aplicada de 165V.	57
Figura 4	Variação do tempo de aquecimento do suco de laranja, com diferentes teores de sólidos e tensão aplicada de 165V	61
Figura 5	Variação da condutividade elétrica do suco de laranja a 12°Brix, em três tensões aplicadas.	63
Figura 6	Variação do tempo de aquecimento do suco de laranja a 12°Brix, aquecido ôhmicamente, com diferentes tensões aplicadas	64
Figura 7	Variação da condutividade elétrica do suco de abacaxi, em função da temperatura, com diferentes tamanhos de partículas a tensão aplicada de 165V	66

Figura 8	Variação do tempo de aquecimento do suco de abacaxi, aquecido ôhmicamente, em três tamanhos de partículas, a tensão aplicada de 165V	69
Figura 9	Variação da condutividade elétrica do suco de abacaxi integral, em três tensões aplicadas	70
Figura 10	Variação do tempo de aquecimento do suco de abacaxi integral sob três tensões aplicadas	72
Figura 11	Variação da condutividade elétrica do suco de manga, aquecido ôhmicamente, com diferentes tamanhos de partículas e tensão aplicada de 165V	73
Figura 12	Variação do tempo de aquecimento do suco de manga, aquecido ôhmicamente, com diferentes tamanhos de partículas e tensão aplicada de 165V	75
Figura 13	Variação da condutividade elétrica do suco de manga 1,6mm, em três tensões aplicadas, a diferentes temperaturas.	77
Figura 14	Variação da condutividade elétrica do suco de manga centrifugado, em três tensões aplicadas	79
Figura 15	Variação da condutividade elétrica do suco de manga concentrado, a diferentes temperaturas, com tensão aplicada de 165V	81

Figura 16 Variação do tempo de aquecimento do suco de manga 83

concentrado e enzimado, aquecido ôhmicamente,
a tensão de 165V

Figura 17 Variação da condutividade elétrica do suco de manga 85

concentrado a 42°Brix em diferentes temperaturas, nas
três tensões aplicadas

Figura 18 Variação do tempo de aquecimento do suco de manga 86

concentrado a 42°Brix, em três tensões aplicadas

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1	Comparação de médias de condutividade elétrica obtidas através de medição no condutivímetro comercial e na célula condutivimétrica	56
Tabela 5.2	Características físicas e químicas dos sucos de manga laranja e abacaxi estudados	56
Tabela 5.3	Médias da condutividade elétrica (S/m), obtidos através das interações de temperatura versus concentração dos suco de laranja, com tensão de 165V	58
Tabela 5.4	Médias dos tempos de aquecimento (min), obtidas através das interações de temperatura versus concentração, do suco de laranja, a tensão de 165V	62
Tabela 5.5	Médias da condutividade elétrica (S/m), do suco de laranja 12°Brix aquecido ôhmicamente em três tensões diferentes	64
Tabela 5.6	Médias do tempo de aquecimento (min) do suco de laranja 12°Brix, obtidos através do desdobramento da tensão aplicada versus a temperatura	65

Tabela 5.7	Médias das condutividades elétricas (S/m) do suco de abacaxi, obtidas através das interações temperatura versus tamanho de partículas, a tensão aplicada de 165V.	67
Tabela 5.8	Médias dos tempos de aquecimento (min) do suco de abacaxi, obtidos através do desdobramento tamanho de partículas versus temperatura, a tensão aplicada de 165V	69
Tabela 5.9	Médias das condutividades elétricas (S/m) do suco de abacaxi integral, obtidos através das interações temperatura versus tensão aplicada	71
Tabela 5.10	Médias dos tempos de aquecimento (min) do suco de abacaxi integral obtidas através das interações temperatura versus tensão aplicada	72
Tabela 5.11	Médias das condutividades elétricas (S/m), obtidas através das interações tamanho de partículas versus temperatura do suco de manga, com tensão aplicada de 165V	75
Tabela 5.12	Médias dos tempos de aquecimento (min) do suco de manga, obtidos da interação tamanho de partículas versus temperatura, a tensão aplicada de 165V	76

Tabela 5.13	Médias da condutividade elétrica (S/m) do suco de manga 1,6mm, aquecido ôhmicamente em três tensões diferentes	78
Tabela 5.14	Médias dos tempos de aquecimento (min) do suco de manga, em três tensões aplicadas, com tamanho de partículas de 1,6mm.	78
Tabela 5.15	Médias das condutividades elétricas (S/m) do suco de manga centrifugado, obtidos através das interações tensão aplicada versus temperatura	79
Tabela 5.16	Médias dos tempos de aquecimento (min) na faixa de -12 a 2°C , do suco de manga centrifugado nas três tensões aplicadas.	80
Tabela 5.17	Médias das condutividades elétricas (S/m), obtidas através das interações teores de sólidos versus temperatura, do suco de manga concentrado a tensão aplicada de 165V	82
Tabela 5.18	Médias dos tempos de aquecimento (min) obtidos através das interações teores de sólidos solúveis versus temperatura, do suco de manga, a tensão aplicada de 165V	84
Tabela 5.19	Médias das condutividades elétricas (S/m), obtidas através das interações das tensões aplicadas versus temperatura, durante o	86

aquecimento ôhmico do suco de manga
concentrado a 42°Brix

R	RESISTÊNCIA ELÉTRICA	(ohm)
Tabela 5.20	Médias do tempo de aquecimento (min),	87
I	CORRENTE	(A)
A	ÁREA DA	
L	COMPRIMENTO	
Q	CALOR	(Kcal/h)
C _p	CALOR ESPECÍFICO	(J/Kg°C)
T	TEMPERATURA	(°C)
t	TEMPO	(s)
K _a	CONSTANTE CELULAR	(adimensional)
E _a	ENERGIA DE ATIVAÇÃO	(Kcal/mol)
σ	CONDUTIVIDADE ELÉTRICA	(S/m)
Δ	VARIAÇÃO	(adimensional)
P	POTÊNCIA	(W)
M	FLUXO DE MASSA	(kg/h)

R	RESISTÊNCIA ELÉTRICA	(ohm)
V	VOLTAGEM APLICADA	(V)
I	CORRENTE ELÉTRICA	(A)
A	ÁREA DE SECÇÃO TRANSVERSAL	(m ²)
L	COMPRIMENTO DA CÉLULA	(m)
Q	CALOR GERADO	(Kcal/h)
C_p	CALOR ESPECÍFICO	(J/Kg°C)
T	TEMPERATURA	(°C)
t	TEMPO	(s)
K_c	CONSTANTE CELULAR	(adimensional)
E_a	ENERGIA DE ATIVAÇÃO	(Kcal/gmol)
σ	CONDUTIVIDADE ELÉTRICA	(S/m)
Δ	VARIAÇÃO	(adimensional)
P	POTÊNCIA	(kW)
M	FLUXO DE MASSA	(kg/h)

RESUMO

O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de suco de laranja concentrado e congelado, possuindo também uma expressiva parcela da produção e exportação dos sucos de abacaxi e manga, sendo, portanto, importante a melhoria nas tecnologias aplicadas no processamento destas frutas. O congelamento é um método eficiente para que o produto final utilizado tenha as qualidades físicas, químicas, sensoriais e nutricionais mantidas. Na fase de descongelamento a tecnologia empregada ainda não é adequada. O objetivo do trabalho foi determinar a influência da temperatura, teor de sólidos, tensão aplicada e tamanho de partículas sobre a condutividade elétrica e tempo de aquecimento destes sucos a baixas temperaturas. Utilizou-se uma célula condutivimétrica construída pelo Depto. de Eng. de Alimentos (UNESP), para determinar a condutividade elétrica. A condutividade elétrica dos sucos de laranja, abacaxi e manga aumentou com a temperatura, com o teor de sólidos solúveis até aproximadamente 30°Brix e com a tensão aplicada. O tempo de aquecimento aumentou com a diminuição dos sólidos solúveis devido ao calor latente, e diminuiu com a tensão aplicada. A condutividade elétrica aumentou com os teores de sólidos insolúveis para o suco de abacaxi e, não variou para o suco de manga. A condutividade elétrica aumentou com a aplicação da enzima.



ABSTRACT

Brasil is the largest producer and exporter of frozen concentrated orange juice in the world, and also has an important part in the production and exportation of mango and pineapple juices, therefore the improvement of the processing technology of these fruits is important. Freezing is an efficient method to maintain the physical, chemical, sensorial and nutrient qualities of the final product. The thawing procedures used are not suitable. The objective of the current study was to determine the effects of temperature, solids content, applied tension, and particle size on electrical conductivity and thawing times of orange, pineapple and mango juices at low temperature. An electrical conductivity device was used, which was developed by the Department of Food Engineering, (UNESP). The electrical conductivity of orange, pineapple and mango juices increased with temperature, solids content up to approximately 30°Brix and with increasing applied tension. The thawing times increased with decreasing solids contents due to the latent heat, and decreased with increasing applied tension. The electrical conductivity increased with particles sizes for pineapple juices and didn't change for mango juices. The electrical conductivity increased with enzyme application.

1 - INTRODUÇÃO

O congelamento é um dos métodos mais eficientes de preservação dos alimentos, pois reduz as atividades microbiológicas e a velocidade das reações químicas e enzimáticas, prevenindo assim a deterioração dos alimentos. É um método eficiente na retenção de aromas, cor, valor nutritivo e de certa forma, na preservação da textura dos alimentos. Isto se deve ao desenvolvimento tecnológico alcançado nos processos industriais.

Apesar desse desenvolvimento tecnológico para o processo de congelamento, a indústria de alimentos ainda busca métodos de descongelamento seguros e eficientes para a preservação dos mesmos fatores importantes no congelamento.

O descongelamento de alimentos industrializados, embalados ou não, é uma importante operação unitária na indústria. No descongelamento, energia é fornecida ao alimento congelado para elevar sua temperatura até que a “água congelada” mude do estado sólido para o líquido. Diferentes fontes de energia são usadas como ar quente, água, vapor ou microondas. Nestas operações de descongelamento, a camada externa descongelada formará uma camada isolante, impedindo a passagem de calor para o centro do produto, pois a condutividade térmica da água é menor que a do gelo. Assim, o tempo de descongelamento será longo, fazendo com que as camadas mais externas do produto



ficarem mais tempo a temperaturas altas, ficando susceptíveis a alterações físicas, químicas e microbiológicas. O descongelamento requer tempos maiores que o congelamento em situações semelhantes de fornecimento de energia, já que a transferência de calor ocorre através do alimento congelado, pois condutividade elétrica e difusividade térmica são menores no alimento congelado.

O descongelamento é comercialmente importante porque uma grande quantidade de matérias-primas para a indústria de alimentos é congelada em blocos. Isto é válido principalmente para produtos de carnes, peixes e suco em tambores. Como processo, o descongelamento tem recebido relativa atenção, mas é mais difícil de ser controlado do que em operações de congelamento. Historicamente, o descongelamento de alimentos tem sido uma operação fundamental para a maioria dos alimentos congelados e deve ser projetado de forma a minimizar os seguintes fenômenos: crescimento microbiológico, perda de líquido, perdas por evaporação e reações de deterioração, que, muitas vezes, pode reduzir significativamente a qualidade do produto, seja ela nutricional ou sensorial. No descongelamento convencional, o produto é aquecido em trocadores de calor por condução ou convecção. Sendo assim, por estes processos serem muito lentos, permitem a recristalização dos cristais de gelo pelos alimentos, principalmente para os fluídos com partículas em suspensão. A falta de uma tecnologia eficiente para o



descongelamento de alimentos tem sido um desafio para a indústria de alimentos.

Poder descongelar um alimento de maneira uniforme e com eficiência, é indubitavelmente uma grande conquista para a indústria de alimentos. A técnica que pode tornar isto possível é o aquecimento ôhmico, que tem sido empregada com sucesso na pasteurização e esterilização de alimentos, em escala laboratorial.

O processo de aquecimento ôhmico nos alimentos é possível, pois a maioria dos alimentos contêm espécies iônicas, como sais e ácidos, que atuam como eletrólitos, de forma que uma corrente elétrica possa passar através do alimento e gerar calor em decorrência da resistência a esta passagem (Sastry, 1992). A corrente alternada é usada para eliminar polarização e deposição, fenômenos estes, que são encontrados com corrente contínua em sistemas eletrolíticos.

Em um sistema de aquecimento convencional, a condutividade térmica das partículas controla a sua taxa de aquecimento, enquanto que em um processo ôhmico, a condutividade elétrica é o fator mais relevante. A condutividade elétrica é uma função da composição química, que altera-se facilmente com o aquecimento, concluindo-se então que a condutividade elétrica é uma função complexa de tempo e temperatura, que refletirá diretamente na taxa de aquecimento ôhmico (Halden et al., 1990).



O emprego do aquecimento ôhmico torna-se vantajoso pois não tem limite de profundidade e em alimentos com partículas, desde que a condutividade em ambas as fases seja a mesma, o calor a ser gerado nestas, terá a mesma velocidade (Alwis et. al. 1989), possibilitando aquecimento uniforme. Desta forma, eliminam-se as superfícies de transferência de calor e aumenta-se a retenção de nutrientes, sendo possível também, preservar mais a textura do alimento.

Em termos de economia de energia, apesar de não existir nenhum trabalho específico, deve-se considerar que a energia utilizada no aquecimento ôhmico tem um rendimento acima de 90% para a conversão de eletricidade em calor (Swienkek, 1988).

Considerando que o Brasil é um dos maiores produtores de frutas do mundo, sendo o maior produtor mundial de laranja (FAO,2001), o segundo em produção de abacaxi (IBGE, 2002) e o oitavo na produção de manga (FAOSTAT,2001), e pelo fato de nos últimos vinte anos estar tendo uma tendência à industrialização das frutas em sucos concentrados e/ou congelados, essas matérias-primas foram selecionadas para o presente estudo.

Os sucos de laranja, manga e abacaxi têm grande aplicação nas indústrias de alimentos, pois além do consumo direto, uma grande quantidade de suco é utilizada na fabricação de concentrados e xaropes, como base para a produção de refrigerantes, ou em geléias e doces.



A tecnologia de fabricação desses sucos vem se transformando através dos tempos. Atualmente, por razões de aumento do mercado, do custo de embalagem e transporte e da necessidade de estoques reguladores, o suco em sua maior parte é armazenado e comercializado a granel.

Neste caso o processamento vai além da obtenção do suco, sendo necessário concentrar e congelar o mesmo, para diminuir custos de transporte e aumentar o tempo de conservação. Nesse processo, o suco é concentrado em evaporadores e em seguida, passa através de trocadores de calor, onde sua temperatura é reduzida para 10°C ou -18°C , sendo então enviado para tanques localizados no interior de câmaras frigoríficas ou em tambores. Como consequência o produto necessitará ser descongelado, operação esta que, realizada na forma convencional, não é satisfatória.

No que se refere ao descongelamento de suco em tambores, tal perda ocorre principalmente porque o tempo requerido para que o centro do recipiente seja descongelado é extremamente longo, prejudicando a qualidade final do produto.

Este trabalho tem, na presente fase, um caráter de pesquisa intermediária, visando tornar disponíveis dados de condutividade elétrica, úteis para aplicação no processo de descongelamento.



3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 - LARANJA

A laranja (*citrus sinensis*) é um produto de importância para a agricultura e a economia brasileira. O Brasil é responsável por quase 90% das laranjas produzidas na América do Sul, o que corresponde a 34% da produção mundial desta fruta (FAO, 2001).

A produção no estado de São Paulo (safra 2001/2002) foi de 328 milhões de caixas, sendo que 220 milhões de caixas foram processadas. Estima-se que nos demais estados a produção total foi de 50 milhões de caixas, totalmente destinada ao mercado interno (ABECITRUS, 2002). Segundo a ABECITRUS, do total produzido em São Paulo, 24,9% dos frutos são destinados ao consumo de frutas frescas, 0,5% para exportação e 74,6% ao processamento, sendo que do produto processado, 97% é exportado.

A tendência à industrialização da fruta em suco vem se desenvolvendo em todo o mundo. Isto se deve principalmente à redução das despesas com transporte, armazenamento e à exigência de produtos de consumo final mais elaborados. O Brasil é, atualmente, o maior produtor e exportador de Suco de Laranja Concentrado e Congelado (SLCC), controlando cerca de 85% do mercado internacional do produto (FAO, 2001). O estado de São Paulo possui 11 indústrias processadoras

de suco e 17 mil citricultores, gerando US\$1,5 bilhão em divisas (Oliveira, 1999).

3.2 - ABACAXI

O abacaxi (*Ananas comosus* L) é uma espécie frutífera originária do Brasil, tendo apresentado grande expansão, tanto em área cultivada quanto em tecnologia empregada. O Brasil está situado como um dos maiores produtores mundiais ocupando o segundo lugar em produção, com 1.468.897 toneladas segundo o IBGE (2002). A produção da Tailândia, que é o maior produtor mundial, é de 2.300.000 toneladas. A produção brasileira se destina basicamente ao consumo interno. Embora a abacaxicultura esteja difundida por quase todo o Brasil, dentre os principais estados produtores destacam-se a Paraíba, Minas Gerais e Bahia.

A variedade mais usada no Brasil para sucos é a Pérola, que é particularmente suculenta e de baixa acidez.

O suco tem médias de sólidos solúveis entre 12-15% e um alto ratio (Brix/acidez) que pode variar entre 14 e 35. O pH varia em torno de 3,8-4,0, embora a variedade brasileira Pérola possa atingir 4,5.

O maior mercado para o suco de abacaxi são os EUA, Reino Unido, França e Canadá. O suco está rapidamente ganhando

popularidade em outras partes da Europa, principalmente Espanha (Skudder, 1995).

3.3 – MANGA

A manga (*Mangífera indica* L) está entre as frutas tropicais mais apreciadas em todo o mundo e entre as mais perecíveis (FAO,1999), sendo que o consumo mundial foi de 23,5 milhões de toneladas em 1997 e concentrou-se basicamente na Índia, no sudeste asiático e na China, que, em conjunto, representaram cerca de 73,6% da demanda mundial, e no México (5,6%). Na década de 90, a produção mundial de manga *in natura* cresceu cerca de 71,2%, o equivalente a 12 milhões de toneladas, observando-se que os países asiáticos dominam o mercado, concentrando em 2000 cerca de 76,3% da produção mundial.

O Brasil é o 8º produtor mundial com 500 mil toneladas (1,7%), das quais 53,8 mil toneladas foram destinadas à exportação (FAOSTAT, 2001). Para o Brasil, a União Européia apresenta-se como maior mercado importador, já que o bloco asiático é auto suficiente, e os Estados Unidos importam basicamente do México e Caribe.

O suco ou purê de manga é bastante aromático e doce, possuindo em média valores de sólidos solúveis entre 15-17%, ratio (Brix/acidez) entre 20 e 45 e pH de aproximadamente 4,35. Durante o processamento,



o suco é concentrado a 40°Brix, que é a concentração que mais mantém as características de aroma e qualidade do suco original (Skudder, 1995).

3.4 - CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

A condutividade elétrica é o fator primário mais importante no aquecimento ôhmico, sendo principalmente uma função dos componentes químicos e estruturais dos alimentos e da temperatura, determinando a viabilidade de aquecimento elétrico de um alimento (Sastry e Palapaniappan, 1992).

Segundo a empresa Analion (2002) a condutividade elétrica de uma solução eletrolítica é a expressão numérica quantitativa da sua capacidade de transportar a corrente elétrica. Ao contrário do que ocorre nos condutores metálicos, nos quais a corrente elétrica é transportada por elétrons livres, o transporte de cargas nas soluções eletrolíticas é realizado por íons. Todos os íons presentes na solução participam dessa condução e, por essa razão, pode-se dizer que a condutividade fornece uma informação global por natureza não específica (em contraste com a determinação do pH de uma solução que é específico, visto que ela indica somente a concentração dos íons H^+). A maioria dos ácidos, bases e sais inorgânicos são bons condutores de corrente elétrica ao passo que substâncias orgânicas, que não se dissociam em solução aquosa (benzina, lipídeos, açúcares por ex.), não são condutores.



A condutividade depende de alguns fatores como:

A – Concentração global em espécies ionizadas – quanto maior a quantidade de íons numa solução, maior será sua condutividade. Em geral, para soluções aquosas de eletrólitos inorgânicos, observa-se um aumento quase linear da condutividade com o aumento da concentração, exceções podem ser atribuídas a produtos cuja viscosidade aumenta com o aumento da temperatura.

B – Tipos de íons – quanto menor o íon, maior será sua mobilidade e, portanto sua condutividade.

C – Temperatura – a condutividade elétrica aumenta com a temperatura. De modo geral esse efeito é devido ao fato que a mobilidade individual dos íons aumenta com a temperatura e que a viscosidade do solvente diminui (Analion, 2002).

A célula de análise de condutividade elétrica é um dos elementos mais importantes de um sistema de medição. Basicamente, ela consiste em duas placas metálicas cuja áreas e distância são precisamente fixadas, montadas rigidamente numa cavidade construída em material isolante. Essa cavidade serve para delinear um pequeno volume constante de líquido. As placas metálicas chamadas eletrodos, são construídas em metais inalteráveis, geralmente platina (Analion, 2002).



Alwis et al. (1989), demonstraram, através de experimentos e simulações, a importância da condutividade elétrica de líquidos e sólidos para taxas de aquecimento de partículas durante o aquecimento ôhmico. O conhecimento da condutividade elétrica de alimentos é essencial para projetos de processos com aquecimento ôhmico.

Segundo Halden et al. (1990) muitas das mudanças físicas, biológicas e químicas que são observadas no aquecimento convencional, são também observadas no aquecimento ôhmico. Entretanto, a presença de um campo elétrico produz efeitos adicionais, como a desidratação dos alimentos. A perda da umidade ocorre supostamente por eletro-osmose, que acontece devido a difusão molecular. Isto demonstra que um campo elétrico pode influenciar a mobilidade dos fluídos dentro das células, causando mudanças na condutividade elétrica.

Palaniappan & Sastry (1991a) determinaram a condutividade elétrica de três vegetais e duas amostras de carnes, submetendo-os a voltagens constantes em um aquecedor ôhmico estático. A condutividade das amostras de vegetais que foram embebidas em soluções salinas, aumentou, enquanto que as amostras que foram embebidas em água tiveram a condutividade elétrica reduzida devido a lixiviação dos eletrólitos. A condutividade elétrica sob aquecimento ôhmico aumentou linearmente com a temperatura. Quando a força do campo diminuiu, a curva de condutividade elétrica pela temperatura gradualmente tornou-se



não linear. Quando os tecidos biológicos são submetidos a tratamentos térmicos, ocorrem mudanças que aumentam a mobilidade iônica, como a ruptura da protopectina das paredes celulares, expulsão de bolhas de ar não condutivas, amolecimento e dano nos tecidos.

Segundo os autores, a razão do aumento da condutividade elétrica com a tensão aplicada parece ser inicialmente devido aos efeitos eletro-osmóticos. Como os tecidos biológicos consistem de uma agregação de membranas porosas, a aplicação da tensão resulta na movimentação dos fluidos através dos capilares. A pressão osmótica exercida através da capilaridade foi mostrada em uma análise simplificada, por ser diretamente proporcional ao gradiente de tensão.

Em um segundo trabalho, Palaniappan e Sastry (1991b) desenvolveram um dispositivo para determinar a condutividade elétrica dos alimentos sob aquecimento ôhmico e convencional. Este dispositivo foi desenvolvido segundo o modelo de célula condutivimétrica de Mitchel e de Alwis (1989). Neste trabalho foram testados os efeitos das variações de temperatura, teores de sólidos, tensão e tamanho de partículas sobre a condutividade elétrica de sucos de laranja e tomate. A condutividade elétrica dos sucos aumentou com a temperatura e diminuiu com o teor de sólidos. A relação da condutividade elétrica com a temperatura foi linear tanto para o aquecimento convencional como para o aquecimento ôhmico. Neste mesmo trabalho experimentos sobre o teor de sólidos no



suco de cenoura, mostraram que houve um aumento na condutividade elétrica das suspensões com a diminuição do tamanho das partículas.



3.5 - AQUECIMENTO ÔHMICO

Os processos térmicos convencionais são bastantes convenientes para fluídos de uma única fase, mas são bastantes limitados para fluídos multicomponentes, devido ao tempo requerido para conduzir calor para o centro das partículas durante o processamento. Nos alimentos particulados, a fase sólida irá apenas ser aquecida por condução, que é um processo muito mais lento que a convecção, devido a baixa condutividade térmica da maioria dos alimentos. Para que o centro das partículas seja esterilizado é necessário sobreaquecer o meio líquido, acarretando assim uma considerável perda de qualidade.

O aquecimento ôhmico surge então como uma técnica importante para a aplicação em processos assépticos e em pasteurizações de alimentos particulados. Este método, baseia-se no aquecimento do produto gerado pela resistência à passagem de uma corrente elétrica alternada através do mesmo. A maioria dos alimentos possui constituintes iônicos (eletrólitos), sais e ácidos, que possibilitam a passagem da corrente elétrica através deles. Como o alimento é aquecido internamente pela resistência gerada, não há nenhum meio de aquecimento ou superfície de transferência de calor. Além das aplicações citadas, existem processos onde também poderia ser aplicado o aquecimento ôhmico, como o branqueamento, a evaporação, a



desidratação, entre outros. A aplicabilidade é limitada pela condutividade elétrica dos alimentos (Tauscher & Bretz, 2001).

O aquecimento ôhmico também tem vantagens sobre o aquecimento convencional devido a alta taxa de aquecimento, a eficiência de conversão de energia, a uniformidade do aquecimento (Reznick, 1996, Fellows, 2000).

O aquecimento ôhmico, segundo Li & Sun (2001), está incluído entre os métodos mais inovadores de descongelamento de alimentos e o seu maior potencial está em produtos alimentícios de alta qualidade.

Sastry e Palaniappan (1992b) desenvolveram um trabalho, onde a taxa de aquecimento ôhmico de uma mistura sólido-líquido tivesse uma dependência com a orientação das partículas. Desenvolveu-se um modelo matemático para determinar a extensão da dependência da orientação no caso de partículas cúbicas. As resistências das partículas e do líquido foram determinadas tomando-se secções através da partícula e usando a condutividade elétrica para calcular a resistência efetiva. O modelamento matemático e os resultados experimentais indicaram que os efeitos da orientação das partículas cúbicas foram desprezíveis; ambos com referência à resistência efetiva e ao tempo de aquecimento.

Sastry e Wadad (1994), reportaram o efeito da viscosidade dos fluidos sob aquecimento ôhmico em diferentes misturas de sólidos e líquidos. Fluidos com condutividades elétricas iguais, mas diferentes



viscosidades foram usados com quantidades iguais de partículas sólidas (de condutividade elétrica menor que a do líquido) e aquecidas ôhmicamente em lotes, e em três tipos de aquecedores, estático, vibratório e de fluxo contínuo. Os autores concluíram que em condições de aquecimento estático, as taxas de aquecimento do fluido e das partículas não são significativamente afetadas pela viscosidade do fluido. Entretanto, quando ocorre agitação do fluido, como nos aquecedores vibratórios e de fluxo contínuo, a taxa de aquecimento aumentava com a viscosidade do fluido. Este fenômeno parece ser devido ao aumento do aquecimento da fase líquida, para o caso da viscosidade, o que resulta em um aumento da diferença de temperatura entre o fluido e o sólido, que compensaria o baixo coeficiente de transferência de calor. Os dados de temperatura e poder de dissipação sugerem que o uso de produtos com viscosidades altas em um aquecedor de fluxo contínuo pode ser benéfico do ponto de vista de melhorar a taxa global de aquecimento.

Wang e Sastry (1997) reportaram o efeito da condutividade elétrica na gelatinização do amido. Suspensões de amido de milho e de batata foram preparadas 1:5 (p/p) pela mistura com a quantidade apropriada de água. As suspensões foram ôhmicamente aquecidas com agitação a 90°C, 60Hz e gradiente de tensão de 20 V/cm. Amostras parcial e totalmente gelatinizadas preparadas com suspensões pré-aquecidas na temperatura de gelatinização ou além da gelatinização também foram testadas. A energia de gelatinização e o grau de gelatinização de cada



amostra foram determinados. A condutividade elétrica aumentou com a temperatura, mas diminuiu com o grau de gelatinização, isto aparentemente aconteceu devido a mudanças estruturais e a um aumento de água ligada.

Roberts et al. (1998), desenvolveram e testaram um protótipo para o descongelamento ôhmico de camarões. Nos Estados Unidos, 70% do camarão consumido são importados e comercializados em blocos congelados. Com o processo convencional de descongelamento, utilizando água a 30° C e deixando estes blocos submersos, além da perda nutricional do produto através das perdas de proteínas hidrossolúveis, também ocorria como agravante, a contaminação da água pelos resíduos destes frutos do mar, causando danos ao meio ambiente e fazendo com que as empresas de pescados gastem milhares de dólares, anualmente, com o tratamento de afluentes. Com o protótipo dos autores, foi testado o descongelamento de camarões em blocos de 30 X 22 X 5 cm, colocando estes blocos entre dois eletrodos em paralelo e, passando uma corrente elétrica alternada entre eles. O teste foi comparado com o mesmo bloco de camarão sendo colocado para descongelar submerso em água (30°C). O tempo de descongelamento foi de 3 horas para o descongelamento ôhmico e de 5 horas para o descongelamento convencional. Além de mais rápido, o descongelamento ôhmico não produziu água residual, que necessitasse de tratamento, e também, preservou a qualidade do produto descongelado, visto que desta forma



não houve perdas das proteínas hidrossolúveis e assim diminui a contaminação microbiológica, que ocorreria no descongelamento com água.

Moura et al. (1999), determinaram a condutividade elétrica de sucos concentrados de limão, tangerina e abacaxi, com teor de sólidos que variavam de 10 a 55° Brix, utilizando um condutímetro de marca Radelkis Ok-114. Eles tinham por objetivo, determinar a correlação entre a atividade da água e a condutividade elétrica, com várias faixas de temperatura que variam de 20°C a 80°C. Uma equação para a dependência da condutividade elétrica com a temperatura e a concentração foi desenvolvida. Para estes sucos, a atividade de água e a condutividade elétrica, foram correlacionadas em função da concentração com valores de índice de correlação acima de 0,96 e, portanto, é possível prever a atividade de água por meio do conhecimento da condutividade elétrica dos mesmos. Analisando a condutividade elétrica, com relação aos efeitos provocados pelo teor de sólidos, os autores concluíram que a condutividade aumenta com o aumento do teor de sólidos até 30° Brix, quando então começa a diminuir, o que poderia estar sendo causado devido ao aumento da viscosidade com a concentração, o que diminuiria a mobilidade iônica.

Reznick (1996), considerou muitas as vantagens do aquecimento ôhmico sobre o aquecimento convencional, principalmente para produtos particulados ou viscosos como os queijos cremosos, entretanto,



considerou alguns fatores para que este processo seja aplicado com sucesso na indústria de alimentos.

✓ **ELETROLÍSE** – a corrente alternada a baixas frequências como 50 e 60 Hz, tem um efeito eletrolítico similar ao da corrente contínua, entretanto, com uma extensão menor. O maior efeito eletrolítico é a dissociação dos eletrodos metálicos, os quais podem contaminar o produto. Em frequências alternadas, acima de 100 KHz, o metal aparentemente não é dissociado. Eletrodos de aço inóx puro operaram por mais de três anos na indústria, mostrando que nenhum metal foi dissociado, e também não mostraram necessidade de reposição, após este período. Os eletrodos também devem ser insolúveis, especialmente tratados, de carbono puro, habilitados com maior adequação da potência elétrica para frequências de 50 ou 60 Hz.

✓ **RESISTÊNCIA ELÉTRICA** – Talvez o fator mais importante seja a resistência elétrica específica (resistividade) do produto e sua mudança com a temperatura.

A resistência é quem determinará a corrente:

$$R = V/I \quad (1)$$

Onde V é a tensão em volts (V) e I é a corrente em Ampéres(A).

Se a resistência for alta, a corrente na tensão máxima será baixa e a potência dissipada no meio será baixa. Se a resistência for baixa, a corrente máxima será alcançada com uma tensão elétrica mais baixa, e portanto a potência também será baixa.



✓ **CONSIDERAÇÃO DA POTÊNCIA** – O aquecimento requerido por hora será calculado pela multiplicação da taxa do fluxo de massa M em Kg/h pelo calor específico C_p em Kcal/kg°C e o gradiente de temperatura em °C:

$$Q = MC_p\Delta T \quad (2)$$

Então, a energia requerida, por hora, para promover tal aquecimento, corresponderá à potência P , sendo que:

$$P = VI \text{ e } P = RI^2 \quad (3)$$

O próximo fator a ser considerado é a densidade da corrente, a qual também dependerá da tensão aplicada. Como $P/V = I$, a corrente total é conhecida. O valor da corrente, dividido pela densidade crítica, determinará a área do eletrodo.

✓ **TENSÃO** : Como a tensão é determinante no nível da intensidade da corrente elétrica, a utilização de transformadores com vários níveis de tensão, poderá determinar uma maior flexibilidade no desenho do aquecedor ôhmico.

✓ **DENSIDADE DE CORRENTE** : Este é um dos parâmetros mais críticos a ser considerado, a corrente deverá ser dividida pela área do eletrodo. Todo produto tem uma densidade específica crítica de corrente. Desde que a resistência esteja em função da área, a distância entre os eletrodos já seria estabelecida.

✓ **VELOCIDADE E TAXA DE AQUECIMENTO** : A velocidade de aquecimento de um produto no aquecedor ôhmico é crítica para

aplicações com temperaturas elevadas, especialmente para produtos proteicos podendo ocorrer a coagulação de algumas proteínas. Quando este material solidifica e fica retido no aquecedor ôhmico pode reduzir a velocidade do fluxo e aumentar a resistência, o que implica no aquecimento elevado próximo ao eletrodo provocando uma deformação no equipamento. Em algumas aplicações, esse fenômeno induz um fluxo turbulento e mantém a pressão acima do ponto de ebulição, o que é desejável.

✓ **TEMPO DE AQUECIMENTO** : O tempo de retenção do material no aquecedor ôhmico pode ser menor que no aquecedor convencional, desde que a corrente elétrica possa eliminar a reprodução de alguns microorganismos. Isto oferece uma possibilidade de reduzir o tempo de retenção ou até de reduzir a temperatura do aquecedor ôhmico.

✓ **CONSIDERAÇÕES DO PROJETO** : A otimização de um projeto de processamento por aquecimento ôhmico deverá levar em conta o tipo do produto, velocidade do fluxo, a elevação da temperatura, a taxa de aquecimento e o tempo de aquecimento.

Na literatura existem vários trabalhos relacionando a condutividade elétrica com o teor de sólidos e com a tensão aplicada para diferentes alimentos.

Quanto aos estudos microbiológicos, Parrot (1992) obteve dados através de testes de letalidade usando esporos de *Bacillus stearothermophilus* embutidos em alginato análogo ao da carne e da

cenoura. Os resultados indicaram que as partículas de alginato receberam valores de F_0 (tempo, em minutos, necessário para inativar determinado número de microorganismos a uma temperatura constante de 250°F ou 121°C) similares aos do fluido. Determinações de F_0 também foram feitas no centro e na superfície das partículas, encontrando valores similares, o que indicou uma letalidade uniforme ao longo da partícula, mostrando, então, que é possível que essa letalidade ocorra em partículas de alimentos submetidas ao aquecimento ôhmico.

A letalidade dentro de alimentos particulados que sofreram aquecimento ôhmico também foi investigada por Kim et al., (1996), usando medidas microbiológicas e químicas. Eles usaram almôndegas contendo esporos de *B. stearothermophilus* e precursores de marcadores químicos foram processados termicamente em uma solução viscosa contendo 30-40% de sólidos e usando um sistema ôhmico de 5 kW. Usaram diferentes temperaturas, taxas de fluido, tempos de retenção e fluidos com diferentes condutividades elétricas. Os testes demonstraram que a letalidade é tão alta no interior da almôndega quanto na superfície sob várias temperaturas, taxas de fluxos ou condições no tubo de aquecimento. Os resultados indicaram que a esterilização pelo aquecedor ôhmico para alimentos particulados pode ser avaliada, para uma primeira aproximação, baseada na temperatura do fluido e no tempo de residência (geometria do tubo de aquecimento / taxa de fluxo).



Farnworth et al. (2001), processaram o queijo Kefir usando vários tipos de tratamentos térmicos para a inativação de bactérias e leveduras sem alterar a microestrutura do produto. Para o tratamento com corrente elétrica, utilizou-se um aquecedor ôhmico estático e tensão de 150 V. As amostras foram aquecidas e mantidas por 10 segundos nas temperaturas de testes (50°C, 60°C e 72°C) sendo que nesta última houve a destruição das bactérias e leveduras.

Uemura & Isobe (2001), projetaram em equipamento elétrico de inativação de microorganismos (*Escherichia coli*) em água salgada. Um campo elétrico foi aplicado em água salgada (0,1%) contendo 5×10^8 UFC/ml (unidade formadora de colônia por ml) de microorganismos, sendo que o líquido passa através dos eletrodos 4 vezes em $2,4 \times 10^{-4}$ s, chegando a uma temperatura final de 78,3°C. O líquido é então rapidamente resfriado a 30°C. O número de *E. coli* diminuiu para menos que 10 UFC/ml. Para comparação, uma amostra semelhante foi aquecida a 75°C em banho, e o número de *E. coli* reduziu de $2,1 \times 10^6$ a $4,0 \times 10^0$ UFC/ml em 300 segundos. Comparando os resultados, fica claro que a inativação não foi causada pelo efeito do aquecimento. Segundo os autores, quando uma tensão ultrapassa a tensão de ruptura da membrana celular (1V/célula), ocorre a destruição da mesma, inativando o microorganismos. Os autores concluíram que o tratamento elétrico, causa a inativação dos microorganismos não pelo efeito químico (eletrólise), mas pelo efeito físico (quebra da membrana celular).



Lima et al. (2001), mostraram a influência do aquecimento ôhmico sobre as propriedades de transferência de massa nos tecidos das frutas e vegetais. A difusão do corante da beterraba para um meio fluido foi estudada durante o aquecimento convencional e o aquecimento ôhmico em função da temperatura. O volume de corante que difundiu na solução durante o aquecimento ôhmico aumentou em relação ao aquecimento convencional a 42°C e 58°C, mas não a 72°C. Isto pode ser explicado examinando as diferenças na condutividade elétrica da beterraba nestas temperaturas em ambos os aquecimentos. A 42°C e 58°C, a condutividade elétrica da beterraba aquecida ôhmicamente é maior que a condutividade do aquecimento convencional. A 72°C, a condutividade elétrica em ambos os aquecimentos foi igual. A provável razão para condutividades elétricas maiores durante o aquecimento ôhmico a baixas temperaturas é o aumento da mobilidade dos constituintes devido a eletro-osmose. A difusão no aquecimento ôhmico foi proporcional a voltagem aplicada. Estes resultados sugerem que processos que envolvem transferência de massa podem ser melhorados com a escolha das condições na qual a condutividade da amostra é maximizada.

Depois foram acondicionadas em embalagens plásticas e rapidamente congeladas à -20°C.



4 - MATERIAL E MÉTODOS

4.1- MATERIAIS

4.1.1 – Suco de Laranja

O suco de laranja utilizado foi fornecido pela Bascitrus Indústria e Comércio Ltda., concentrado e congelado a 63,8°Brix, sendo então diluído em água destilada para obter diferentes teores de sólidos solúveis para a realização das análises.

4.1.2 – Suco de Abacaxi

O abacaxi utilizado neste trabalho foi da variedade Pérola, adquirido de produtores da região. As frutas foram escolhidas entre as de melhor aspecto, dando preferência aos exemplares mais firmes, sem danos aparentes na casca, em estágios de maturação semelhante em todo o lote. As frutas foram descascadas manualmente, para a obtenção da polpa e processadas em despoldadeiras com tela de 1,6mm de abertura. Depois foram acondicionadas em embalagens plásticas e rapidamente congeladas à -20°C.



4.1.3 – Suco de Manga

As mangas utilizadas nesta pesquisa foram da variedade Haden, selecionadas de um único lote, proveniente de um produtor da região. A seleção foi realizada visualmente, levando-se em conta a aparência e grau de maturação que foi avaliado pela uniformidade da cor amarela, e de textura firme. Em seguida foram lavadas em água corrente, descascadas e despulpadas.

A manga foi processada em uma despulpadeira com tela de 1,6 mm de abertura. Esta abertura foi escolhida visando um máximo rendimento na extração da polpa, conforme prática industrial, para produzir uma polpa bem homogênea. A polpa foi acondicionada em recipientes plásticos de 1 a 5 Kg, sendo então congelada em freezer horizontal com temperatura a -20°C , visando sua preservação. Parte da polpa foi centrifugada, parte adicionada enzima, e o restante conservado na sua forma integral, para a realização do trabalho.

4.1.4 – Célula Condutivimétrica

A célula condutivimétrica utilizada nesta pesquisa foi desenvolvida pelo Departamento de Engenharia de Alimentos e calibrada com solução de condutividade elétrica conhecida. Construída em aço inox e teflon, este último inerte aos mais variados produtos químicos altamente corrosivos



(GENTIL, 1982), resistente a temperaturas mais elevadas, e é um bom isolante elétrico. O teflon suporta temperaturas máximas em torno de 300°C.

A célula tem dimensões de 28,5 cm de comprimento, diâmetro interno de 3,0 cm e diâmetro externo de 4,5 cm, nas extremidades possui tampões removíveis, também de teflon, rosqueáveis, permitindo o enchimento da célula e na parte interna são presos os eletrodos de titânio platinizados.

A abertura para o termopar é pequena e está posicionada no centro geométrico da amostra, servindo também para inserir amostras fluidas. O orifício é selado, de forma que resista à pressão gerada internamente com o aquecimento do produto. O termopar, coberto por teflon até quase a extremidade, é parafusado numa tampa de teflon, que, por sua vez, se ajusta à superfície interna do tubo, através de roscas. O termopar utilizado foi do tipo T e foi calibrado freqüentemente com termômetro padrão.

Um circuito semelhante ao de Palaniappan & Sastry (1991a), foi montado, para variação da tensão de 0 a 200V, e freqüência de 60 Hz.



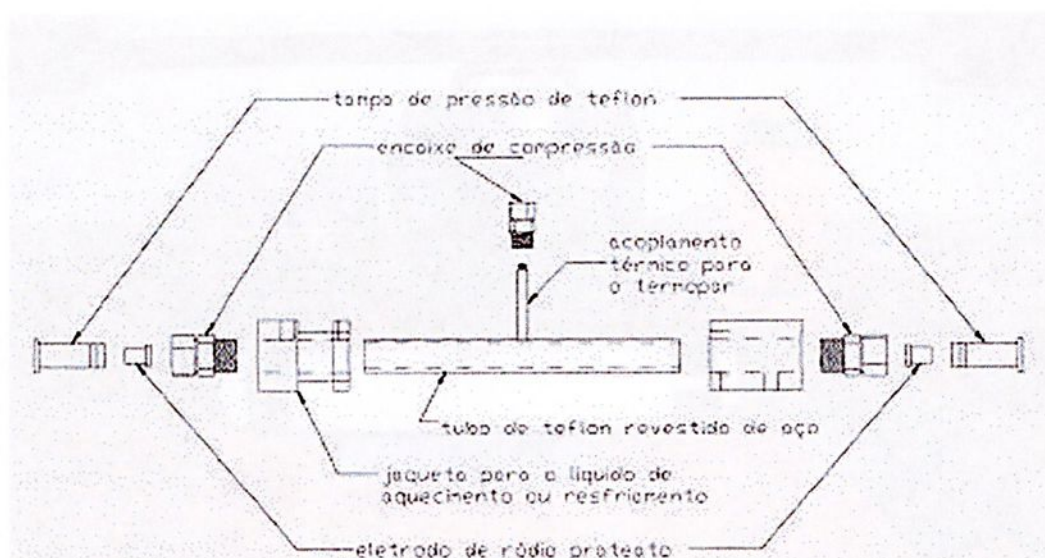


Figura 1 – modelo esquemático da célula proposto Palaniappan & Sastry (1991a)

4.2 - MÉTODOS

4.2.1 Determinação da Condutividade Elétrica

A célula para a determinação da condutividade elétrica está mostrada na Figura 2. Um amperímetro marca Minipa é utilizado para medir a corrente elétrica, um variador de tensão da marca Arije tipo M1410 foi utilizado para medir a tensão aplicada, o termopar tipo T, foi ligado a um registrador de temperatura marca Coel, e a estabilidade da tensão aplicada foi controlada por multímetro também da marca Minipa.



Figura 2 – Sequência montada para a medida da condutividade elétrica na célula condutivimétrica, durante o aquecimento ôhmico.

Foram medidos a tensão, a corrente elétrica, e a temperatura durante o aquecimento da amostra de -20°C até 8°C . O tempo também foi um importante fator analisado e computado.

4.2.2. Determinação do pH

O pH foi determinado, conforme Método do Instituto Adolfo Lutz, nº

4.7.2.p.27, por processo eletrométrico. Para isso utilizou-se um pHmetro,

A condutividade elétrica das amostras é calculada de acordo com os dados obtidos de tensão de corrente, aplicando as seguintes equações:

$$Q = I^2 R, \quad (4)$$

onde $R = L/(A\sigma),$ (5)

e $\sigma = (1/R).K_c$ (6)

ou $\sigma = (I/V).(L/A)$ (7)

onde Q = calor gerado, I = corrente, R = resistência = V/I (dada em Volt/Ampère), L = comprimento (em cm) do tubo utilizado, A = área (em cm^2) do eletrodo e K_c = constante (1/m).

Usando análise dimensional, σ (condutividade elétrica) será expressa em Siemens/metro.

A taxa de aquecimento pode ser calculada assumindo geração uniforme de calor ao longo das amostras e, neste caso, a perda de calor para os arredores pode ser desprezível, devido a espessura da parede da célula. A temperatura ambiente durante as análises foi mantida a 23°C .

4.2.2. Determinação do pH

O pH foi determinado, conforme Método do Instituto Adolfo Lutz, nº 4.7.2,p.27. por processo eletrométrico. Para isso utilizou-se um pHmetro,



marca Quimis, modelo Q400-A, com divisão na escala de 0,01. O aparelho foi calibrado usando-se soluções tampão pH 4 e 7. Em seguida, foi feita a leitura direta do pH, com a imersão do eletrodo no béquer contendo a amostra.

4.2.3. Determinação dos Teores de Sólidos Solúveis

A determinação do teor de sólidos solúveis foi feita em refratômetro de bancada, com menor divisão de escala de 0,5°Brix. As leituras foram feitas diretamente no aparelho à temperatura de 25°C, conforme metodologia descrita pelo Método do Instituto Adolfo Lutz nº13.6.1,p.181-183.

4.2.4. Aplicação da Enzima no Suco de Manga

Ao suco de manga foi aplicada a enzima Citrozyn Cloudy (com temperatura ótima de 50 °C e pH ótimo de 4,5), fabricada pela Novo Nordisk S. A . A enzima foi adicionada na polpa integral a 50°C na proporção de 1,0ppm em volume, durante 50 minutos, condições ideais segundo o fabricante.



4.2.5. Variação do Tamanho das Partículas em Sucos de Manga e de Abacaxi

Para se obter diferentes tamanhos de partículas do suco de manga, este foi passado em peneiras vibratórias, com mesh 0,149, 0,25, 0,5 e 1 mm, agitadas por 10 min. O suco de abacaxi integral, de partícula 1,6mm foi passado pela peneira de 1mm por 10 min e centrifugado a 15000 rpm durante 10 minutos, equivalente a 2G, condição esta para reduzir o teor de sólidos insolúveis a quase zero.

4.2.6. Análises Estatísticas dos Dados

Para analisar as influências dos fatores: teor de sólidos e tensão aplicada na condutividade elétrica dos sucos foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado.

Inicialmente foi feita uma análise de variância, com desdobramento dos graus de liberdade dos tratamentos utilizados no aquecimento ôhmico dos sucos, de acordo com o esquema fatorial. As médias dos fatores foram comparadas pelo Teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

Os resultados foram obtidos através do programa de análise estatística desenvolvido pelo Prof. Dr. S. N. Kronka e Prof. Dr. David Ariovaldo Banzatto, da UNESP de Jaboticabal, e os gráficos foram feitos com a ajuda do software Excel.



5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Segundo Larkin & Spinak (1996), a especificação dos produtos, que definem seus aspectos físico-químicos, teria um papel importante no processo de aquecimento ôhmico, portanto uma descrição completa do produto seria necessária, incluindo valores mínimos e máximos – limites críticos, que deveriam ser bem definidos. Dentre estes fatores críticos poderiam ser incluídos, a condutividade elétrica, o conteúdo de sólidos, a forma e o tamanho de partículas, viscosidade, relação sólido-líquido, pH. Com estes fatores identificados, é necessário saber as influências que exerceram sobre o processo e quais as hipóteses necessárias para se fazer previsões consideráveis durante o processo.

5.1 - Verificação da aferição da célula condutivimétrica

A aferição da célula condutivimétrica foi testada através da medida da condutividade elétrica de uma solução salina em condutivímetro comercial, marca Analion, modelo C702, devidamente calibrado com solução padrão, e a condutividade medida na célula condutivimétrica. Os resultados estão apresentados na Tabela 5.1.

1 – Pelacani, 2002

2 – Moura et al. 1995



Tabela 5.1 - Comparação de médias de condutividade elétrica obtidas através de medição no condutímetro comercial e na célula condutivimétrica.

Solução	Conc. (M)	Cond.com. (S/m)	Cel.condu. (S/m)	Diferença (%)
	0,02	0,326	0,346	6,1
NaCl	0,05	0,745	0,785	5,4
	0,17	1,750	1,790	2,3

A diferença máxima encontrada entre os valores de referência e os valores foi de 6,1%, os quais consideramos satisfatório para nosso equipamento.

5.2 - Caracterização das matérias -primas

As características físicas e químicas dos sucos utilizados no trabalho estão na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Características físicas e químicas dos sucos de manga, laranja e abacaxi estudados, base úmida.

Análises	Manga ¹	Laranja ¹	Abacaxi ²
Sólidos Solúveis(°Brix)	15,5	63,8	13,5
pH	3,98	3,79	3,8

1 – Pelacani, 2002

2 – Moura et al. 1999

5.3 - Influência dos teores de sólidos solúveis na condutividade elétrica e na taxa de aquecimento ôhmico do suco de laranja a baixas temperaturas.

A Figura 3 mostra o comportamento da condutividade elétrica do suco de laranja em função dos teores de sólidos solúveis (12°Brix, 24°Brix, 37°Brix, 50°Brix e 63°Brix) na faixa de temperatura de -20°C a 8°C). Os resultados apresentados representam a média de três repetições.

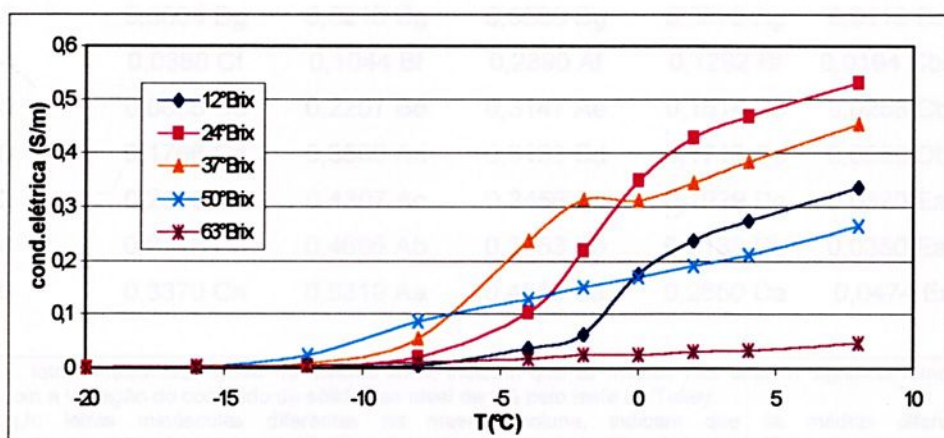


Figura 3 – Variação da condutividade elétrica do suco de laranja a baixas temperaturas, com diferentes teores de sólidos solúveis e tensão aplicada de 165V.

As médias de condutividade elétrica foram submetidas a análise de variância com desdobramentos dos graus de liberdade dos 150 tratamentos, de acordo com o esquema fatorial 5x10 com 3 repetições, para se verificar os efeitos da temperatura e do teor de sólidos solúveis

sobre a condutividade elétrica. As médias dos fatores foram comparadas pelo teste de Tukey.

As médias da condutividade elétrica, obtidas no teste de Tukey, encontram-se na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Médias da condutividade elétrica (S/m), obtidas através das interações de temperatura versus concentração do suco de laranja, com tensão de 165V. Desvio padrão de 0,0068.

Temp(°C)	Sólidos Solúveis				
	12°Brix	24°Brix	37°Brix	50°Brix	63°Brix
-20	0,0029 Ag	0,0029 Ah	0,0029 Ah	0,0029 Ah	0,0029 Ad
-16	0,0029 Ag	0,0029 Ah	0,0032 Ah	0,0032 Ah	0,0053 Ad
-12	0,0029 Bg	0,0054 Bgh	0,0097 Abh	0,0252 Ah	0,0057 Bd
-8	0,0064 Dg	0,0215 Cg	0,0560 Bg	0,0872 Ag	0,0118 Dcd
-4	0,0388 Cf	0,1044 Bf	0,2390 Af	0,1292 Bf	0,0194 Cbcd
-2	0,0635 Ce	0,2207 Be	0,3147 Ae	0,1518 Be	0,0258 Cbc
0	0,1766 Cd	0,3500 Ad	0,3133 Bd	0,1713 Cd	0,0258 Dbc
2	0,2390 Cc	0,4307 Ac	0,3456 Bc	0,1929 Dc	0,0320 Eab
4	0,2746 Cb	0,4695 Ab	0,3853 Bb	0,2133 Db	0,0350 Eab
8	0,3370 Ca	0,5319 Aa	0,4555 Ba	0,2650 Da	0,0474 Ea

A,B,C,D,E: letras maiúsculas iguais na mesma linha, indicam que as médias não diferem significativamente entre si, com a variação do conteúdo de sólidos ao nível de 1% pelo teste de Tukey.

a,b,c,d,e,g,h: letras minúsculas diferentes na mesma coluna, indicam que as médias diferiram significativamente, entre si, com a variação da temperatura, ao nível de 1% pelo teste de Tukey.

A condutividade elétrica, em relação a variação do teor de sólidos mostrou-se maior nas concentrações de 63°Brix e 50°Brix até -12°C. A partir de -8°C observou-se que a condutividade elétrica foi aumentando nas concentrações intermediárias, tornando-se maior a partir de 0°C na concentração de 24°Brix.

A análise de variância para a variação da condutividade elétrica com a variação dos fatores temperatura, teor de sólidos solúveis e as

interações entre temperatura versus teor de sólidos solúveis e como houve diferença significativa ao nível de 1% ($P < 0,01$) em todos os fatores, demonstrando dependência da condutividade elétrica com a variação dos mesmos, foi necessário o desdobramento das interações temperatura versus teor de sólidos solúveis, Tabela I e II (anexo).

Pelacani (2002), determinou a condutividade elétrica do suco de laranja com diferentes teores de sólidos solúveis, em temperaturas de 20 a 100°C e verificou que a condutividade elétrica aumenta com a temperatura. No entanto, para uma mesma temperatura, o aumento da concentração eleva a condutividade elétrica até 30°Brix e reduz a mesma após esta concentração.

A condutividade elétrica de líquidos, segundo Palaniappan & Sastry, (1991b), é afetada pela natureza dos íons (composição química), movimentos iônicos e a viscosidade do líquido, os dois últimos dependentes da temperatura. O aumento da condutividade com o aumento da temperatura, poderia ser explicado pela diminuição do arraste dos íons em movimento. O arraste de íons aumenta com o aumento do conteúdo sólidos, os quais podem ser uma razão na diminuição da inclinação da condutividade elétrica com o aumento do conteúdo de sólidos.

No estudo realizado por Moura et al. (1999), demonstrou-se a relação entre condutividade elétrica e concentração (10 a 55°Brix) a diferentes temperaturas (20 a 80°C) para sucos de tangerina, abacaxi e



limão. Concluiu-se que a condutividade elétrica aumenta com a concentração até aproximadamente 30°Brix, sendo que a partir desta concentração diminui. A diminuição da condutividade elétrica pode ser devido ao aumento da viscosidade dos sucos com a concentração, o que diminuiria a mobilidade iônica. A viscosidade aparente (10^{-3} Pa.s) dos sucos analisados aumentou, em média, 30% entre 25 e 30°Brix.

Estes mesmo resultado foi obtido por Pelacani (2002) durante o aquecimento ôhmico de sucos de laranja e manga.

A Figura 4 mostra o perfil de aquecimento do suco de laranja com diferentes teores de sólidos solúveis. Verifica-se que para atingir 8°C, o tempo de aquecimento é maior no suco com 12 e 24°Brix e menor nas concentrações de 50 e 63°Brix, para tensão aplicada de 165 V.

Embora a condutividade elétrica seja maior em concentrações menores (12-37°Brix), a quantidade de água a ser descongelada é maior, aumentando o tempo de descongelamento do suco. Isto é facilmente observado na Figura 4, na faixa de temperatura de -5 a 0°C.

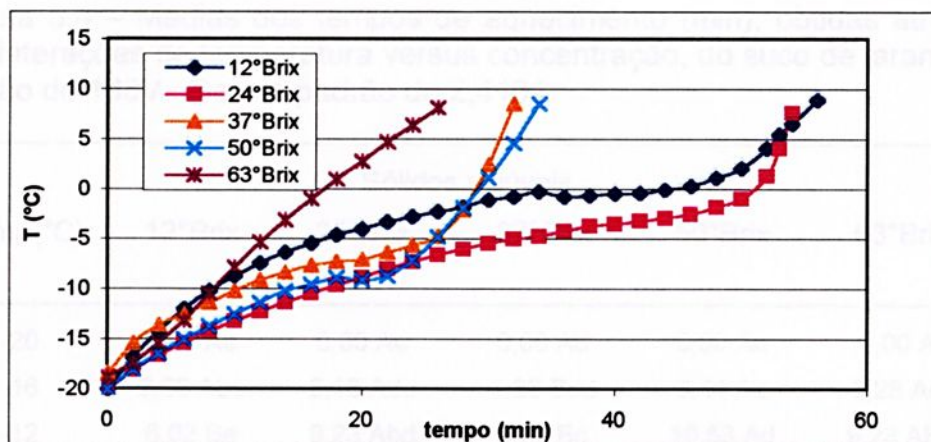


Figura 4 – Variação do tempo de aquecimento do suco de laranja, com diferentes teores de sólidos solúveis a uma tensão aplicada de 165V.

Na faixa de temperatura entre -5 e 0°C , temos calor latente, onde ocorre mudança de fase sem variação de temperatura. Após este período, tem-se calor sensível, onde não há mudança de fase, mas há alteração da temperatura.

Para concentrações de suco acima de 37°Brix , o tempo de descongelamento foi de aproximadamente 30 min, enquanto que para concentrações de 12 e 24°Brix o tempo foi praticamente duas vezes maior, conforme mostrado na Tabela 5.4. Este fato é importante, pois a indústria geralmente congela o suco de laranja a 63°Brix .

Tabela 5.4 – Médias dos tempos de aquecimento (min), obtidas através das interações de temperatura versus concentração, do suco de laranja, a tensão de 165V. Desvio padrão de 2,4161.

Temp(°C)	Sólidos solúveis				
	12°Brix	24°Brix	37°Brix	50°Brix	63°Brix
-20	0,00 Ae	0,00 Ae	0,00 Ad	0,00 Ae	0,00 Af
-16	2,36 Abe	3,18 Ade	1,28 Bcd	3,44 Ae	3,28 Aef
-12	6,02 Be	9,23 Abd	6,53 Bc	10,53 Ad	9,23 ABe
-8	11,26 BCd	16,17 Bc	15,26 BCb	23,26 Ac	10,05 Cde
-4	20,21 BCd	29,24 Ab	26,54 ABa	26,38 ABbc	13,09 Ccd
-2	27,14 Bc	42,25 Aa	29,08 Ba	27,14 Babc	15,86 Cbcd
0	44,23 Ab	43,17 Aa	29,07 Ba	29,18 Babc	17,12 Cbc
2	50,04 Aab	45,21 Aa	29,53 Ba	30,31 Bab	19,01 Cbc
4	52,25 Aa	45,23 Aa	30,38 Ba	31,39 Bab	21,14 Cab
8	55,16 Aa	47,11 Ba	32,24 CDa	33,43 Cd	26,11 Da

A,B,C,D:letras iguais na mesma linha, não apresentam diferença significativa entre si, ao nível de 1% do teste de Tukey, nas médias em relação a variação do teor de sólidos.
a,b,c,d,e,f: letras diferentes na mesma coluna, indicam diferença significativa, entre si, ao nível de 1% pelo teste de Tukey, nas médias em relação a temperatura.

Palaniappan e Sastry (1991b), determinaram a condutividade elétrica do suco de tomate (até 16,7°Brix) e de laranja (até 21°Brix). A condutividade elétrica aumentou linearmente com a temperatura e diminuiu com o aumento dos teores de sólidos. As taxas de aquecimento foram melhores nos sucos com concentrações menores.

5.4 - Influência da tensão aplicada na condutividade elétrica e no tempo de aquecimento ôhmico do suco de laranja.

Observou-se que quanto maior a tensão aplicada maior a condutividade elétrica e menor o tempo de aquecimento do suco de laranja a 12°Brix, como pode ser observado nas Figuras 5 e 6 e nas Tabelas 5.5 e 5.6. Esta evidência é ainda maior na faixa de temperatura de -8 a 0°C, intervalo de maior consumo de energia (calor latente).

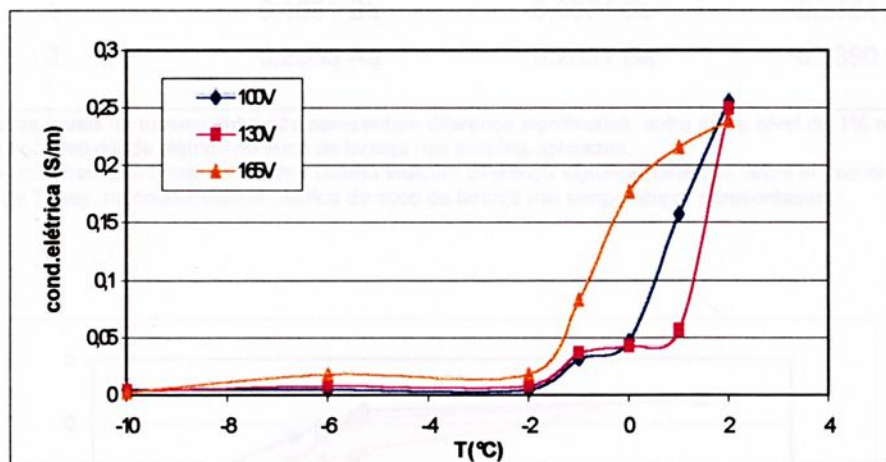


Figura 5 – Variação da condutividade elétrica do suco de laranja a 12°Brix, em três tensões aplicadas.

As Tabelas 5.5 e 5.6 mostram que as médias da condutividade elétrica e do tempo de aquecimento do suco de laranja a 12°Brix, nas tensões aplicadas, diferiram significativamente, entre si, ao nível de 1% no teste de Tukey ($P < 0,01$). A Tabela III (anexo) mostra a análise da variância, para os efeitos da tensão aplicada sobre a condutividade elétrica e o tempo de aquecimento e, a Tabela IV (anexo) mostra a interação entre temperatura e tensão aplicada na variação da

condutividade elétrica e do tempo de aquecimento e seus desdobramentos.

Tabela 5.5 – Médias da condutividade elétrica(S/m), do suco de laranja 12°Brix aquecido ôhmicamente em três tensões diferentes. Desvio padrão de 0,0023.

Temp(°C)	Tensão aplicada		
	100V	130V	165V
-10	0,0048 Af	0,0037 Ae	0,0029 Ag
-6	0,0048 Bf	0,0082 Be	0,0183 Af
-2	0,0048 Ce	0,0082 Bd	0,0183 Ae
-1	0,0320 Bd	0,0369 Bcd	0,0840 Ad
0	0,0480 Bc	0,0437 Bc	0,1777 Ac
1	0,1581 Bb	0,0574 Cb	0,2164 Ab
2	0,2565 Aa	0,2501 Ba	0,2390 Ca

A,B,C: letras iguais na mesma linha não apresentam diferença significativa, entre si, ao nível de 1% no teste de Tukey, na condutividade elétrica do suco de laranja nas tensões aplicadas.
a,b,c,d,e,f,g: letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativamente, entre si , ao nível de 1% no teste de Tukey, na condutividade elétrica do suco de laranja nas temperaturas apresentadas.

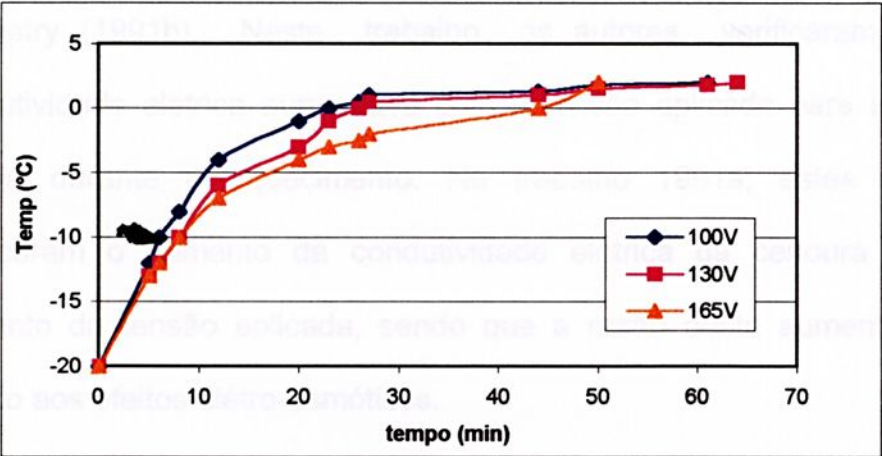


Figura 6 – Variação do tempo de aquecimento do suco de laranja a 12°Brix, aquecido ôhmicamente, com diferentes tensões aplicadas.

Tabela 5.6 – Médias do tempo de aquecimento (min) do suco de laranja 12°Brix, obtidos através do desdobramento da tensão aplicada versus a temperatura. Desvio padrão de 0,6059.

Temp(°C)	Tensão Aplicada		
	100V	130V	165V
-20	0,00 Ag	0,00 Ag	0,00 Ag
-12	4,53 Bf	6,24 Af	6,02 Af
-8	8,00 Ce	10,09 Be	11,26 Ae
-4	12,35 Bd	19,44 Ad	20,21 Ad
-2	16,55 Cc	22,43 Bc	27,14 Ac
0	23,21 Cb	26,18 Bb	44,23 Ab
2	61,42 Ba	64,20 Aa	50,04 Ca

A,B,C: letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa, entre si, ao nível de 1% no teste de Tukey, no tempo de aquecimento do suco de laranja em tensões diferentes.
a,b,c,d,e,f,g: letras minúsculas diferentes na mesma coluna, indicam diferenças significativas, entre si, ao nível de 1% no teste de Tukey, no tempo de aquecimento do suco de laranja nas temperaturas apresentadas.

A condutividade elétrica do suco de laranja a diferentes tensões aplicadas, comportou-se em concordância com o trabalho de Palaniappan & Sastry (1991b). Neste trabalho os autores verificaram que a condutividade elétrica aumentava com a tensão aplicada para suco de laranja durante o aquecimento. No trabalho 1991a, estes autores verificaram o aumento da condutividade elétrica da cenoura com o aumento da tensão aplicada, sendo que a razão deste aumento seria devido aos efeitos elétro-osmóticos.

5.5 – Influência do tamanho das partículas na condutividade elétrica e no tempo de aquecimento do suco de abacaxi a baixas temperaturas.

A Figura 7 mostra a variação da condutividade elétrica em função do tamanho das partículas (integral, 1mm, centrifugado) e da temperatura na faixa de -20°C a 8°C do suco de abacaxi.

Os resultados apresentados são as médias de três repetições.

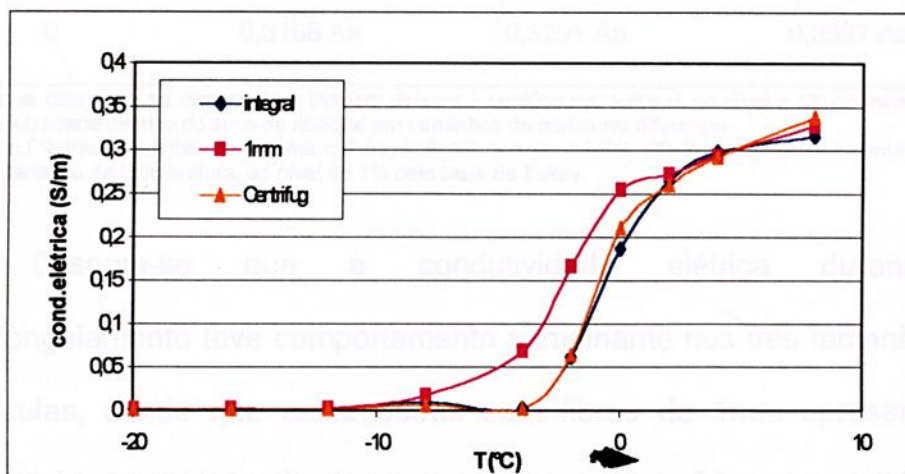


Figura 7 – Variação da condutividade elétrica do suco de abacaxi, em função da temperatura, com diferentes tamanhos de partículas a tensão aplicada de 165V.

A Tabela 5.7 apresenta as médias da condutividade elétrica das interações temperatura versus tamanho de partícula. Os dados do desdobramento da interação encontram-se da Tabela V (anexo).

Tabela 5.7 – Médias das condutividades elétricas (S/m) do suco de abacaxi, obtidas através das interações temperatura versus tamanho de partículas, a tensão aplicada de 165V. Desvio Padrão de 0,0118.

Temp(°C)	Tamanho de partícula		Centrifugado
	integral	1mm	
-20	0,0026 Ae	0,0026 Af	0,0026 Af
-16	0,0027 Ae	0,0028 Af	0,0026 Af
-12	0,0027 Ae	0,0029 Af	0,0026 Af
-8	0,0096 Ae	0,0173 Af	0,0067 Af
-4	0,0032 Be	0,0691 Ae	0,0029 Bf
-2	0,0624 Bd	0,1670 Ad	0,0643 Be
0	0,1871 Cc	0,2553 Ac	0,2111 Bd
2	0,2658 Ab	0,2735 Abc	0,2610 Ac
4	0,2984 Aa	0,2946 Ab	0,2936 Ab
8	0,3168 Aa	0,3291 Aa	0,3397 Aa

A,B: letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa, entre si, ao nível de 1% no teste de Tukey, na condutividade elétrica do suco de abacaxi em tamanhos de partículas diferentes.

a,b,c,d,e,f: letras diferentes na mesma coluna, indicam que as médias diferiram significativamente, entre si, com a variação da temperatura, ao nível de 1% pelo teste de Tukey.

Observa-se que a condutividade elétrica durante o descongelamento teve comportamento semelhante nos três tamanhos de partículas, sendo que as amostras com fibras de 1mm apresentaram condutividade elétrica ligeiramente maior, para a faixa de temperatura entre -10 e 0°C.

Palaniappan e Sastry (1991b), demonstraram que a condutividade elétrica aumentou com a temperatura, em uma faixa de 20 a 100°C, e diminuiu com o tamanho das partículas em um experimento com suco de cenouras. Segundo os autores, desde que o teor de sólidos seja o mesmo em todas as amostras, o aumento na condutividade elétrica com a redução do tamanho das partículas poderia ser devido a redução do

arraste dos íons em movimento. Uma outra razão considerada foi o possível lançamento dos fluidos intracelulares dos tecidos da cenoura para a solução, o que aumentaria a condutividade efetiva dos sucos.

Nos experimentos a baixas temperaturas com suco de abacaxi este comportamento não se repetiu, o que poderia ser explicado pela imobilidade dos íons e dos fluidos no suco congelado, observando-se que nas três tensões aplicadas os comportamentos foram semelhantes. Podemos também perceber que em temperaturas maiores, onde não se tem mais a presença de gelo e, já há movimentação de íons e fluidos, o comportamento é semelhante ao obtido por Palaniappan e Sastry (1991b).

A Figura 8 apresenta os tempos de aquecimento do suco de abacaxi, em função do tamanho de partículas na tensão aplicada de 165V, e a interação temperatura versus tamanho de partículas. O desdobramento das interações são apresentados na Tabela VI (anexo).

Observa-se que o suco de abacaxi nas três variações de tamanho de partícula tem um comportamento semelhante até as temperaturas de mudança de fase. Após estas temperaturas, o suco de 1mm descongelou em um tempo menor, sendo necessário mais estudos para justificar este comportamento, pois não houve diferença significativa entre os sucos integral e centrifugado.

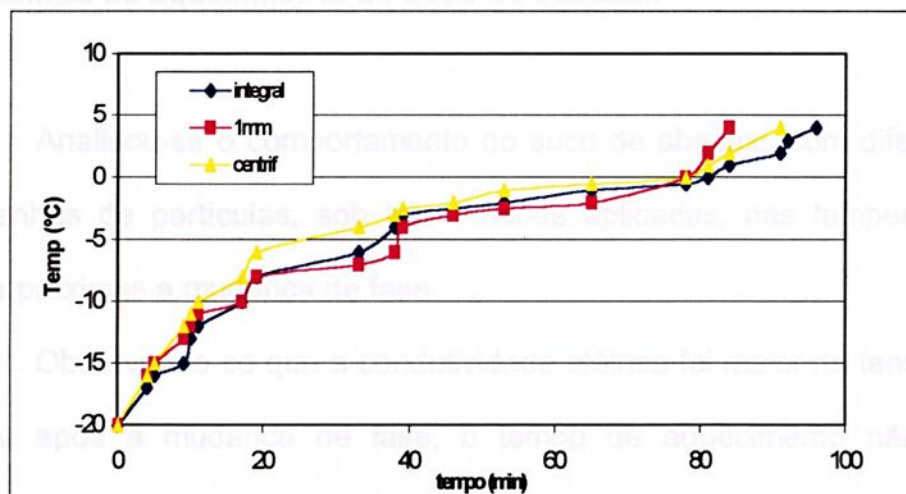


Figura 8 – Variação do tempo de aquecimento do suco de abacaxi, aquecido ôhmicamente, em três tamanhos de partículas, a tensão aplicada de 165V.

Tabela 5.8 – Médias dos tempos de aquecimento (min) do suco de abacaxi, obtidas através do desdobramento tamanho de partículas versus temperatura, a tensão aplicada de 165V. Desvio padrão de 3,8134.

Temp(°C)	Tamanho de partículas		
	integral	1mm	Centrifugado
-20	0,00 Ag	0,00 Ae	0,00 Af
-16	4,42 Afg	2,62 Ae	4,21 Af
-12	11,37 Aef	9,52 Ade	9,15 Aef
-8	19,13 Ae	19,28 Ad	17,08 Ae
-4	38,09 Ad	38,59 Ac	32,58 Ad
-2	53,30 Bc	65,35 Ab	46,03 Bc
0	81,13 Ab	78,09 Aa	78,19 Ab
2	91,50 Aa	81,43 Ba	87,22 Abab
4	96,36 Aa	84,12 Ba	92,43 Aa

A,B: letras iguais na mesma linha indicam que as médias não diferiram significativamente entre si, com a variação do tamanho de partículas.

a,b,c,d,e,f,g: letras diferentes na mesma coluna, indicam que as médias diferiram significativamente, entre si, com a variação da temperatura, ao nível de 1% pelo teste de Tukey.

5.6 - Influência das tensões aplicadas sobre a condutividade elétrica e o tempo de aquecimento do suco de abacaxi.

Analizou-se o comportamento do suco de abacaxi, com diferentes tamanhos de partículas, sob três tensões aplicadas, nas temperaturas mais próximas a mudança de fase.

Observando-se que a condutividade elétrica foi maior na tensão de 165V após a mudança de fase, o tempo de aquecimento não teve diferença significativa ao nível de 1% pelo teste de Tukey. A Figura 9 apresenta o resultado obtido para suco de abacaxi integral e a Tabela 5.9 as médias da condutividade elétrica versus temperatura.

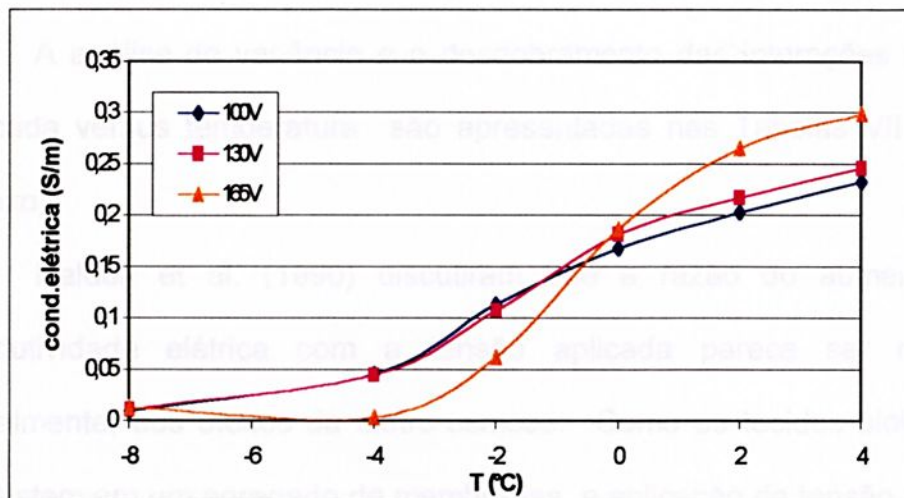


Figura 9 – Variação da condutividade elétrica do suco de abacaxi integral, em três tensões aplicadas.

Tabela 5.9 – Médias das condutividades elétricas (S/m) do suco de abacaxi integral, obtidas através das interações temperatura versus tensão aplicada. Desvio padrão de 0,0161.

Temp (°C)	Tensão Aplicada		
	100V	130V	165V
-8	0,0096 Ad	0,011 Ad	0,0127 Ad
-4	0,0459 Ad	0,0451 Ad	0,0032 Bd
-2	0,1140 Ac	0,1072 Ac	0,0624 Ac
0	0,1678 Ab	0,1815 Ab	0,1871 Ab
2	0,2027 Bab	0,2168 Bb	0,2658 Aa
4	0,2328 Ba	0,2460 Ba	0,2984 Aa

A,B: letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa, entre si, ao nível de 1% no teste de Tukey, na condutividade elétrica do suco de abacaxi, nas tensões aplicadas.

a,b,c,d: letras diferentes na mesma coluna, indicam diferenças significativas das médias, entre si, ao nível de 1% no teste de Tukey

Figura 10 apresenta os dados do tempo de aquecimento do suco de abacaxi em três tensões aplicadas e a Tabela 5.10 as médias dos tempos de aquecimento versus temperatura.

A análise de variância e o desdobramento das interações tensão aplicada versus temperatura são apresentadas nas Tabelas VII e VIII (anexo).

Halden et al. (1990) discutiram que a razão do aumento da condutividade elétrica com a tensão aplicada parece ser devido, inicialmente, aos efeitos da eletro-osmose. Como os tecidos biológicos consistem em um agregado de membranas, a aplicação da tensão resulta no movimento dos fluídos através dos capilares. A pressão osmótica parece ser, em uma análise simplificada, diretamente proporcional ao gradiente de tensão.

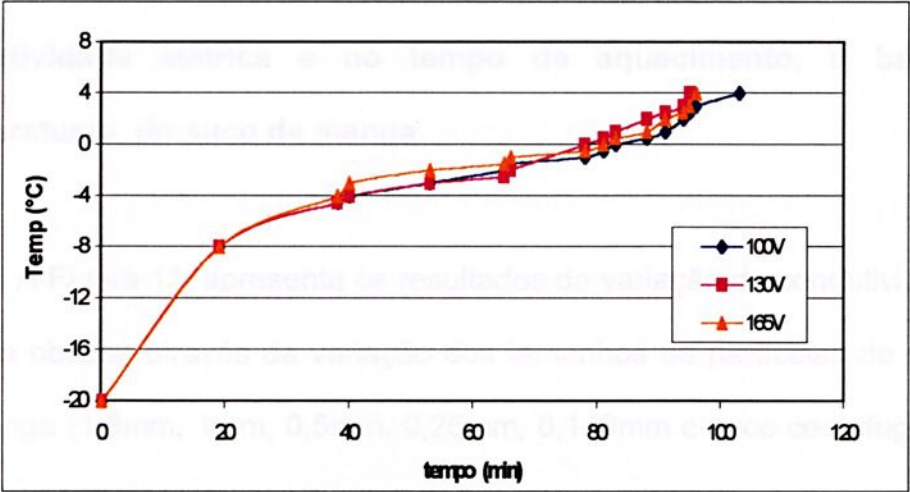


Figura 10 – Variação do tempo de aquecimento do suco de abacaxi integral sob três tensões aplicadas.

Tabela 5.10 - Médias dos tempos de aquecimento (min) do suco de abacaxi integral obtidas através das interações temperatura versus tensões aplicadas. Desvio padrão de 2,4460.

Temp (°C)	Tensão aplicada		
	100V	130V	165V
-20	0,00 Ag	0,00 Ag	0,00 Af
-8	19,22 Af	19,36 Af	19,13 Ae
-4	40,19 Ae	40,31 Ae	38,09 Bd
-2	65,25 Ad	66,00 Ad	53,30 Bc
0	83,13 Ac	78,17 Ac	81,13 Ab
2	94,06 Ab	88,35 Bb	91,50 ABa
4	103,03 Aa	95,26 Ba	96,36 Ba

A,B: letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas, entre si, ao nível de 1% pelo teste de Tukey, no tempo de aquecimento do suco de abacaxi, nas tensões aplicadas.
a,b,c,d,f,g: letras diferentes na mesma coluna, indicam diferenças significativas das médias, entre si, ao nível de 1% no teste de Tukey

Observou-se que até a mudança de fase a variação de tensão não foi significativa, e que na fase de aquecimento esta diferença é pequena.

5.7 - Influência dos tamanhos de partículas e da temperatura na condutividade elétrica e no tempo de aquecimento, a baixas temperaturas, do suco de manga.

A Figura 11 apresenta os resultados da variação da condutividade elétrica obtidos através da variação dos tamanhos de partículas do suco de manga (1,6mm, 1mm, 0,5mm, 0,25mm, 0,149mm e suco centrifugado) a baixas temperaturas. Os resultados representam a média de três repetições.

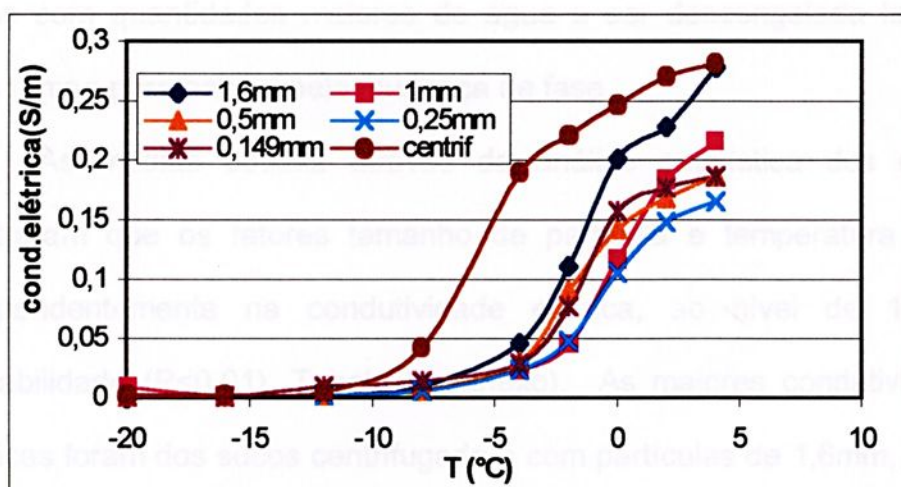


Figura 11 – Variação da condutividade elétrica do suco de manga, aquecido ôhmicoamente, com diferentes tamanhos de partículas e tensão aplicada de 165V.

Observa-se que a condutividade elétrica é maior para o suco centrifugado e com partículas de 1,6mm. A condutividade elétrica a baixas temperaturas teve um comportamento contrário comparado a temperaturas acima de 20°C, em trabalhos realizados por Pelacani (2002), com suco de manga e Palaniappan e Sastry (1991b), em trabalho com cenoura. Uma explicação para este comportamento seria que as partículas sólidas teriam condutividade elétrica diferente do fluido. Esta suposição seria objetivo de estudos posteriores.

Em relação ao tempo de aquecimento, observamos que até 0°C os sucos com quantidades maiores de água a ser descongelada levaram mais tempo para passar pela mudança de fase.

As médias obtidas através da análise estatística dos dados, mostraram que os fatores tamanho de partícula e temperatura agem independentemente na condutividade elétrica, ao nível de 1% de probabilidade ($P < 0,01$), Tabela IX (anexo). As maiores condutividades elétricas foram dos sucos centrifugado e com partículas de 1,6mm, sendo que as demais amostras não diferiram significativamente entre si, como apresentado na Tabela 5.11.

Figura 12 – variação do tempo de aquecimento do suco de manga, aquecido lentamente, com diferentes tamanhos de partículas e tensão aplicada de 165V

Tabela 5.11 – Médias das condutividades elétricas (S/m), obtidas através das interações tamanho de partículas versus temperatura do suco de manga, com tensão aplicada de 165V a 4°C. Desvio padrão de 0,0593.

Tamanho de partículas	condutividade elétrica
1,60 mm	0.2792 A
1,00 mm	0.2159 B
0,50 mm	0.1871 B
0,25 mm	0.1660 B
0,149 mm	0.1871 B
centrifugado	0.2821 A

A,B: letras diferentes na mesma linha, indicam que as médias das condutividades elétricas diferiram significativamente, entre si, com o tamanho das partículas ao nível de 1% pelo teste de Tukey.

A Figura 12 ilustra o tempo de aquecimento do suco de manga com diferentes tamanhos de partículas para tensão aplicada de 165V.

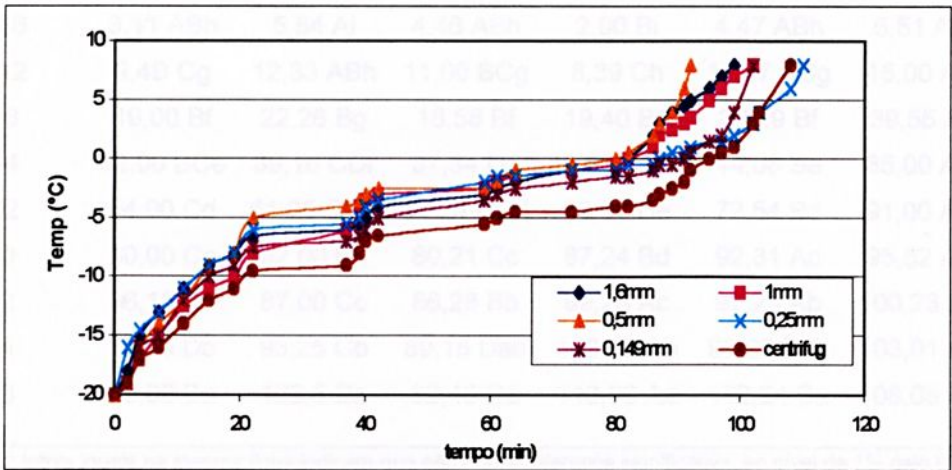


Figura 12 – Variação do tempo de aquecimento do suco de manga, aquecido ôhmicamente, com diferentes tamanhos de partículas e tensão aplicada de 165V.

A média do tempo gasto para o descongelamento do suco de manga, com diferentes tamanhos de partículas, foram submetidas a análise de variância, Tabela IX (anexo). Como houve diferença significativa ao nível de 1% nos fatores temperatura e tempo de aquecimento e na interação de ambos, houve necessidade de desdobramento dos dados, Tabela X (anexo). As médias são mostradas na Tabela 5.12.

Tabela 5.12 – Médias dos tempos de aquecimento (min) do suco de manga, obtidos da interação tamanhos de partículas versus temperatura, a tensão aplicada de 165V. Desvio padrão de 1,4861.

Temp(°C)	Tamanho de partículas					
	1,6mm	1mm	0,5mm	0,25mm	0,149mm	centrifug
-20	0,00 Ah	0,00 Aj	0,00 Ai	0,00 Ai	0,00 Ai	0,00 Ai
-16	3,11 ABh	5,54 Ai	4,46 ABh	2,00 Bi	4,47 ABh	6,51 Ah
-12	9,4B Cg	12,33 ABh	11,00 BCg	8,39 Ch	11,07 BCg	15,00 Ag
-8	19,00 Bf	22,26 Bg	18,58 Bf	19,40 Bg	20,29 Bf	39,55 Af
-4	42,00 BCe	39,16 CDf	37,34 De	40,30 BCDf	44,08 Be	85,00 Ae
-2	64,00 Cd	61,25 CDe	61,24 CDd	59,31 De	72,54 Bd	91,00 Ad
0	80,00 Cc	82,00 Bd	80,21 Cc	87,24 Bd	92,31 Ac	95,52 Ac
2	86,15 Bb	87,00 Cc	86,28 Bb	99,23 Ac	97,23 Ab	100,23 Ab
4	88,50 Db	93,25 Cb	89,15 Dab	103,19 Ab	99,25 Bab	103,01 Ab
8	99,00 Ba	102,5 Ba	92,45 Ca	110,00 Aa	102,24 Ba	108,05 Aa

A,B,C,D: letras iguais na mesma linha indicam que não houve diferença significativa, ao nível de 1% pelo teste de Tukey, no tempo de aquecimento em relação a variação de tamanho de partículas.

a,b,c,d,e,f,g,h,i: letras minúsculas na mesma coluna, indicam que houve diferença significativa entre as médias, ao nível de 1% pelo teste de Tukey.



5.8 – Influência da tensão aplicada (V) na condutividade elétrica e no tempo de aquecimento ôhmico do suco de manga em diferentes tamanhos de partículas.

A Figura 13 ilustra a variação da condutividade elétrica em três tensões diferentes a diferentes temperaturas para suco de manga 1,6mm.

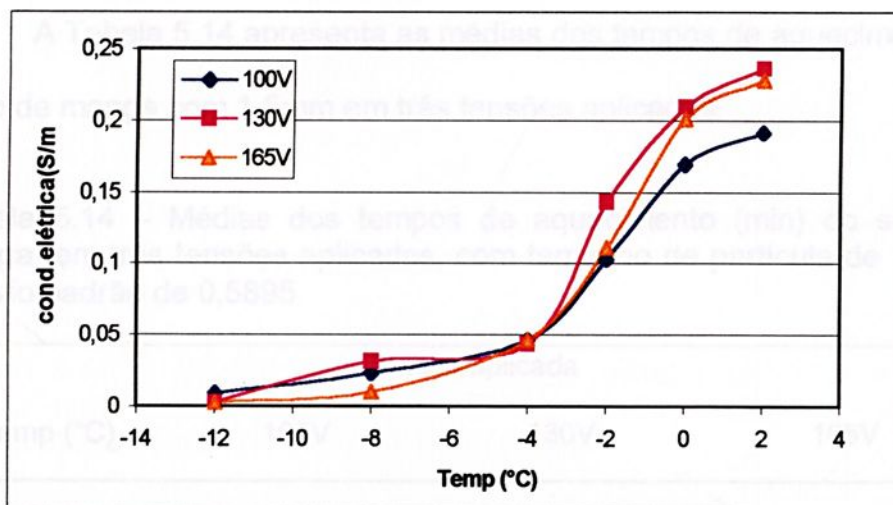


Figura 13 – Variação da condutividade elétrica do suco de manga 1,6mm, em três tensões aplicadas, a diferentes temperaturas.

As médias obtidas através da análise estatística dos dados, mostraram que os fatores tensão aplicada e temperatura agem independentemente na condutividade elétrica do suco de manga a 1,6mm, ao nível de 1% de probabilidade, Tabela XI (anexo).

A análise de variância da tensão aplicada versus temperatura para o tempo de aquecimento encontra-se na Tabela XI (anexo) e o desdobramento das interações na Tabela XII (anexo).

Tabela 5.13 – Médias da condutividade elétrica (S/m) do suco de manga 1,6mm, aquecido ôhmicamente em três tensões diferentes. Desvio padrão de 0,0495.

Tensão aplicada	condutividade elétrica
100V	0.1916 A
130V	0.2363 A
165V	0.2284 A

A:letra igual na mesma coluna, indicam que não houve diferença significativa entre as médias, ao nível de 1%, pelo teste de Tukey.

A Tabela 5.14 apresenta as médias dos tempos de aquecimento do suco de manga com 1,6mm em três tensões aplicadas.

Tabela 5.14 – Médias dos tempos de aquecimento (min) do suco de manga, em três tensões aplicadas, com tamanho de partícula de 1,6mm. Desvio padrão de 0,5895.

Temp (°C)	Tensão aplicada		
	100V	130V	165V
-12	9,24 Aa	10,00 Aa	9,40 Aa
-8	18,27 Ab	19,00 Ab	19,00 Ab
-4	39,10 Cc	46,00 Ac	42,00 Bc
-2	67,18 Bd	81,03 Ad	64,00 Cd
0	97,00 Ae	95,32 Be	82,01 Ce
2	103,00 Af	100,36 Bf	86,15 Cf

A,B,C: letras iguais na mesma linha não diferem significativamente entre si, ao nível de 1% do teste de Tukey, nas tensões aplicadas.
a,b,c,d,e,f: letras diferentes na mesma coluna indicam que as médias diferem significativamente, entre si, ao nível de 1% pelo teste de Tukey.

A análise de variância de tensão aplicada versus temperatura para condutividade elétrica e tempo de aquecimento para o suco de manga centrifugado encontra-se na Tabela XIII (anexo) e o desdobramento das

interações de ambas na Tabela XIV (anexo). A Figura 14 ilustra a condutividade elétrica do suco de manga centrifugado em três tensões diferentes a várias temperaturas.

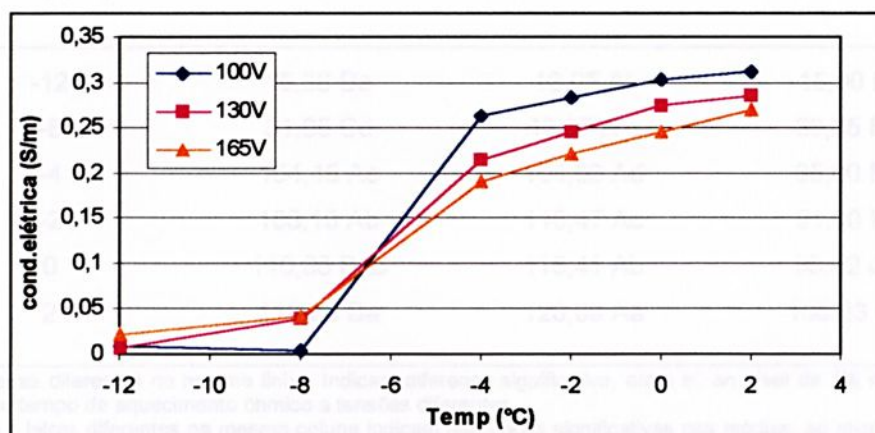


Figura 14 – Variação da condutividade elétrica do suco de manga centrifugado, em três tensões aplicadas.

Tabela 5.15 – Médias das condutividades elétrica (S/m) do suco de manga centrifugado, obtidas através das interações tensão aplicada versus temperatura. Desvio padrão de 0,0094.

Temp(°C)	Tensão aplicada		
	100V	130V	165V
-12	0,0093 Ad	0,0072 Ae	0,0228 Af
-8	0,0042 Bd	0,0402 Ad	0,0421 Ae
-4	0,2642 Ac	0,2139 Bc	0,1900 Cd
-2	0,2833 Ab	0,2458 Bb	0,2217 Cc
0	0,3027 Aab	0,2743 Ba	0,2451 Cb
2	0,3123 Aa	0,2860 Ba	0,2704 Ba

A,B,C: letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa, entre si, ao nível de 1% pelo teste de Tukey, na condutividade elétrica do suco de manga centrifugado em tensões diferentes.

a,b,c,d,e,f: letras diferentes na mesma coluna indicam que as médias diferem significativamente, entre si, ao nível de 1% pelo teste de Tukey.

Tabela 5.16 – Médias dos tempos de aquecimento (min) na faixa de -12 a 2°C, do suco de manga centrifugado nas três tensões aplicadas. Desvio padrão de 1,2739.

Temp(°C)	Tensão aplicada		
	100V	130V	165V
-12	15,36 Be	18,05 Af	15,00 Bf
-8	31,05 Cd	43,37 A e	39,35 Be
-4	104,45 Ac	104,06 Ad	85,00 Bd
-2	108,10 Ab	110,47 Ac	91,00 Bc
0	110,36 Bab	115,41 Ab	95,52 Cb
2	113,28 Ba	120,09 Aa	100,23 Ca

A,B,C: letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa, entre si, ao nível de 1% no teste de Tukey, no tempo de aquecimento ôhmico a tensões diferentes.
a,b,c,d,e,f: letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas nas médias, ao nível de 1% no teste de Tukey.

Observa-se que para tensão aplicada o suco de manga teve um comportamento semelhante ao suco de abacaxi, onde as diferenças entre as tensões aplicadas não foram significativas ou foram pequenas, resultados estes diferentes dos apresentados por Palaniappan e Sastry (1991a e 1991b). Observando que estes trabalhos apresentaram resultados acima de 20°C e gradientes de tensão de até 60V/cm.

5.9 - Influência dos teores de sólidos solúveis, da aplicação de enzima e da temperatura na condutividade elétrica e no tempo de aquecimento do suco de manga.

A Figura 15 ilustra a variação da condutividade elétrica do suco de manga concentrado a 23°Brix, 33°Brix, 42°Brix e enzimado a 1ppm.

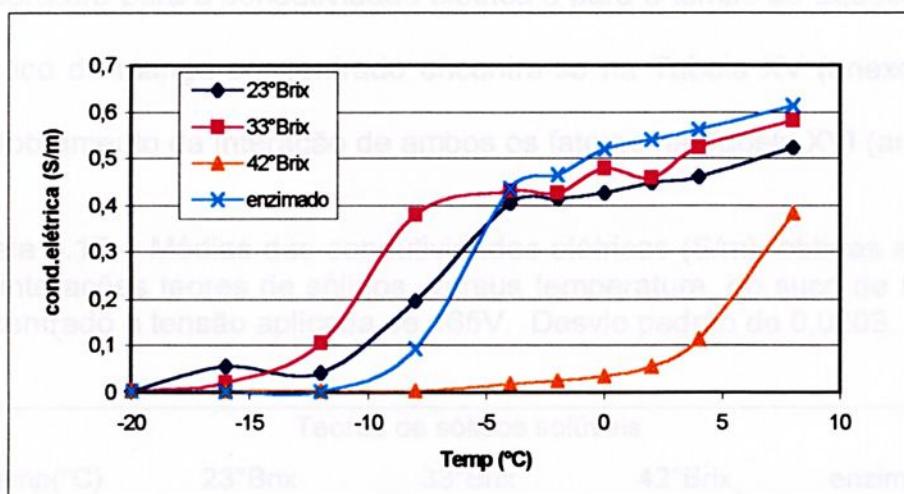


Figura 15 – Variação da condutividade elétrica do suco de manga concentrado, a diferentes temperaturas, com tensão aplicada de 165V.

Observamos que a baixas temperaturas a condutividade elétrica teve o mesmo comportamento que em temperaturas maiores, aumentou com a concentração de sólidos solúveis até 33°Brix e diminuiu na concentração de 42°Brix . A condutividade elétrica do suco enzimado mostrou-se maior que a dos demais sucos concentrados.

Como já citado a condutividade elétrica dos líquidos aumenta com a temperatura, o que é explicado pelo diminuição do arraste iônico. A mobilidade diminui com o aumento de teor de sólidos, o que pode ser

uma das razões na diminuição da condutividade elétrica nas concentrações maiores.

O aumento da condutividade elétrica do suco enzimado está de acordo com Moura et al. (1990), pois a enzima diminui a viscosidade do suco, aumentando a sua mobilidade iônica.

A análise de variância dos fatores teores de sólidos solúveis versus temperatura para a condutividade elétrica e para o tempo de aquecimento do suco de manga concentrado encontra-se na Tabela XV (anexo), e o desdobramento da interação de ambos os fatores na Tabela XVI (anexo).

Tabela 5.17 – Médias das condutividades elétricas (S/m), obtidas através das interações teores de sólidos versus temperatura, do suco de manga concentrado a tensão aplicada de 165V. Desvio padrão de 0,0203.

Temp(°C)	Teores de sólidos solúveis			
	23°Brix	33°Brix	42°Brix	enzimado
-20	0,0025 Ae	0,0025 Ag	0,0025 Ae	0,0025 Af
-16	0,0084 Ae	0,0202 Ag	0,0024 Ae	0,0086 Af
-12	0,0311 Be	0,0842 Af	0,0055 Be	0,0330 Bf
-8	0,1900 Bd	0,3436 Ae	0,0172 De	0,1244 Ce
-4	0,4577 Bc	0,4318 Bd	0,0402 Cde	0,5729 Ad
-2	0,5025 Bbc	0,4346 Cd	0,0568 Dde	0,6011 Acd
0	0,5131 Bb	0,4538 Bcd	0,0804 Ccd	0,6165 Abcd
2	0,5236 Bb	0,5044 Bbc	0,1244 Cc	0,6414 Abc
4	0,5409 Bb	0,5150 Bab	0,1986 Cb	0,6645 Ab
8	0,6126 Ba	0,5659 Ca	0,3265 Da	0,7227 Aa

A,B,C,D: letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa, entre si, ao nível de 1% do teste de Tukey, na condutividade elétrica do suco de manga com teores de sólidos diferentes.

a,b,c,d,e,f,g: letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas das médias, ao nível de 1% do teste de Tukey.

A Figura 16 ilustra o tempo de aquecimento do suco de manga concentrado e enzimado sob tensão aplicada de 165V.

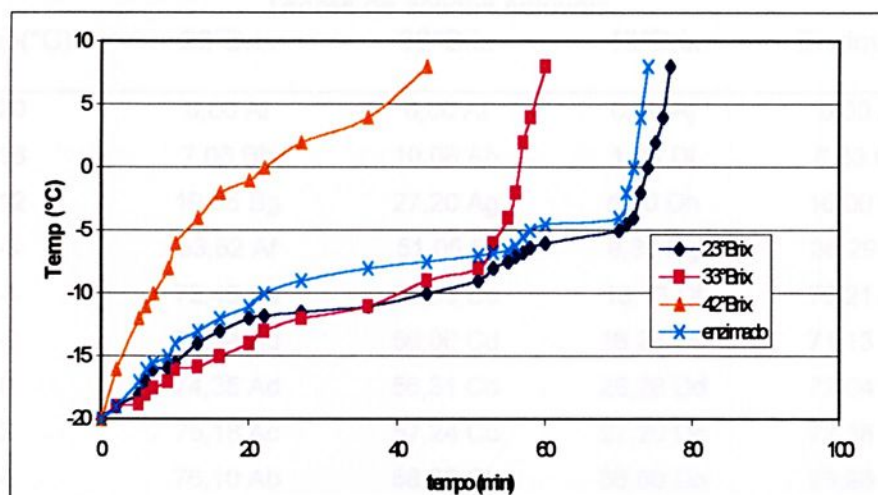


Figura 16 – Variação do tempo de aquecimento do suco de manga concentrado e enzimado, aquecido ôhmicoamente, a tensão de 165V.

Após o descongelamento do produto observa-se um aumento brusco de temperatura, isto pode ser explicado pelo fato de toda energia fornecida estar sendo usada na mudança de estado, calor sensível, não mais na mudança de fase, calor latente. A condutividade elétrica do suco congelado é duas vezes menor do que do suco descongelado.

Tabela 5.18 – Médias dos tempos de aquecimento (min) obtidos através das interações teores de sólidos solúveis versus temperatura, do suco de manga, a tensão aplicada de 165V. Desvio padrão de 0,1422.

Temp(°C)	Teores de sólidos solúveis			Enzimado
	23°Brix	33°Brix	42°Brix	
-20	0,00 Ai	0,00 Ai	0,00 Aj	0,00 Ai
-16	7,06 Bh	10,08 Ah	1,50 Di	6,33 Ch
-12	19,55 Bg	27,20 Ag	5,50 Dh	16,00 Cg
-8	53,52 Af	51,05 Bf	9,30 Dg	36,29 Cf
-4	72,45 Ae	55,03 Ce	13,13 Df	70,21 Be
-2	74,04 Ad	56,00 Cd	16,26 De	71,13 Bd
0	74,35 Ad	56,31 Cd	26,26 Dd	72,04 Bc
2	75,18 Ac	57,24 Cc	27,20 Dc	72,38 Bc
4	76,10 Ab	58,25 Cb	36,00 Db	73,26 Bb
8	77,26 Aa	60,00 Ca	44,13 Da	74,36 Ba

A,B,C,D : letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa, entre si, ao nível de 1% no teste de Tukey, no tempo de aquecimento do suco de manga em teores de sólidos diferentes.
a,b,c,d,e,f,g – letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa das médias, ao nível de 1% pelo teste de Tukey.

Figura 17 – Variação da condutividade elétrica do suco de manga concentrado a 42°Brix em diferentes temperaturas, nas três tensões aplicadas.

A análise de variância para os fatores tensão aplicada versus temperatura para a condutividade elétrica e o tempo de aquecimento encontra-se na Tabela XVI (anexo) e o desdobramento das interações de análise, na Tabela XVII (anexo).

As médias são apresentadas nas Tabelas 5.19 e 5.20.

5.10 – Influência das tensões aplicadas sobre a condutividade elétrica, e sobre o tempo de aquecimento do suco de manga concentrado a 42°Brix.

A Figura 17 ilustra a condutividade elétrica do suco de manga concentrado a 42°Brix nas três tensões aplicadas.

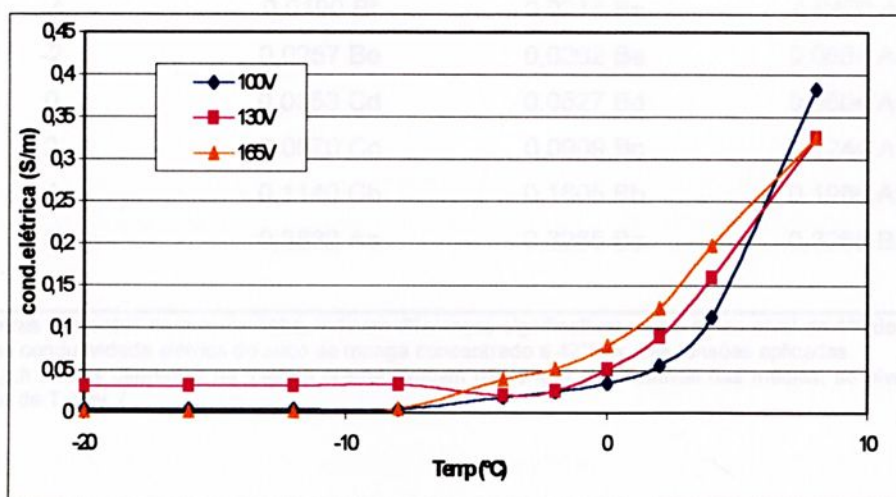


Figura 17 – Variação da condutividade elétrica do suco de manga concentrado a 42°Brix em diferentes temperaturas, nas três tensões aplicadas.

A análise de variância para os fatores tensão aplicada versus temperatura para a condutividade elétrica e o tempo de aquecimento encontra-se na Tabela XVII (anexo) e o desdobramento das interações de ambos, na Tabela XVIII (anexo).

As médias são apresentadas nas Tabela 5.19 e 5.20.

Figura 18 – Variação do tempo de aquecimento do suco de manga concentrado a 42°Brix, em três tensões aplicadas.

Tabela 5.19 – Médias das condutividades elétricas (S/m) obtidas através das interações das tensões aplicadas versus temperatura, durante o aquecimento ôhmico do suco de manga concentrado a 42°Brix. Desvio padrão de 0,0024.

Temp(°C)	Tensão aplicada		
	100V	130V	165V
-20	0,0042 Ag	0,032 Af	0,0024 Ah
-16	0,0043 Ag	0,033 Af	0,0024 Ah
-12	0,0043 Bg	0,033 Af	0,0055 Ah
-8	0,0045 Bg	0,034 Bf	0,0172 Ag
-4	0,0190 Bf	0,0213 Be	0,0402 Af
-2	0,0257 Be	0,0262 Be	0,0531 Ae
0	0,0353 Cd	0,0527 Bd	0,0804 Ad
2	0,0570 Cc	0,0909 Bc	0,1244 Ac
4	0,1140 Cb	0,1605 Bb	0,1986 Ab
8	0,3832 Aa	0,3265 Ba	0,3265 Ba

A,B,C: letras diferentes na mesma linha, indicam diferenças significativas, entre si, ao nível de 1% do teste de Tukey, na condutividade elétrica do suco de manga concentrado a 42°Brix, nas tensões aplicadas.
a,b,c,d,f,g,h : letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas das médias, ao nível de 1% pelo teste de Tukey.

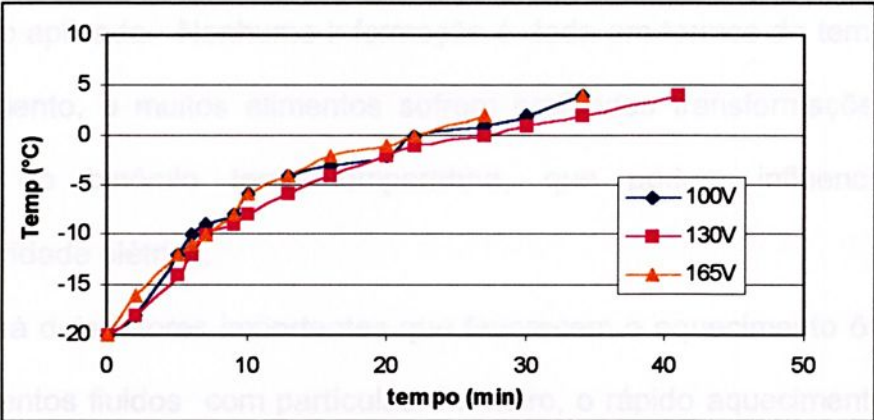


Figura 18 – Variação do tempo de aquecimento do suco de manga concentrado a 42°Brix, em três tensões aplicadas.

Tabela 5.20 – Médias do tempo de aquecimento (min) obtidos através das interações tensão aplicada versus temperatura do suco de manga a 42°Brix. Desvio padrão de 0,1705.

Temp(°C)	Tensão aplicada		
	100V	130V	165V
-20	0,00 Ah	0.00 Ah	0.00 Ah
-12	4,20 Cg	6,10 Ag	5,33 Bg
-8	9,06 Bf	10,20 Af	9,10 Bf
-4	14,26 Be	16,13 Ae	14,20 Be
-2	18,20 Bd	20,07 Ad	16,13 Cd
0	23,07 Bc	25,03 Ac	22,10 Cc
2	30,17 Bb	32,03 Ab	27,13 Cb
4	34,27Ba	41,10 Aa	34,20 Ba

A,B,C: letras diferentes na mesma linha, indicam diferenças significativas, entre si, ao nível de 1% do teste de Tukey, na tempo de aquecimento do suco de manga concentrado a 42°Brix, nas tensões aplicadas.

a,b,c,d,f,g,h : letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas das médias, ao nível de 1% pelo teste de Tukey.

O presente trabalho teve caráter de pesquisa intermediária, visando tornar disponível dados de condutividade elétrica úteis para projetos, que hoje, além de escassos, quase não apresentam a dependência com a temperatura, teores de sólidos, tamanho de partículas e tensão aplicada. Nenhuma informação é dada em termos de tempo de aquecimento, e muitos alimentos sofrem profundas transformações em função do binômio tempo-temperatura, que podem influenciar a condutividade elétrica.

Há dois fatores importantes que favorecem o aquecimento ôhmico de alimentos fluidos com partículas. Primeiro, o rápido aquecimento das partículas. O aquecimento ôhmico não depende da transferência de calor

da superfície para o centro da partícula. A taxa de geração de energia depende do gradiente da tensão aplicada e da condutividade elétrica, que é geralmente uniforme dentro da partícula. O outro fator é a não dependência das condições de escoamento. Contrário do aquecimento convencional, que envolve troca de calor na superfície, no aquecimento ôhmico não há movimento das partículas, favorecendo a aplicação em produtos com alto teor de sólidos (Halden et al. 1990).

O processo de aquecimento ôhmico é complexo, pois a geração de energia está diretamente relacionada à condutividade elétrica e a tensão aplicada e sendo o primeiro parâmetro dependente de fatores como: temperatura, acidez, composição do alimento. A complexidade é ainda maior em produtos congelados, pelo fato dos componentes dos alimentos terem condutividade elétrica diferentes. Assim, o descongelamento pode ocorrer mais rápido em diferentes partes, passando a envolver as propriedades com calor específico e condutividade térmica que são diferentes nas fases líquida e sólida, influenciando o descongelamento. Ainda há alterações estruturais do material, células reterdo conteúdo celular e que, devido a tensão ou ao aquecimento liberarem seu conteúdo para fase líquida.

Os resultados apresentados mostraram a viabilidade de utilizar o aquecimento ôhmico para o descongelamento de sucos. Os parâmetros estudados poderão ser utilizados juntamente com modelos matemáticos de transferência de calor para predição do tempo de descongelamento. É



importante ressaltar que durante todo o experimento a temperatura do suco é uniforme em todo o bloco, não ocorrendo um aquecimento maior na superfície do produto como no aquecimento convencional.

No aquecimento convencional o calor é transferido para a superfície do produto por convecção e o calor é então transferido por condução até o seu centro. Esse é um processo lento. A condutividade térmica do alimento é maior no estado congelado do que no não congelado (Karel e Fennema, 1975). Portanto, a camada descongelada de superfície atua como um isolante térmico, resultando em um longo tempo de descongelamento, possibilitando o crescimento de microorganismos e perda da qualidade. No aquecimento ôhmico, a transferência de calor no produto é favorecida pelo fato da condutividade elétrica do alimento congelado ser quase duas vezes menor que no alimento descongelado. Assim, o tempo de descongelamento é menor, o processo pode ser facilmente controlado e o descongelamento é relativamente uniforme.

Se a tecnologia de descongelamento ôhmico é demonstrada como tecnologicamente e economicamente viável, como mostra várias pesquisas, citadas por Robets et al. (1998), o processo tem grande aplicação na indústria de alimentos.



6 – CONCLUSÕES

A condutividade elétrica mostrou-se dependente da temperatura para os três sucos estudados. Para temperaturas até -2°C a condutividade elétrica foi constante, com valores inferiores a $0,1 \text{ S/m}$. acima desse valor a condutividade elétrica aumenta com o temperatura chegando a $0,5 \text{ S/m}$ a 8°C .

A condutividade elétrica teve comportamento diferente para cada suco em função do teor de sólidos. Para suco de laranja a condutividade aumentou com o teor de sólidos solúveis até a concentração de 37°Brix , em concentrações acima de 37°C diminuiu. No suco de abacaxi a condutividade não variou com o tamanho de partículas, exceto na faixa de -10°C a 0°C onde o suco com partículas de 1mm apresentou maior condutividade. No suco de manga a condutividade foi maior para o suco centrifugado e com partículas de $1,6\text{mm}$.

As diferentes tensões aplicadas tiveram pequeno efeito sobre a condutividade elétrica dos sucos na faixa de temperatura estudada.

O tempo de aquecimento dos três sucos aumentou com a redução dos teores de sólidos e com o tamanho das partículas.

O aumento da tensão aplicada diminuiu o tempo de aquecimento dos sucos de laranja, manga e abacaxi.

A adição de enzima no suco de laranja integral aumentou a condutividade elétrica e diminuiu o tempo de aquecimento.



Os resultados apresentados mostraram a viabilidade de utilizar o aquecimento ôhmico para o descongelamento dos sucos. Os parâmetros estudados poderão ser utilizados juntamente com modelos matemáticos de transferência de calor para predição do tempo de descongelamento.

7- SUGESTÕES

Sugerimos:

- A partir dos dados obtidos estudar o descongelamento dos sucos por aquecimento ôhmico.
- Comparar a qualidade microbiológica dos sucos descongelados com aquecimento ôhmico e convencional.
- Determinar a condutividade elétrica dos suco com condutivímetro comercial para modelar os dados em função dos teores de sólidos solúveis e do tamanho das partículas.
- Trabalhar com tensões maiores, visando diminuir o tempo de retenção do produto no aquecedor, analisando os efeitos sobre a condutividade elétrica e a qualidade final dos sucos.
- Comparar o descongelamento dos sucos com aquecimento ôhmico e convencional em relação as perdas de nutrientes.

8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABECITRUS – **Associação Brasileira dos Exportadores de Cítricos**.

Disponível em <<http://www.abecitrus.com.br>>. Acesso em março de 2003.

A.O.A.C. - **Association of Official Analytical Chemists**. 13 ed.,

Washington, 1978.

ALLEN, K.; EIDMAN, V.; KINSEY, J. An Economic-Engineering Study of Ohmic Food Processing. **Food Technol.**, v. 6, p. 269-273, May. 1996.

ANDERSON, A.K., FINKELSTEIN, R. A study of the electropure process of treating milk. In: **J. Dairy Sci.** v. 2, p. 374-406, 1919, apud MIZRAHI, S., KOPELMAN, I.J., PERLMAN, J. Blanching by electroconductive heating. **J. Food Technol.**, v. 10, p. 281-288, 1975.

ANALION, Condutividade. Disponível em <<http://www.analion.com.br/condutividade.htm>>. Acesso em fevereiro de 2002.

ANON. Theory and application of electrolytic conductivity measurement, **The Foxboro Company**, Foxboro, MA (unpublished), 1982, apud PALANIAPPAN, S. & SASTRY, S.K. Electrical conductivity of selected juices:



influences of temperature, solids content, applied voltage, and particle size. **Journal of Food Process Engineering**. v. 14, p. 247-260, 1991b.

15, p. 21-49, 1992.

CROW, D.R. 1988 – Principles and applications of electrochemistry, 3ed, Chapman and Hall, London.

<<http://www.FAO.gov>>, acesso em março 2003.

DE ALWIS, A.A.P.de & FRYER, P.J. Ohmic processing of solid-liquid mixtures: heat generation and convection affects. **Journal of Food Engineering**. v. 18, p. 101-125, 1993.

FARNWORTH, E.R., MANVILLE, L., MONTPETIT, D., DURAND, N.

DE ALWIS, A.A.P. de, HALDEN, K. & FRYER, P.J. Shape and conductivity effects in the ohmic heating of foods. **Chemical Engineering Research and Design**. v. 67, p. 159-168, 1989.

FELLOWS, P. Food Processing Technology – Principles and practice

DE ALWIS, A.A.P. de & FRYER, P.J. The use of direct resistance heating in the food industry. **Journal of Food Engineering**. v. 11, p. 3-27, 1990a.

FETTERMAN, J.C. Electrical conductivity method of processing milk.

DE ALWIS, A.A.P. de & FRYER, P.J. A finite-element analysis of heat generation and transfer during ohmic heating of food. **Chemical Engineering Science**. v. 45(6), p. 1547-1559, 1990b.

process. **Chemistry & Industry**, p. 633-634, 1989.

DE ALWIS, A.A.P. de & FRYER, P.J. Operability of the ohmic heating process: electrical conductivity effects. **Journal of Food Engineering**. v. 15, p. 21-48, 1992.

DENTAL, V. *Caracões*. 2.ed. Rio de Janeiro: Guanabara doo. p. 453.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations
<<http://www.FAO.gov>>. acesso em março 2003.

HALDEN, K., ALWIS, A.A.P. de & FRYER, P.J. Changes in the electrical

FAOSTAT Database. <<http://www.FAO.gov>>. acesso em março 2003.

Technology. v. 25, p. 9-25, 1990

FARNWORTH, E.R., MAINVILLE, I., MONTPETIT, D., DURAND, N.
Deactivating the bacteria and yeast in Kefir using heat treatment, irradiation
and high pressure. **International Dairy Journal**. v. 11, p. 45-49, 2001.

FELLOWS, P. **Food Processing Technology** – Principles and practice
(2nd ed., p.369-380). Chichester, UK: Ellis Horwood.

FETTERMAN, J.C. Electrical conductivity method of processing milk.
Agricultural Engineering. v. 16, p. 408-410, 1935.

for quality enhancement of food products. *Overview Food Technol.*

FRYER, P.J. & ALWIS, A.A.P. de Validation of APV ohmic heating
process. **Chemistry & Industry**. p. 630-634, 1989.



GETCHEL, B.E. & SPECK, M.L. Electric pasteurization of milk. **Agricultural Engineering**. v. 16, p. 413-415, 1935.

GENTIL, V. **Corrosão**. 2.ed. Rio de Janeiro: Guanabara dois. p. 453, 1982.

HALDEN, K.; ALWIS, A.A.P. de & FRYER, P.J. Changes in the electrical conductivity of during ohmic heating. **International Journal of Food and Technology**. v. 25, p. 9-25, 1990.

IBGE . **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. <<http://www.IBGE.gov.br>>. acesso em março de 2003.

KAREL, M. & FENNEMA, ° Principles of food science. Physicall Principles of foods preservation. Marcel dekker, NY pp208, 1975.

KIN, H.J.,CHOI., Y.M., YANG, T.C.S., TAUB, A. I., TEMPEST, P., SKUDDER, P., TUCKER, G., PARROT, D.L. Validation of ohmic heating for quality enhancement of food products. Overview. **Food Technol.**, p. 253-261, May 1996.

MIZRANI, S., KOPELMAN, J.J. & PERLMAN, J. Blanching by electro-conductive heating **Journal of Food Technology**. v. 10, p. 231-238, 1975.

KIM, H.J., CHOI, Y.M., YANG, A.P.P., YANG, T.C.S., TAUB, I.A., GILES, J., DITUSA, C. CHALL, S. & ZOLTAI, P. Microbiological and chemical investigation of ohmic heating of particulate foods using a 5 kW ohmic system. **Journal of Food Preservation**. v. 20, p. 41-48, 1996.

LARKIN, J.W. & SPINAK, S.H. Safety considerations for ohmically heated aseptically processed, multiphase low-acid food products. **Food Technology**. v.(5), p. 243-245, 1996.

LI, B., SUN, D.W., Novel methods for rapid freezing and thawing of foods – a review. **Journal of Food Engineering**. V(54), p. 175-182, october 2001.

LIMA, M., HESKITT, B.F., SASTRY, S. K. Diffusion of beet dye during electrical and conventional heating at steady-state temperature. **Journal of Food Process Engineering**, v.24, p.331-340, 2001

MITCHELL, F.R.G. & ALWIS, A.A.P. de. Electrical conductivity meter for food samples. **Journal of Physical, E**. v. 22, p. 554-556, 1989.

MIZRAHI, S.; KOPELMAN, I.J. & PERLMAN, J. Blanching by eletro-conductive heating. **Journal of Food Technology**. v. 10, p. 281-288, 1975.



MOURA, S.C.S.R., e al. A study of water activity and electrical conductivity in fruit juices: Influence of temperature and concentration – **Bras. J. Food Technol.** v. 21 (1,2), p. 31-38, 1999.

PELACANI, V.P. Aquecimento ôhmico de sucos de laranja e manga.

NORMAS ANALÍTICAS DO INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos Químicos e Físicos para Análise de Alimentos. 3.ed, São Paulo. 1985.

PRESCOTT, M. The treatment of milk by an electrical method. *American*

OLIVEIRA, R. Exportação de suco deve bater recorde. **Folha de São Paulo**, Agrofolha, 15 jun. 1999, p.1)

REZNICK, D. Ohmic heating for thermal processing of food. *Government*

PALANIAPPAN, S. & SASTRY, S.K. Electrical conductivity of selected solid foods during ohmic heating. **Journal of Food Process Engineering.** v. 14, p. 221-236, 1991a.

PALANIAPPAN, S. & SASTRY, S.K. Electrical conductivity of selected juices: influences of temperature, solids content, applied voltage and particle size. **Journal of Food Process Engineering**, v. 14, p. 247-260, 1991b.

TS, J.S. BALABAN, M.O. ZEMERMAN, R. OLIVERA

Design and testing of a prototype ohmic heating unit. *Comp. Electron*
PALANIAPPAN, S.; SASTRY, S.K. & RICHTER, E.R. Effects of electricity on microorganisms: a review. **Journal of Food Processing and Preservation.** v.14, p. 393-414, 1990.

PARROT, D.L. Use of ohmic heating for aseptic processing of food particulates. **Food Technology**. v.(46), p. 68, 1992.

PELACANI, V.P. Aquecimento ôhmico de sucos de laranja e manga. Tese de Mestrado – UNESP. 2002.

PRESCOTT, M. The treatment of milk by an electrical method. **American Journal Public Health**. v.17, p. 221-223, 1927.

REZNICK, D. Ohmic heating for thermal processing of food: Government, Industry and Academic Perspectives – **Overview Outstanding symposia in Food Science & Technology**. **Food Technol.**, v. 50(5), p. 250-252, 1996.

REZNICK, D. Ohmic heating of fluid foods. **Food Technology**. v.(5), p. 250-251, 1996.

ROBERTS, J.S., BALABAN, M.O., ZIMMERMAN, R., LUZURIAGA, . Design and testing of a prototype ohmic thawing unit. **Comp. Eletron. Agric.**, v.19, p. 211-222, 1998.

SWENTEK, R.J. . Aseptically processes particulates without mechanical agitation. **Food Processing**. January, 1993.



SASTRY, S.K. A model for heating of liquid-particle mixtures in a continuous flow ohmic heater. **Journal of Food Process Engineering**. v. 15, p. 263-278, 1992.

UEMURA, K., ISOBE, S., Developing a new apparatus for inactivating

SASTRY, S.K. & PALANIAPPAN, S. Influence of particle orientation on the effective electrical resistance and ohmic heating rate of a liquid-particle mixture. **Journal of Food Process Engineering**. v. 15, p. 213-227, 1992a

VEIRA, J.A.G., FERRETTE, S.P. & BRITO, L.P. Definição de Cond

SASTRY, S.K. & PALANIAPPAN, S. Mathematical modeling and experimental studies on ohmic heating of liquid-particle mixtures in a static heater. **Journal of Food Process Engineering**. v. 15, p. 241-261, 1992b.

YANG, M.M., HASHIMOTO, H. The effect of salts on orange juice. **FAO**

SASTRY, S.K. & LI, Q. Modeling the ohmic heating of foods. **Food Technology**. v.(5), p. 247-248, 1996.

SKUDDER, P. & BISS, C. Aseptic processing of food products using ohmic heating. **The Chemical Engineer**. 2: 1995.

STIRLING, R. Ohmic heating - A new process for the food industry. **Power Engineering Journal**. November, 1987.

Ohmic processing **Food Technology**. v (5) p 263-266, 1996

SWIENTEK, R.J. Aseptically processes particulates without mechanical agitation. **Food Processing**. January, 1988.



TAUSCHER, B., BUTZ, P., Emerging technologies: chemical aspects. **Food Research International** 35, p. 279-284, april, 2002.

UEMURA , K., ISOBE, S., Developing a new apparatus for inactivating *Escherichia coli* in saline water with high electric field AC. **Journal of Food Engineering**. V(53), p. 203-207, september, 2001.

VIEIRA, J.A.G., FERRETTE, S.P. & BRITO, L.P. Determinação da condutividade elétrica e aquecimento ôhmico de alimentos. **Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Rio de Janeiro. 1998.

YANG, M.M., HASHIMOTO, H. The effect of nafta on orange juice. **FAO Committee on Commodity Problems. Intergovernmental Group on Citrus Fruit**, Aubufeira, Portugal, p. 22, 1993.

ZAROR, C.A.; PYLE, D.L. & MOLNAR, G. Mathematical modelling of an ohmic heating steriliser. **Journal of Food Engineering**.v.19, p. 33-53, 1993.

ZOLTAI,P. & SWEARINGEN, P. Product development considerations for ohmic processing. **Food Technology**. v.(5), p. 263-266, 1996.



WADAD, G.K., SASTRY, S.K. Effect of fluid viscosity on the ohmic heating rate of solid-liquid mixtures – **J. Food Eng.**, v. 27, p. 145-158, 1996.

WANG, W.C., SASTRY, S.K., Starch Gelatinization in Ohmic Heating. **Journal of Food Engineering**. V(34), p.225-242, september, 1997.

Causas de variação	G.L.	Q.M.1	Q.M.2
Teor de sól. solúveis (A)	4	0.1699**	1990.2325**
Temperatura (B)	9	0.2268**	3214.9913**
A x B	36	0.0199**	137.0631**
Tratamentos	48	0.0717	739.3700
Resíduo	100	0.0000	5.8377
Desvio Padrão		0.0068	2.4161
Coefficiente de Variação		4.9759	10.9454

** - teste significativo ao nível de 1% de probabilidade ($P < 0,01$)

G.L. - graus de liberdade

Q.M.1 - quadrado médio da condutividade elétrica

Q.M.2 - quadrado médio do tempo de aquecimento

ANEXOS

Tabela I – Resultados da análise de variância para as variáveis: temperatura versus teores de sólidos solúveis, para a condutividade elétrica e tempo de aquecimento do suco de laranja, com diversos teores de sólidos solúveis a tensão aplicada de 165V.

Causas da variação	G.L.	Q.M.1	Q.M.2
Teor de sol. solúveis (A)	4	0.1899**	1990.2325**
Temperatura (B)	9	0.2266**	3214.9916**
A X B	36	0.0199**	137.0631**
Tratamentos	49	0.0717	788.3700
Resíduo	100	0.0000	5.8377
Desvio Padrão		0.0068	2.4161
Coeficiente de Variação		4.9789	10.9454

** - teste significativo ao nível de 1% de probabilidade (P<0,01)

G.L. – graus de liberdade

Q.M.1 - quadrado médio da condutividade elétrica

Q.M.2 – quadrado médio do tempo de aquecimento

Tabela II – Desdobramento da interação de teores de sólidos solúveis versus temperatura, para a condutividade elétrica e tempo de aquecimento do suco de laranja, a tensão aplicada de 165V.

Causas da variação	G.L.	Q.M.1	Q.M.2
Temp. dentro de 12°Brix	9	0.5060**	407.4442**
Temp. dentro de 24°Brix	9	0.1378**	204.5719**
Temp. dentro de 37°Brix	9	0.0908**	501.5798**
Temp. dentro de 50°Brix	9	0.0260**	450.5592**
Temp. dentro de 63°Brix	9	0.0006**	199.0891**
Temp. dentro dos teores de sólidos solúveis	45		
Teor de sól. dentro de -20°C	4	0.0000NS	0.0000NS
Teor de sól. dentro de -16°C	4	0.0000NS	2.4281NS
Teor de sól. dentro de -12°C	4	0.0001**	11.1748NS
Teor de sól. dentro de -8°C	4	0.0035**	68.9258**
Teor de sól. dentro de -4°C	4	0.0227**	124.7194**
Teor de sól. dentro de -2°C	4	0.0338**	333.3613**
Teor de sól. dentro de 0°C	4	0.0501**	465.2850**
Teor de sól. dentro de 2°C	4	0.0695**	463.2850**
Teor de sól. dentro de 4°C	4	0.0834**	519.3209**
Teor de sól. dentro de 8°C	4	0.1055**	435.3737**
Teor de sól. dentro da temp.	40		

NS – teste não significativo

** - teste não significativo ao nível de 1% de probabilidade ($P < 0,01$)

G.L. – graus de liberdade

Q.M.1 – quadrados médios da condutividade elétrica

Q.M.2 – quadrados médios do tempo de aquecimento



Tabela III – Resultados da análise de variância para as variáveis, temperatura e tensão aplicada para a condutividade elétrica e tempo de aquecimento do suco de laranja a 12°Brix aquecido ôhmicamente .

Causas da variação	G.L.	Q.M.1	Q.M.2
Tensão aplicada (A)	2	0,0159**	109,1057**
Temperatura (B)	6	0,0700**	3619,5812**
A X B	12	0,0043**	110,7938**
Tratamentos	20	0,0252	1163,2612
Resíduo	42	0,0000	0,3671
Desvio padrão		0,0030	0,6059
Coeficiente de variação		3,5863	2,9253

** - teste significativo ao nível de 1% de probabilidade ($P < 0,01$)

G.L. – graus de liberdade

Q.M.1 – quadrado médio da condutividade elétrica

Q.M.2 – quadrado médio do tempo de aquecimento



Tabela IV – Desdobramentos da interação de tensão aplicada versus temperatura, para condutividade elétrica e tempo de aquecimento do suco de laranja a 12°Brix.

Causas da variação	G.L.	Q.M.1	Q.M.2
Temp. dentro de 100V	6	0.0294**	1319.8226**
Temp. dentro de 130V	6	0.0218**	1445.8815**
Temp. dentro de 165V	6	0.0273**	1075.4647**
Temp. dentro das Tensões aplicadas	18		
Tensão dentro de -20°C	2	0.0000NS	0.0000NS
Tensão dentro de -12°C	2	0.0001**	1.9732**
Tensão dentro de - 8°C	2	0.0017**	6.5912**
Tensão dentro de - 4°C	2	0.0025**	52.9313**
Tensão dentro de - 2°C	2	0.0174**	84.4023**
Tensão dentro de 0°C	2	0.0193**	394.4239**
Tensão dentro de 2°C	2	0.0006**	233.5464**
Tensão dentro das Temperaturas	14		

NS – teste não significativo

** - teste significativo ao nível de 1% de probabilidade ($P < 0,01$)

G.L. – graus de liberdade

Q.M.1 – quadrado médio da condutividade elétrica

Q.M.2 – quadrado médio do tempo de aquecimento



Tabela V – Resultados da análise de variância para as variáveis: tamanho de partícula versus temperatura para a condutividade elétrica e tempo de aquecimento do suco de abacaxi, com diversos tamanhos de partículas a tensão aplicada de 165V.

Causas da variação	G.L.	Q.M. (condutividade elétrica)
Tam. de partículas (A)	2	0.0060**
Temperatura (B)	9	0.1684**
A X B	18	0.0014**
Tratamentos	29	0.0536
Resíduo	60	0.0001
Desvio padrão		0.0118
Coeficiente de variação		9.4186

Causas da variação	G.L.	Q.M. (tempo de aquecimento)
Tam. de partículas (A)	2	63.9172**
Temperatura (B)	8	12072.5755**
A X B	16	56.2922**
Desvio padrão		3.8134
Coeficiente de variação		9.0354

** - teste significativo ao nível de 1% de probabilidade ($P < 0,01$)

G.L. – graus de liberdade



Tabela VI – Desdobramento da interação de tamanho de partículas versus temperatura para a condutividade elétrica e tempo de aquecimento do suco de abacaxi, a tensão aplicada de 165V.

Causas da variação	G.L.1	G.L.2	Q.M.1	Q.M.2
Temp. dentro de integral	9	8	0.0559**	4356.4807**
Temp. dentro de 1,0mm	9	8	0.0562**	3734.1096**
Temp. dentro de centrif.	9	8	0.0592**	4094.5695**
Temp. dentro de				
Tamanhos de part.	27	24		
Tam. part. em -20°C	2	2	0.0000NS	0.0000NS
Tam. part. em -16°C	2	2	0.0000NS	0.5761NS
Tam. part. em -12°C	2	2	0.0000NS	4.2476NS
Tam. part. em -8°C	2	2	0.0001NS	3.9160NS
Tam. part. em -4°C	2	2	0.0040**	31.5582NS
Tam. part. em -2°C	2	2	0.0107**	271.5293**
Tam. part. em 0°C	2	2	0.0036**	6.7156NS
Tam. part. em 2°C	2	2	0.0001NS	76.5180**
Tam. part. em 4°C	2	2	0.0000NS	119.1937**
Tam. part. em 8°C	2	-	0.0003NS	-
Tam. de partícula				
Dentro da temperatura	20	18		

NS – teste não significativo

** - teste significativo ao nível de 1% de probabilidade ($P < 0,01$)

G.L.1 – graus de liberdade para a condutividade elétrica

G.L.2 – graus de liberdade para o tempo de aquecimento

Q.M.1 – quadrado médio da condutividade elétrica

Q.M.2 – quadrado médio do tempo de aquecimento



Tabela VII – Resultado da análise de variância para as variáveis tensão aplicada versus temperatura, para a condutividade elétrica e tempo de aquecimento do suco de abacaxi integral.

Causas da variação	G.L.1	G.L.2	Q.M.1	Q.M.2
Tensão aplicada (A)	2	2	0.0005NS	65.2727**
Temperatura (B)	5	6	0.0992**	12655.6478**
A X B	10	12	0.0021**	27.2362**
Tratamentos	17	20	0.0305	3819.5633
Resíduos	36	42	0.0003	5.9828
Desvio padrão			0.0161	2.4460
Coeficiente de variação			11.9324	4.3905

NS – teste não significativo

** - teste significativo ao nível de 1% de probabilidade ($P < 0,01$)

G.L.1 – graus de liberdade para condutividade elétrica

G.L.2 – graus de liberdade para o tempo de aquecimento

Q.M.1 – quadrado médio da condutividade elétrica

Q.M.2 – quadrado médio do tempo de aquecimento



Tabela VIII – Desdobramento da interação da tensão aplicada versus temperatura, para a condutividade elétrica e tempo de aquecimento do suco de abacaxi integral.

Causas da variação	G.L.1	G.L.2	Q.M.1	Q.M.2
Temp. dentro de integral	5	6	0.0504**	4585.9079**
Temp. dentro de 1 mm	5	6	0.0295**	3984.0560**
Temp. dentro de centrif.	5	6	0.0235**	4140.1563**
Temp. dentro de				
Tamanho de partícula	15	18		
Tam. part. em -20°C	-	2	-	0.0000NS
Tam. part. em -8°C	2	2	0.0000NS	0.2198NS
Tam. part. em -4°C	2	2	0.0018NS	5.7671**
Tam. part. em -2°C	2	2	0.0024**	142.6275**
Tam. part. em 0°C	2	2	0.0003NS	8.9856**
Tam. part. em 2°C	2	2	0.0033**	21.4419**
Tam. part. em 4°C	2	2	0.0032**	49.6479**
Tamanho de part.				
Dentro das temp.	12	14		

NS – teste não significativo

** - teste significativo ao nível de 1% de probabilidade ($P < 0,01$)

G.L.1 – graus de liberdade para condutividade elétrica

G.L.2 – graus de liberdade para o tempo de aquecimento

Q.M.1 – quadrado médio da condutividade elétrica

Q.M.2 – quadrado médio do tempo de aquecimento



Tabela IX – Resultados da análise de variância para as variáveis, tamanho de partículas versus temperatura para a condutividade elétrica e tempo de aquecimento do suco de manga a tensão aplicada de 165V.

Causas da variação	G.L.	Q.M.1	Q.M.2
Tam. Partículas(A)	5	0.0256**	1044.7759**
Temperatura	9	0.1305**	30077.0806**
A X B	45	0.0027NS	128.6806**
Tratamentos	59	0.0242	4774.7158
Resíduo	120	0.0035	2.2085
Desvio padrão		0.0593	1.4861
Coeficiente de variação		72.7087	2.2085

NS – teste não significativo

** - teste significativo ao nível de 1% de probabilidade ($P < 0,01$)

G.L. – graus de liberdade

Q.M.1 – quadrado médio da condutividade elétrica

Q.M.2 – quadrado médio do tempo de aquecimento



Tabela X – Desdobramento da interação tamanho de partícula versus temperatura, para o tempo de aquecimento do suco de manga sob tensão aplicada de 165V.

Causas da variação	G.L.	Q.M.
Temp. dentro de 1,60 mm	9	4592.6206**
Temp. dentro de 1,00 mm	9	4654.1413**
Temp. dentro de 0,50 mm	9	4294.9185**
Temp. dentro de 0,25 mm	9	5914.8241**
Temp. dentro de 0,149 mm	9	5491.2478**
Temp. dentro de centrifugado	9	5772.7315**
Temp. dentro de tamanho de		
Partícula	54	
Tam. de part. dentro de -20°C	5	0.0000NS
Tam. de part. dentro de -16°C	5	7.9197**
Tam. de part. dentro de -12°C	5	16.2667**
Tam. de part. dentro de -8°C	5	194.6175**
Tam. de part. dentro de -4°C	5	1004.6935**
Tam. de part. dentro de -2°C	5	446.0228**
Tam. de part. dentro de 0°C	5	102.7133**
Tam. de part. dentro de 2°C	5	178.5861**
Tam. de part. dentro de 4°C	5	131.8562**
Tam. de part. dentro de 8°C	5	120.2258**
Tam. de part. dentro das		
Temperaturas	50	

NS – teste não significativo

** - teste significativo ao nível de 1% de probabilidade ($P < 0,01$)

G.L. – graus de liberdade

Q.M. – quadrado médio do tempo de aquecimento



Tabela XI – Resultados da análise de variância para as variáveis: tensão aplicada versus temperatura para a condutividade elétrica e o tempo de aquecimento do suco de manga com partículas de 1,6mm.

Causas da variação	G.L.	Q.M.1	Q.M.2
Tensão aplicada (A)	2	0.0019NS	309.4959**
Temperatura (B)	5	0.0733**	12307.7183**
A X B	10	0.0006NS	84.5067**
Tratamentos	17	0.0221	3706.0382
Resíduo	36	0.0024	0.3475
Desvio padrão		0.0495	0.5895
Coeficiente de variação		48.8310	1.0739

NS – teste não significativo

** - teste significativo ao nível de 1% de probabilidade (P<0,01)

G.L. – graus de liberdade

Q.M.1 – quadrado médio da condutividade elétrica

Q.M.2 – quadrado médio do tempo de aquecimento

NS – teste não significativo

** - teste significativo ao nível de 1% de probabilidade (P<0,01)

G.L. – graus de liberdade

Q.M. – quadrado médio do tempo de aquecimento

Tabela XII – Desdobramento da interação de tensão aplicada versus temperatura, para o tempo de aquecimento do suco de manga 1,6mm.

Causas da variação	G.L.	Q.M.
Temp. dentro de 100V	5	4746.0528**
Temp. dentro de 130V	5	4610.9669**
Temp. dentro de 165V	5	3119.7119**
Temp. dentro das tensões		
Aplicadas	15	
Tensão em -12°C	2	0.4816NS
Tensão em -8°C	2	0.5378NS
Tensão em -4°C	2	36.0100**
Tensão em -2°C	2	246.0808**
Tensão em 0°C	2	202.4336**
Tensão em 2°C	2	246.4853**
Tensão dentro das		
Temperaturas	12	

NS – teste não significativo

** - teste significativo ao nível de 1% de probabilidade ($P < 0,01$)

G.L. – graus de liberdade

Q.M. – quadrado médio do tempo de aquecimento.



Tabela XIII – Resultados da análise de variância para as variáveis: tensão aplicada versus temperatura, para a condutividade elétrica e o tempo de aquecimento do suco de manga centrifugado.

Causas da variação	G.L.	Q.M.1	Q.M.2
Tensão aplicada (A)	2	0.0041**	944.5558**
Temperatura (B)	5	0.1431**	5098.6889**
A X B	10	0.0013**	104.1191**
Tratamentos	17	0.0433	4613.1616
Resíduo	36	0.0001	1.6228
Desvio padrão		0.0094	1.2739
Coeficiente de variação		5.2831	1.6155

** - teste significativo ao nível de 1% de probabilidade ($P < 0,01$)

G.L. – graus de liberdade

Q.M.1 – quadrado médio da condutividade elétrica

Q.M.2 – quadrado médio do tempo de aquecimento

Tabela XIV - Desdobramento da interação de tensão aplicada versus temperatura, para a condutividade elétrica e o tempo de aquecimento do suco de manga centrifugado.

Causas da variação	G.L.	Q.M.1	Q.M.2
Temp. dentro de 100V	5	0.0638**	5993.6563**
Temp. dentro de 130V	5	0.0448**	5613.3929**
Temp. dentro de 165V	5	0.0370**	3699.8779**
Temp. dentro das Tensões aplicadas	15		
Tensão em -12°C	2	0.0000NS	8.3186**
Tensão em -8°C	2	0.0014**	118.4021**
Tensão em -4°C	2	0.0022**	370.9936**
Tensão em -2°C	2	0.0029**	338.6995**
Tensão em 0°C	2	0.0025**	320.6196**
Tensão em 2°C	2	0.0013**	308.1175**
Tensão dentro das Temperaturas	12		

NS – teste não significativo

** - teste significativo ao nível de 1% de probabilidade ($P < 0,01$)

G.L. – graus de liberdade

Q.M.1 – quadrado médio da condutividade elétrica

Q.M.2 – quadrado médio do tempo de aquecimento



Tabela XV – Resultados da análise de variância para as variáveis: teor de sólidos solúveis versus temperatura para a condutividade elétrica e o tempo de aquecimento do suco de laranja concentrado a tensão aplicada de 165V.

Causas da variação	G.L.	Q.M.1	Q.M.2
Teor de sól. solúveis (A)	3	0.5823**	7662.1790**
Temperatura (B)	9	0.5416**	6975.6391**
A X B	27	0.0364**	350.4790**
Tratamentos	39	0.1950	2441.8006
Resíduo	80	0.0004	0.0202
Desvio padrão		0.0203	0.1422
Coeficiente de variação		7.0215	0.3494

** - teste significativo ao nível de 1% de probabilidade (P<0,01)

G.L. – graus de liberdade

Q.M.1 – quadrado médio da condutividade elétrica

Q.M.2 – quadrado médio do tempo de aquecimento

Tabela XVI – Desdobramentos da interação de teores de sólidos solúveis versus temperatura, para condutividade elétrica e tempo de aquecimento do suco de manga concentrado a tensão aplicada de 165V.

Causas da variação	G.L.	Q.M.1	Q.M.2
Temp. em 23°Brix	9	0.1868**	2978.7244**
Temp. em 33°Brix	9	0.1401**	1487.5870**
Temp. em 43°Brix	9	0.0335**	653.4347**
Temp. em enzimado	9	0.2904**	2907.3300**
Temp. dentro de teores de sólidos solúveis	36		
Teor de sól. em -20°C	3	0.0000NS	0.0000NS
Teor de sól. em -16°C	3	0.0002NS	37.8420**
Teor de sól. em -12°C	3	0.0033**	243.7935**
Teor de sól. em -8°C	3	0.0560**	1237.4054**
Teor de sól. em -4°C	3	0.1613**	2270.5123**
Teor de sól. em -2°C	3	0.1725**	2122.7012**
Teor de sól. em 0°C	3	0.1637**	1748.0336**
Teor de sól. em 2°C	3	0.1510**	1451.3734**
Teor de sól. em 4°C	3	0.1182**	1010.8244**
Teor de sól. em 8°C	3	0.0838**	694.0041**
Teor de sólidos solúveis Dentro da temperatura	30		

NS – teste não significativo

** - teste significativo ao nível de 1% de probabilidade ($P < 0,01$)

G.L. – graus de liberdade

Q.M.1 – quadrado médio da condutividade elétrica

Q.M.2 – quadrado médio do tempo de aquecimento



Tabela XVII – Resultado da análise de variância para as variáveis: tensão aplicada versus temperatura para a condutividade elétrica e o tempo de aquecimento do suco de manga concentrado a 42°Brix.

Causas da variação	G.L.1	G.L.2	Q.M.1	Q.M.2
Tensão aplicada (A)	2	2	0.0036**	52.1254**
Temperatura (B)	9	7	0.1078**	1383.2324**
A X B	18	14	0.0011**	5.6137**
Tratamentos	29	23	0.0344	428.9334
Resíduo	60	48	0.0000	0.0291
Desvio padrão			0.0024	0.1705
Coeficiente de variação			3.2764	0.9928

** - teste significativo ao nível de 1% de probabilidade ($P < 0,01$)

G.L.1 – graus de liberdade para a condutividade elétrica

G.L.2 – graus de liberdade para o tempo de aquecimento

Q.M.1 – quadrado médio da condutividade elétrica

Q.M.2 – quadrado médio do tempo de aquecimento



Tabela XVIII – Desdobramento da interação de tensão aplicada versus temperatura para a condutividade elétrica e o tempo de aquecimento do suco de manga a 42°Brix.

Causas da variação	G.L.1	G.L.2	Q.M.1	Q.M.2
Temp. em 100V	9	7	0.0410**	442.3009**
Temp. em 130V	9	7	0.0340**	560.8552**
Temp. em 165V	9	7	0.0351**	391.3036**
Temp. dentro das Tensões aplicadas	27	21		
Tensão em -20°C	2	2	0.0000NS	0.0000NS
Tensão em -16°C	2	-	0.0000NS	-
Tensão em -12°C	2	2	0.0000NS	2.7411**
Tensão em -8°C	2	2	0.0002**	1.2478**
Tensão em -4°C	2	2	0.0004**	3.6133**
Tensão em -2°C	2	2	0.0007**	11.6133**
Tensão em 0°C	2	2	0.0016**	6.7033**
Tensão em 2°C	2	2	0.0034**	18.3478**
Tensão em 4°C	2	2	0.0054**	47.1544**
Tensão em 8°C	2	-	0.0022**	-
Tensão aplicada Dentro da temperatura	20	16		

NS – teste não significativo

** - teste significativo ao nível de 1% de probabilidade ($P < 0,01$)

G.L.1 – graus de liberdade para condutividade elétrica

G.L.2 – graus de liberdade para o tempo de aquecimento

Q.M.1 – quadrado médio da condutividade elétrica

Q.M.2 – quadrado médio do tempo de aquecimento



