

Vanda Perpétuo Pelacani

Aquecimento Ôhmico
de Sucos de Laranja e Manga



1910001052



VANDA PERPÉTUO PELACANI

**AQUECIMENTO ÔHMICO
DE SUCOS DE LARANJA E MANGA**



VANDA PERPÉTUO PELACANI

AQUECIMENTO ÔHMICO DE SUCOS DE LARANJA E MANGA

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 Ciência de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. José Antônio Gomes Vieira



**São José do Rio Preto
2002**



#66.046
P381a

50702033

WANDA PERPÉTUO PELACANI

ADUCCIMENTO ÔHMICO
DE SUCOS DE LARANJA E MANGA

Pelacani, Vanda Perpétuo.

Aquecimento ôhmico de sucos de laranja e manga / Vanda Perpétuo
Pelacani – São José do Rio Preto: [s.n], 2002.
110 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: José Antônio Gomes Vieira.

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

1. Aquecimento ôhmico. 2. Suco de laranja. 3. Suco de manga. 4.
Condutividade elétrica. 5. Descongelamento. I. Vieira, José Antônio
Gomes. II. Universidade Estadual Paulista. Instituto de Biociências,
Letras e Ciências Exatas. III. Título.

CDU – 66.046

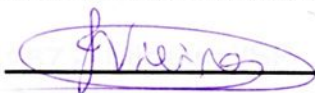
VANDA PERPÉTUO PELACANI

**AQUECIMENTO ÔHMICO DE SUCOS DE
LARANJA E MANGA**

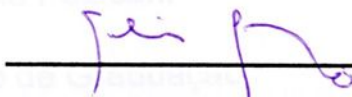
BANCA EXAMINADORA

DISSERTAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRADO

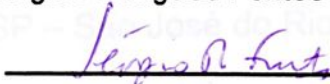
Presidente e Orientador: Prof. Dr. José Antônio Gomes Vieira



2º Examinador: Prof. Dr. Javier Telis Romero



3º Examinador: Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes



São José do Rio Preto, 06 de fevereiro de 2002



DADOS CURRICULARES

VANDA PERPÉTUO PELACANI

NASCIMENTO 28.7.1967 – Mirassol/SP

FILIAÇÃO Maria Aparecida Ratero
Laércio Pelacani

1988/1992 Curso de Graduação
Engenharia de Alimentos
UNESP – São José do Rio Preto – SP

1999/2001 Curso de Pós-Graduação em Engenharia e
Ciência de Alimentos, nível de Mestrado,
UNESP – São José do Rio Preto - SP



Ao Prof. Dr. José Antonio Gomes Vieira

Pela orientação, dedicação e atenção durante todo o

Ao meu marido Sérgio

Aos meus filhos Tamires e Leonardo

A toda minha família

**Que sempre me incentivaram, apoiando em todos os
momentos, e que souberam compreender todas as
minhas horas de ausência.**

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado a vida e a oportunidade de realizar este trabalho. Também agradeço aos meus pais, especialmente ao meu pai, por todo o apoio e incentivo durante a minha vida acadêmica e profissional.

Agradeço também aos meus professores, especialmente ao Prof. Dr. José Antônio Gomes Vieira, por sua orientação, dedicação e atenção durante todo o trabalho.

Agradeço também aos meus colegas de curso, especialmente aos membros do grupo de trabalho, por todo o apoio e incentivo durante a minha vida acadêmica e profissional.

Agradeço também aos meus amigos, especialmente ao Prof. Dr. José Antônio Gomes Vieira, por todo o apoio e incentivo durante a minha vida acadêmica e profissional.

Ao Prof. Dr. José Antônio Gomes Vieira

Pela orientação, dedicação e atenção durante todo o trabalho

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível graças à colaboração direta ou indireta de muitas pessoas. Manifestamos nossa gratidão a todas elas de forma particular.

a todos os colegas do Departamento de Engenharia e Ciência de Alimentos, pela amizade e ajuda concedida.

a coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, pelo empenho e dedicação.

aos Professores: Dr. José Francisco Lopes Filho, Dr. Javier Telis Romero e Dra. Maria Aparecida Mauro, por comporem a banca examinadora da minha qualificação.

a CAPES pelo fornecimento de bolsa de estudos.

aos técnicos do DETA, em especial ao técnico João Jesuíno, que tanto nos ajudou durante o trabalho.

a Indústria Bascitrus, por intermédio da Engenheira Daniela Karfan, por ceder suco concentrado de laranja e enzima para a realização da pesquisa.

a Banca Examinadora desta dissertação pela atenção e disponibilidade.



SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE TABELAS	16
NOMENCLATURA	18
LETRAS DELEGAS	19
RESUMO	20
Abstract	21
1 INTRODUÇÃO	22
2 OBJETIVOS	23
3 REVISÃO DE LITERATURA	27
3.1 Leona	27
3.2 Maya	29
3.3 Aqueduto ornado	30
3.4 Corculando rêsica	39
4 MATERIAIS E MÉTODOS	54
4.1 Materiais	54
4.1.1 Caracterização e preparação dos amostras	54
4.1.1.1 Soro de vaca	
4.1.1.2 Soro de leite	
4.1.3 Células conidulentos	

**O que sabemos é uma gota.
O que ignoramos é um oceano.**

**Isaac Newton
(1643-1727)**

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE TABELAS	15
NOMENCLATURA	18
LETRAS GREGAS	19
RESUMO	20
Abstract	21
1 INTRODUÇÃO	22
2 OBJETIVOS	26
3 REVISÃO DE LITERATURA	27
3.1 Laranja	27
3.2 Manga	29
3.3 Aquecimento ôhmico	30
3.4 Condutividade elétrica	39
4 MATERIAIS E MÉTODOS	54
4.1 Materiais	54
4.1.1 Caracterização e preparação das amostras	54
4.1.1.1 Suco de manga	54
4.1.1.2 Suco de laranja	55
4.1.3 Célula condutivimétrica	55

4.2	Métodos	57
4.2.1	Determinação da condutividade elétrica	57
4.2.1.1	Através da célula condutivimétrica	57
4.2.1.2	Através de um condutivímetro comercial	60
4.2.2	Determinação de sólidos solúveis	60
4.2.3	Determinação do pH	61
4.2.4	Determinação dos açúcares totais e redutores	61
4.2.5	Determinação da viscosidade aparente	62
4.2.6	Enzimação do suco de manga	62
4.2.7	Variação do tamanho das partículas do suco de manga	63
4.2.8	Análise estatística dos dados	63
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
5.1	Aferição da célula condutivimétrica	65
5.2	Caracterização das matérias-primas	66
5.3	Influência da temperatura e do teor de sólidos na condutividade elétrica e na taxa de aquecimento ôhmico do suco de laranja.	67
5.4	Influência da voltagem aplicada na condutividade elétrica e na taxa de aquecimento ôhmico do suco de laranja	75
5.5	Influência do tamanho das partículas na condutividade elétrica e na taxa de aquecimento ôhmico do suco de manga	78

5.6	Influência da viscosidade na condutividade elétrica e na taxa de aquecimento ôhmico do suco de manga	82
5.7	Influência da condutividade elétrica e da taxa de aquecimento no descongelamento ôhmico de sucos	85
5.8	Aquecimento convencional do suco de laranja	90
6	CONCLUSÕES	91
7	SUGESTÕES	93
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
ANEXOS		99

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama esquemático da célula de condutividade elétrica (de Mitchell & de Alwis, 1989)	46
Figura 2 - Célula condutivimétrica	56
Figura 3 - Esquema para medida de condutividade elétrica na célula condutivimétrica durante o aquecimento ôhmico	57
Figura 4 - Variação da condutividade elétrica do suco de laranja, aquecido ohmicamente, com diferentes teores de sólidos e voltagem aplicada de 140V	67
Figura 5 - Variação do tempo de aquecimento do suco de laranja, aquecido ohmicamente, com diferentes teores de sólidos e voltagem aplicada de 140V	73
Figura 6 - Variação da condutividade elétrica do suco de laranja a 11,5°Brix, aquecido ohmicamente, com diferentes voltagens aplicadas	76
Figura 7 - Variação do tempo de aquecimento do suco de laranja a 11,5°Brix, aquecido ohmicamente, com diferentes voltagens aplicadas	76

Figura 8 - Variação da condutividade elétrica do suco de manga, aquecido ohmicamente, com diferentes tamanhos de partículas e voltagem aplicada de 140 V	79
Figura 9 - Variação do tempo de aquecimento do suco de manga, aquecido ohmicamente, com diferentes tamanhos de partículas e voltagem aplicada de 140 V	81
Figura 10- Variação da condutividade elétrica no descongelamento de suco de laranja, voltagem aplicada de 140V e diferentes concentrações.	86
Figura 11- Taxa de descongelamento ôhmico do suco de laranja, com diferentes concentrações e voltagem aplicada de 140V.	87
Figura 12 - Variação da condutividade elétrica no descongelamento de sucos com voltagem aplicada de 140V.	89
Figura 13 - Descongelamento de sucos em função do tempo, com voltagem aplicada de 140V.	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 -	Comparação de médias de condutividade elétrica, obtidas através de medições no condutivímetro comercial e na célula condutivimétrica.	65
Tabela 5.2 -	Características físicas e químicas dos sucos de laranja e manga estudados.	66
Tabela 5.3 -	Viscosidade aparente do suco de laranja com diferentes concentrações, medida em 121 rpm em 25°C.	66
Tabela 5.4 -	Parâmetros do modelo de condutividade elétrica .	68
Tabela 5.5 -	Médias de condutividade elétrica (S/m), obtidas através do desdobramento das interações de temperatura versus concentração do suco de laranja, aquecido ohmicamente, com 140V de voltagem aplicada.	70
Tabela 5.6 -	Médias da taxa de aquecimento (min), obtidas através do desdobramento das interações de temperatura versus concentração do suco de laranja, aquecido ohmicamente, com 140V de voltagem aplicada.	74

Tabela 5.7 - Médias da condutividade elétrica (S/m), obtidas através do desdobramento das interações da voltagem aplicada versus temperatura do suco de laranja 11,5°Brix, aquecido ohmicamente.	77
Tabela 5.8 - Médias da taxa de aquecimento (min), obtidas através do desdobramento das interações da voltagem aplicada versus temperatura do suco de laranja 11,5°Brix, aquecido ohmicamente.	78
Tabela 5.9 - Médias de condutividade elétrica (S/m), obtidas através do desdobramento das interações do tamanho das partículas versus temperatura do suco de manga, aquecido ohmicamente com 140V de voltagem aplicada.	80
Tabela 5.10 - Médias da taxa de aquecimento (min) do suco de manga com diferentes tamanhos de partículas, aquecidas ohmicamente, com 140V de voltagem aplicada.	82
Tabela 5.11 - Viscosidade aparente do suco de manga com diferentes porcentagens de enzima.	83
Tabela 5.12 - Médias de condutividade elétrica (S/m), obtidas através do desdobramento das interações da porcentagem de enzima aplicada versus temperatura, do suco de manga, aquecido ohmicamente, com 140V de voltagem aplicada.	84

Tabela 5.13 - Médias da taxa de aquecimento (min), obtidas através do desdobramento das interações de temperatura versus porcentagem de enzima aplicada no suco de manga, aquecido ohmicamente, com 140V de voltagem aplicada.

85

Tabela 5.14 - Médias da condutividade elétrica (S/m), obtidas durante o descongelamento ôhmico de suco de laranja com diferentes concentrações e, 140V de voltagem aplicada.

87

Tabela 5.15 - Médias do tempo de aquecimento (min), obtidas durante o descongelamento ôhmico, do suco de laranja com diferentes concentrações e, 140V de voltagem aplicada.

88

NOMENCLATURA

R	Resistência elétrica	[ohm]
V	Voltagem	[V]
I	Corrente elétrica	[A]
A	Área da seção transversal	[m ²]
L	Comprimento da célula (de um eletrodo ao outro)	[m]
Q	Calor gerado	[kcal/h]
P	Potência	[kWh]
M	Fluxo de massa	[kg/h]
C_p	Calor específico	[J/kg°C]
T	Temperatura	[°C]
m	Massa da amostra	[kg]
q"	Energia gerada por unidade de volume	[W/m ³]
S	Conteúdo de sólidos	[%]
t	Tempo	[s]
v	Volume da amostra	[m ³]
K_c	Constante celular	Adimensional
K₁	Constante de compensação de temperatura	Adimensional
K₂	Constante de compensação do teor de sólidos	Adimensional
E_a	Energia de ativação	[kcal/gmol]

LETRAS GREGAS

σ	Condutividade elétrica	[S/m]
σ_{j25}	Condutividade elétrica do suco a 25°C	[S/m]
σ_m	Valor medido da condutividade elétrica	[S/m]
σ_{ref}	Valor referência da condutividade elétrica	[S/m]
σ_T	Condutividade elétrica em alguma temperatura	[S/m]
ρ	Densidade	[kg/m ³]
Δ	Incremento ou variação	adimensional



RESUMO

Neste trabalho, foi determinada a influência que a temperatura, o teor de sólidos, a voltagem aplicada, a viscosidade e o tamanho de partículas, exercem na condutividade elétrica dos sucos de laranja e manga. Para isto, uma célula sensorial foi desenvolvida para determinar a condutividade elétrica dos sucos sob condições de aquecimento ôhmico. A condutividade elétrica aumentou com a temperatura, como também com o conteúdo de sólidos até aproximadamente 30°Brix, diminuindo a partir desta concentração. A diminuição da condutividade elétrica com o teor de sólidos devido ao aumento da viscosidade dos sucos, em relação a concentração, foi por causa da diminuição da mobilidade iônica. Com a voltagem aplicada de 140 V, o produto final apresentou uma menor taxa de aquecimento, mantendo assim, a qualidade visual e olfativa do produto final. O descongelamento ôhmico dos sucos também foi analisado. Quanto menor a concentração do suco, ou seja, maior a quantidade de água presente, maior a taxa de descongelamento devido ao calor latente, onde na mudança de fase, ocorreu pouca ou nenhuma variação de temperatura.

Abstract

In this work, was determined the influences what the temperature, solids content, applied voltage, viscosity, and particle size exercise in the eletrical conductivity of orange and mango juices. A sensorial device was developed to determine the electrical condutivity of juices under ohmic heating conditions. The electrical conductivity of juices increased with temperature and concentration up to aproximately 30°Brix, when it starts to decrease. The decrease in electrical conductivity is due the increase in viscosity of the juices with concentration, wich decreases the mobility of the ions. With the apllied voltage of 140 V, the final product viewed a less heating rate, keeping thus, the appearance and flavor quality. The ohmic thawing of juices too was analysed. What least the juice concentration, so more amount present water, more thawing rate due the latent heat, where exist change fase, whit little or not any change temperature.

1. INTRODUÇÃO

Historicamente, o tratamento térmico de alimentos tem sido uma operação fundamental de esterilização comercial para a maioria dos alimentos processados. Responsável por sua estabilidade microbiológica, muitas vezes reduz significativamente a qualidade do produto, seja nutricional ou organoléptica.

A deterioração da qualidade do produto durante o processamento térmico pode ser minimizada por processos HTST (alta temperatura e baixo tempo) ou UHT (temperatura ultra alta), onde o alimento é aquecido rapidamente até 140°C , em trocador de calor de fluxo contínuo e depois resfriado, esterilizando o produto mais rapidamente e diminuindo assim as injúrias provocadas pelo calor. Entretanto, o uso destes processos é limitado para alimentos fluidos com partículas em suspensão, pois, nos alimentos particulados, a fase sólida será aquecida apenas por condução, que é um processo muito mais lento que a convecção, devido a baixa condutividade térmica da maioria dos alimentos. Para garantir que o centro da partícula seja esterilizado, o meio líquido e a superfície das partículas, devem ser sobre-aquecidos, o que reduz a qualidade do produto e, também eleva o gasto energético. O uso da resistência direta, ou do aquecimento ôhmico, traz grandes benefícios para processos de fluidos com partículas em

suspensão, justamente pela possibilidade de se aquecer o centro das partículas mais rapidamente (Halden et al., 1990).

No aquecimento ôhmico, o calor é produzido pela passagem de uma corrente alternada através do alimento, que em sua maioria, contém espécies de eletrólitos, tais como sais e ácidos, de modo que a presença de uma corrente elétrica conduz o calor gerado internamente. A corrente alternada é usada para eliminar polarização e deposição, fenômenos que são encontrados com corrente contínua em sistemas eletrolíticos. O processo de aquecimento ôhmico é um meio para o uso do HTST em alimentos particulados, pois desde que a condutividade em ambas as fases seja a mesma, o calor a ser gerado em ambas as fases terá a mesma velocidade (De Alwais et. al., 1989). Assim, eliminam-se as superfícies de transferência de calor, reduzindo as injúrias provadas pelo aquecimento, preservando a textura e a retenção de nutrientes.

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), enquanto que a energia gasta no aquecimento convencional através de vapor tem um rendimento bem inferior. O aquecedor ôhmico industrial para fluidos, com partículas em suspensão, comercializado pela APV-Baker, com licença da United Kingdom Electricity Council, tem uma relação de potência máxima, em kW, para um quilo de



alimento processado por hora, de 1:10. Por exemplo, 6 t/h equivalem a uma potência máxima de 600 kW, na pior das hipóteses. Para se ter uma idéia, essa é a energia necessária para elevar a temperatura dessa quantidade de alimentos em uma hora, de 20 para 140°C, utilizando-se um valor médio aproximado para o calor específico igual a 3 kJ/kg°C.

Allen et al., (1994), considera o aquecimento ôhmico uma tecnologia viável economicamente para processamentos de produtos com baixa e alta acidez, porém com um custo maior que o aquecimento convencional, mas, quando o importante é a qualidade do produto, o aquecimento ôhmico produz sem dúvida, uma qualidade superior, sugerindo sua aplicação, a princípio, em produtos tipo premium.

O presente trabalho, tem caráter de pesquisa intermediária, visando tomar possível dados de condutividade elétrica úteis para projetos, que hoje, além de escassos, quase não apresentam a dependência com a temperatura e com a voltagem. Nenhuma informação é dada em termos de taxa de aquecimento e, muitos alimentos sofrem profundas transformações em função do binômio tempo-temperatura, que podem influenciar a condutividade elétrica.

O trabalho se justifica pela escassez de dados na literatura. A modelagem matemática do processo de aquecimento pode ser melhorada, porém, sem dados de condutividade, o trabalho se torna bastante limitado.



Quando o processo envolve fluidos densos ou viscosos, os modelos testados predizem muito mal o comportamento da partícula.



2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo a determinação da condutividade elétrica em condições de aquecimento ôhmico em baixas frequências dos sucos de laranja e manga. Esta propriedade física é investigada em função da temperatura, voltagem aplicada, teor de sólidos solúveis, viscosidade e tamanho de partículas, sob a hipótese de que tais variáveis são significativas sobre a propriedade elétrica. Também é avaliado o comportamento da condutividade elétrica durante o descongelamento dos sucos.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Laranja

Atualmente o Brasil é o maior produtor mundial de laranja com 30% do total, sendo importante fonte de emprego, renda e divisas. Somente no estado de São Paulo, o setor envolve vinte mil citricultores, em quase cem municípios. No total produzido neste estado, considerado hoje o maior produtor mundial de laranjas, com 388 milhões de caixas (15.830.400 toneladas), na safra de 1999/2000, segundo estimativas da ABECITRUS, 14,9% dos frutos é destinado ao consumo nacional de fruta fresca, 0,5% destinado à exportação da fruta fresca e, 84,6% ao processamento, sendo que deste processado, 97% é exportado.

Segundo a FAO, na safra de 96/97, do total de 56.048.000 toneladas de laranja, 22.475.000 toneladas foram processadas. Na mesma safra o Brasil produziu 16.360.000 toneladas de laranja e processou 10.608.000 toneladas, enquanto os Estados Unidos produziram 11.992.300 toneladas e processaram 9.115.000 toneladas.

A tendência à industrialização da fruta em suco, vem se desenvolvendo de forma significativa em todo o mundo nos últimos dez anos. Isso se deve principalmente à redução das despesas com transporte,

armazenamento e a exigência de produtos de consumo final mais elaborado. O Brasil, atualmente, é o maior produtor e exportador de suco de laranja concentrado e congelado (SLCC), controlando cerca de 80% do mercado internacional do produto (Yang & Hashimoto, 1993).

A tecnologia de fabricação do suco de laranja concentrado vem se transformando através dos tempos. Atualmente, por razões de aumento de mercado e do custo de embalagem e de transporte, o suco também é estocado e comercializado a granel, sendo sua temperatura mantida em torno de -10°C . Nesse processo, o suco passa através de trocadores de calor, onde a temperatura é reduzida de 10°C para -8°C e enviados para tanques localizados no interior de câmaras frigoríficas mantidas a temperaturas de -10°C a -20°C , dependendo da empresa. Esse suco é então transportado em caminhões com tanques em aço inox e termicamente isolados, sendo então transferidos diretamente para navios com tanques frigoríficos, ou para tanques de estocagem em câmaras frias de empresas com entrepostos na área portuária.

Apesar desse desenvolvimento tecnológico, algumas operações unitárias empregadas na industrialização do suco de laranja concentrado precisam ainda ser entendidas com maiores detalhes. Em muitos casos, tais operações podem ser melhoradas através do emprego de novas tecnologias.



3.2 Manga

A manga esta entre as frutas tropicais mais apreciadas em todo o mundo, sendo considerada por alguns autores como a mais popular entre elas. Pertencente ao gênero *Mangifera indica*, a manga contém 41 espécies, distribuídas principalmente na região Indo-Malaia, Malásia, Ilha de Sunda e Península Oriental (Mukherjee, 1976). O seu cultivo tem sido difundido por todas as regiões tropicais do mundo e, segundo a FAO, a manga é a quarta fruta dos trópicos a alcançar o mercado internacional depois da banana, do abacaxi e do abacate. Neste contexto, o Brasil é o quinto maior produtor mundial e reponde por apenas 2,73 % da produção total de 15.022.000 de toneladas, vindo depois a China com 2,96%, o Paquistão com 4,23%, o México com 26%, e a Índia com 63,24% (Cunha et al., 1994).

Dados do FIBGE mostram que o Brasil produziu em 1992 um total de 1575 toneladas de manga, sendo o estado de São Paulo o maior produtor com 414 mil toneladas, seguido por Minas Gerais com 191 mil toneladas. Também são estados produtores o Ceará, Pernambuco, Bahia, Paraíba, Piauí, Alagoas, Maranhão e Rio Grande do Norte. E, em termos percapita, o consumo diário de manga no Brasil é de 2,431g, o que a coloca como a sétima fruta mais consumida pelos brasileiros, atrás da laranja, banana, mamão, abacaxi, melância e melão.



O principal cultivar da manga no Brasil, é a variedade Haden, sendo seu fruto de alta qualidade com 71,6 a 86,6% de polpa em relação ao peso do fruto, bastante suculenta, doce, firme, sabor muito agradável, de cor amarelo-alaranjado e apresentando moderada quantidade de fibras (Sampaio, 1980).

3.3 Aquecimento Ôhmico

O conceito de aquecimento ôhmico em alimentos não é novo. No século XIX, diversos processos foram patenteados com o uso da energia elétrica para o aquecimento de fluidos. Na metade do século XX, a pasteurização elétrica do leite, uma das primeiras bem sucedidas aplicações da eletricidade no processamento de alimentos, foi obtida através da passagem do produto entre placas paralelas com uma diferença de voltagem entre elas (Anderson & Finkelstein, 1919), e, seis estados dos Estados Unidos da América, usaram esta técnica na pasteurização comercial do leite. Isto foi realizado em tempos em que efeitos letais poderiam ser atribuídos à eletricidade. Todavia, este método de pasteurização, chamado "eletro-puro", desapareceu nos anos sucessivos, fracassando aparentemente em sua existência, devido a falta de eletrodos inertes e materiais de controles adequados. A morte microbiana, durante a pasteurização elétrica do leite, também chegou a ser atribuída, em primeiro lugar, aos efeitos térmicos, e



não devido aos efeitos elétricos. Desde aqueles tempos, esta tecnologia tem sido de interesse limitado, executada para processos de descongelamento através da eletrocondutividade. O aquecimento ôhmico foi usado também, em algumas aplicações para processos de preservação de alimentos, como o cozimento de salsichas, usadas na alimentação das forças armadas em viagens espaciais tripuladas (Mizrahi et al., 1975).

Segundo De Alwis & Fryer (1990a), a razão pelo qual o processamento elétrico do leite, "eletro-puro", não obteve sucesso, estava relacionado com a falta de robustez dos equipamentos, para suportar as condições da produção comercial, bem como a falta de confiança nos eletrodos utilizados, que em contato com o produto, poderiam sofrer eletrólise e contaminar o produto. Esses autores citam diversos trabalhos que apareceram até a década de 70, sendo a grande maioria na forma de patentes, com características de aplicação comercial ou industrial, e bastante empíricos. Só recentemente as pesquisas têm avançado, devido à possibilidade de viabilização do processo, quando acoplado a outras tecnologias atualmente desenvolvidas, como envase asséptico, controle de processos, bombeamento de fluidos particulados, desenho sanitário, etc.

Na década de 80, os materiais e projetos para processos de aquecimento ôhmico foram aperfeiçoados, tomando-o um processo vantajoso. O interesse particular nesta tecnologia para sistemas contínuos das indústrias alimentícias seria para o processo de alimentos particulados.



Os sistemas convencionais de processos assépticos para produtos particulados, sobreaqueciam a fase líquida, para garantir que a fase sólida fosse esterilizada, o que não aconteceria com o aquecimento ôhmico. Com isto, o aquecimento ôhmico, apareceu como uma técnica atrativa e alternativa, para se obter produtos seguros e de qualidade. Uma questão de interesse foi se métodos elétricos de aquecimento poderiam causar efeitos letais para os microorganismos, quando aplicados como único processo de aquecimento, ou se deveriam estar associados a outros processos. Um número pequeno de estudos prévios, foi feito sobre o assunto, porém, apresentavam-se inconclusos, devido a falta da separação satisfatória dos efeitos elétricos e térmicos (Palaniappan et al., 1990).

Sastry & Palaniappan, 1992, compararam a cinética da morte microbiana sob aquecimento convencional e aquecimento ôhmico, usando condições térmicas idênticas, para eliminar os efeitos térmicos. Os resultados indicaram que o campo de força comumente associado com o aquecimento ôhmico, não apresentou efeito letal existente. Usando um alto campo de força, associado com técnicas eletrocondutivas, os microorganismos podem de fato ser destruídos por ruptura da membrana celular, embora os efeitos tenham sido, preliminarmente, observados em células vegetativas.

Em 1992, um consórcio foi formado por 25 sócios, composto por indústrias, no ramo de alimentos processados, equipamentos de processos e fornecedores de ingredientes, universidades de ciências de



alimentos, engenharia, microbiologia, economia, e órgãos governamentais. Este consórcio tinha com finalidade, desenvolver produtos e avaliar a capacidade do sistema de aquecimento ôhmico. Para isto, um aquecedor ôhmico de 5 kW, com fluxo contínuo, foi construído, em escala piloto pela APV-Baker. De 1992 a 1994, uma grande variedade de produtos foram estudados, quanto a sua viabilidade, vida de prateleira, grau de acidez e produtos sob refrigeração. Foram estabelecidos parâmetros como textura, cor, sabor e retenção de nutrientes, sendo comparados com estes mesmos parâmetros obtidos através de métodos tradicionais de processamentos assépticos. Os resultados destes testes, concluíram que o aquecimento ôhmico era viável, inclusive economicamente, se comparado ao custo de processos de congelamento e processamento de produtos de baixa acidez. Porém, o não conhecimento do potencial de mercado, associado ao custo inicial do equipamento, fez com que o consórcio decidisse pela não comercialização do sistema ôhmico naquele momento (Zoltai & Swearingen, 1996).

O projeto de um equipamento ôhmico, segundo Larkin & Spinak (1996), deveria incluir uma descrição completa do sistema, mecanismos de controle e procedimento de falha e de segurança do processo. Esta descrição poderia incluir referências dos mecanismos utilizados, procedimentos de controle, previsão de desvios de processamento, métodos de produção, registros do processamento e



validação dos produtos, através de banco de dados e detalhamento esquemático de equipamentos utilizados e layouts de processos. A especificação dos produtos, que definem seus aspectos físico-químicos, teria um papel importante na determinação de como o processo deveria ser desenvolvido, portanto uma descrição completa do produto seria necessária, incluindo valores mínimos e máximos – limites críticos, que deveriam ser bem definidos. Dentre esses fatores críticos poderiam ser incluídos, a condutividade elétrica, o conteúdo de sólidos, a forma e o tamanho de partículas, conteúdo de umidade, viscosidade, relação sólido-líquido, eletrólitos, pH, calor específico, condutividade térmica. 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. Quanto ao design do processo, as formulações teriam que ser ajustadas considerando as mudanças do mercado, do custo e viabilidade dos ingredientes. Para a validação do processo, o aquecedor ôhmico deveria garantir um tratamento suficiente para proporcionar um produto comercialmente estéril.

Em 1996, um estudo sobre o uso do aquecimento ôhmico no processamento térmico de alimentos, incluindo modelagem, condições de segurança, validação do processo e viabilidade econômica foi apresentado em um Simpósio, promovido pela IFT (Food Engineering Division), coordenado por SASTRY e KIM. Neste Simpósio, um estudo sobre o



aquecimento ôhmico de fluidos, reportado por Reznick (1996), mostrou vários parâmetros que podem afetar a performance do equipamento de aquecimento ôhmico usado para aquecer produtos fluidos, necessários para que este processo seja aplicado com sucesso na indústria de alimentos:

- Eletrólise: a corrente alternada a baixas frequências entre 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. Um caminho para que isto não aconteça é o uso da alta frequência. Em frequências alternadas, acima de 100 kHz, o metal aparentemente não é dissociado. Eletrodos de aço inox 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 que determinará a corrente:

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

Onde:

R = resistência, (ohm),

V = voltagem, (V), e

I = corrente, (A)

Desde que a fonte tenha limitações de tensão e corrente, se a resistência for alta, a corrente será baixa, mesmo na voltagem máxima, sendo baixa também a potência gerada. Se a resistência for baixa, alcançará a corrente máxima com uma tensão mais baixa, e a potência também será baixa, pois $R=V/I$.

- Consideração da potência: o aquecimento requerido, Q , será calculado pela multiplicação da taxa do fluxo de massa M (kg/h) pelo calor específico C_p (kcal/kg°C) e pela variação da temperatura (°C):

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

Como Q é medido em kcal/h, e $1 \text{ kWh} = 860 \text{ kcal}$, a potência em kW é $P=Q/860$. Com a potência conhecida, o próximo fator

a ser considerado é a densidade de corrente, a qual dependerá da voltagem aplicada. Se $P=VI$, então $I=P/V$, conhecendo-se assim a corrente total. O valor da corrente total deve ser dividido pela densidade da corrente crítica, indicando assim a área necessária do eletrodo.

- Voltagem: como a voltagem 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 da Corrente: este é um dos parâmetros mais críticos a ser considerado. Ela é a corrente que deverá ser dividida pela área do eletrodo. Todo produto tem uma densidade da corrente crítica, que se ficar acima deste valor, provavelmente provocará uma deformação no eletrodo. Desde que a limitação da densidade da corrente seja conhecida, e a corrente derivada da já conhecida potência e voltagem, a área mínima do eletrodo será determinada. Visto que a resistência é função da área, a distância entre os eletrodos também será determinada. Para alcançar a corrente e a potência necessária, o ideal é usar eletrodos

suficientemente largos, conectados em tubos estreitos, de forma que a densidade de corrente seja crítica, somente próximo aos eletrodos. A atual dimensão dos aquecedores ôhmicos, tem tubos de 6 pés de comprimento (183 cm), com diâmetro externo de 3 polegadas (7,62 cm), para o aquecimento de milhares de litros/hora. Para tubos de 1 pé (30,48 cm), com diâmetro externo de 2 polegadas (5,08 cm), o aquecimento é de centenas de litros/h. O diâmetro interno típico de tubos, é de 1 polegada (2,54 cm), para uma unidade grande, e de 1/8 polegada (0,32 cm), para uma unidade pequena. Portanto, em todos os casos, o aquecedor ôhmico toma-se uma tubulação.

- 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 proteinados, 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. Este retorno pode causar a fervura do líquido próximo ao eletrodo e provocar uma deformação no equipamento. Isto é importante em algumas



aplicações para induzir o fluxo turbulento e manter a pressão sobre o ponto de ebulição.

- Tempo de Aquecimento: o tempo de retenção do material aquecido ôhmicamente, pode ser menor que o aquecido convencionalmente, desde que a corrente elétrica possa eliminar a reprodução de alguns microrganismos. Isto oferece uma possibilidade de reduzir o tempo de retenção ou até de reduzir a temperatura do trocador de calor utilizado.
- 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.

3.4 Condutividade Elétrica

O fator físico primário que irá influenciar o aquecimento ôhmico será a condutividade elétrica. A condutividade de um material determina sua viabilidade para que este seja aquecido eletricamente. Se a condutividade for muito baixa, provavelmente será imprópria. Os alimentos contêm condutividades elétricas na faixa de 10^{-2} a 10^3 mS/cm. A propriedade



elétrica do sistema global (sólido e líquido), também influencia parâmetros operacionais como a potência, que deve ser aplicada pelo aquecedor para alcançar a corrente requerida. A distribuição do campo elétrico não depende apenas da condutividade elétrica das duas fases (sólida e líquida), mas também depende da forma e da orientação das partículas neste campo elétrico, De Alwis et al., (1989).

A condutividade elétrica de materiais alimentícios é um parâmetro crítico quando os alimentos são processados por aquecimento ôhmico. É sabido que muitos fatores físicos, biológicos e químicos, como a ruptura celular, encolhimento dos tecidos, mudanças de fases, mudanças na permeabilidade da membrana, desidratação, gelatinização do amido, dissolução de pectinas, caramelização, reações de Maillard, etc., ocorrem em alimentos durante o aquecimento. Essas reações também podem ocorrer durante o aquecimento ôhmico. Porém, a presença de um campo elétrico, tem produzido efeitos adicionais como a desidratação de alimentos. Wigerstrom (1976), detalhou as mudanças em uma mistura contendo fatias de batata durante o branqueamento e tratamento elétrico, mostrando que as perdas na mistura, foram acentuadas pelo campo elétrico. A eletrólise não é envolvida; a perda na mistura ocorre por eletro-osmose. A eletro-osmose ocorre no campo devido a difusão molecular; as mudanças induzidas pelo campo elétrico são só revertidas parcialmente durante cada metade do ciclo. Então, é possível que durante o aquecimento ôhmico, a condutividade



elétrica possa variar, o que pode não acontecer durante o aquecimento convencional, porém acreditam que estes fenômenos devem ser melhor estudados. Durante o aquecimento, também ocorreu a dissolução de protopectinas e outros componentes da parede celular, resultando em uma perda de rigidez da célula e aderência intracelular. Dependendo da condutividade interna ou externa do fluido, estes fatores podem aumentar ou diminuir a condutividade elétrica do alimento (Halden et al., 1990).

De Alwis & Fryer, (1988), desenvolveram um dispositivo de polipropileno com dimensões de 18,4 x 7,0 x 7,7 cm e resistente ao calor. Nas extremidades foram colocados eletrodos de 7,5 cm², alimentados com 240V e 50 Hz, fornecidos, a princípio, por um transformador com regulação da voltagem. As temperaturas foram medidas por dois termopares instalados na fase líquida e no centro da partícula. A medida da condutividade elétrica dos alimentos contendo alta concentração iônica, foi feita através de um condutímetro digital Philips PW9514. Analisando o processo, verificou-se que na fase fluída, a taxa de aquecimento aumentava com a potência e com a condutividade. Experimentos com soluções altamente viscosas, de mesma condutividade, mostraram que a taxa de aquecimento aumentava aos altos coeficientes de condutividade elétrica de soluções viscosas. O aquecimento ôhmico de soluções altamente viscosas, elimina problemas de incrustações da superfície, que normalmente ocorrem em um aquecimento convencional. Constataram também que, se um alimento fluido proteinado fosse tratado



com o aquecimento ôhmico, a deposição nos eletrodos poderiam resultar somente de proteínas que teriam sido agregadas ao fluido como um todo, o que não implica que no aquecimento ôhmico ficaria livre de incrustações, mas indica que na ausência de superfícies, o problema poderia ser reduzido.

De Alwis & Fryer (1989), reportaram preliminarmente resultados de estudos feitos em partículas de geometria simples, através de experimentos realizados usando-se de alimentos simples como fatias, cilindros e cubos de cenoura, variando a orientação para determinar a condutividade elétrica do líquido, usando o dispositivo acima mencionado. O resultado das amostras, em termos de diferencial da taxa de aquecimento, entre o sólido e o líquido, $R_t = dT_s/dT_l$; um valor de R_t maior que 1, indicou que o sólido aquece mais rápido que o líquido. Observações da curva de aquecimento do sólido, mostrou que durante o aquecimento ôhmico, a taxa de aquecimento poderia mudar, dificultando assim as condições da taxa de aquecimento. Dependendo da forma e orientação das partículas do alimento no campo, o diferencial da taxa de aquecimento pode aumentar ou diminuir com o aumento da condutividade do líquido. Os autores, reportaram ainda, duas séries de experimentos com cilindros e fatias de cenoura, que aqueceram ohmicamente em líquidos com diferentes condutividades. Para os cilindros, a taxa de aquecimento diminuiu com o aumento da condutividade do líquido, enquanto que para as fatias, a taxa de aquecimento aumentou com o aumento da condutividade do líquido. Eles sugeriram que



os resultados poderiam ser em parte devido a propriedades físicas da cenoura, refletindo o ponto anisotrópico de sua estrutura. Para a confirmação dos resultados em relação a dependência dos anisotrópicos, uma série de experimentos foram conduzidos utilizando albumina solidificada com sais e, batatas, as quais foram consideradas mais simétricas que a cenoura. Estes experimentos capacitaram o comportamento ôhmico para ser efetuado quando a condutividade elétrica do sólido for tão alta ou tão baixa quanto a do líquido. Para isto, foram colocados pedaços de batata com condutividade de 0,6 mS/cm em líquido com condutividade de 5,8 mS/cm, e albumina com 20 mS/cm em líquido com condutividade de 3,8 mS/cm. As partículas de batata e albumina solidificada foram aquecidas ohmicamente com suas faces largas em paralelo e em perpendicular ao campo de força dos eletrodos. Para as batatas, de baixa condutividade elétrica em relação ao meio, aqueceram mais rapidamente que o líquido quando estavam perpendicularmente ao campo, e, aumentaram quando estavam em paralelo ao campo. Os resultados da albumina, de condutividade mais alta que o líquido, ocorreu o inverso, aumentou a taxa de aquecimento quando alcançou o eixo sólido paralelo ao campo. Isto pode ser explicado usando uma analogia elétrica, por exemplo; quando uma partícula esta perpendicular ao campo e em série com o líquido, aquecerá mais rapidamente quando houver um aumento da resistência e diminuirá quando a resistência for menor. Todavia, os autores alertam que isto não pode ser usado para prever



taxas de aquecimento, devido a forma do campo ser dependente do sistema geométrico, e então, isto não pode ser citado como uma série de situações verdadeiras. Os resultados deste experimento, indicaram ainda que, fatores geométricos melhor que os anisotrópicos tem maior influência em determinadas taxas de aquecimentos e, que, formas simples niveladas, podem produzir resultados complexos. As formas das partículas também foram analisadas em relação a condução de calor, e, verificaram que sólidos com uma área superficial por unidade de volume, como o cubo, seria menos afetado pela condução de calor. Se a relação intrínseca de geração de calor é baixa, a condutividade elétrica terá menor capacidade de aquecer uma partícula com esta geometria. Partículas deste tipo, porém, segundo os autores tem uma vantagem óbvia que é a sua orientação no campo, que será minimamente afetada em relação ao aquecimento. Com isto, os autores desenvolveram duas regras, que consideraram simples, para a seleção de um alimento para ser aquecido ohmicamente:

- a) Se o alimento particulado tem um aspecto de alta proporção, será suficiente para assegurar que a condução, que proporcionará o aquecimento, não será afetada pela orientação;
- b) Se o processo for designado para assegurar que a partícula será pouco afetada pela condução, terá uma proporção satisfatória e inerente ao aquecimento. Na prática, os

experimentos sempre seriam conduzidos em um alimento com intenções conhecidas de produção comercial, para assegurar as taxas de aquecimento.

Halden et al., (1990), reportaram que a condutividade elétrica pode sofrer mudanças também através de uma função complexa de tempo e temperatura, influenciando diretamente a taxa de aquecimento ôhmico. O rompimento da estrutura celular em frutas pode levar ao aumento da condutividade elétrica, devido ao aumento da mobilidade iônica. Utilizando baixa frequência (50 Hz), e um aquecedor ôhmico estático, com circuito especialmente desenvolvido por Mitchell & de Alwis (1989), para medir a condutividade de alimentos nesta frequência (**Figura 1**), determinaram a condutividade de alguns alimentos. Reportaram gráficos de condutividade versus temperatura para a carne de porco, batata, beterraba e cogumelos. Em um experimento com aquecimento ôhmico de morangos, quando a temperatura atingiu 65°C, houve um aumento considerável da condutividade elétrica, bem como o amolecimento da fruta, presumidamente devido ao rompimento da parede celular. A quebra das substâncias pécticas do morango, resultou uma maior mobilidade iônica e portanto uma maior condutividade elétrica foi observada.

Há variações que não são simplesmente função da temperatura, mas do binômio tempo-temperatura. A maioria dos dados



reportados na literatura, apresenta condutividade elétrica como função da temperatura, mas nunca como função da taxa de aquecimento.

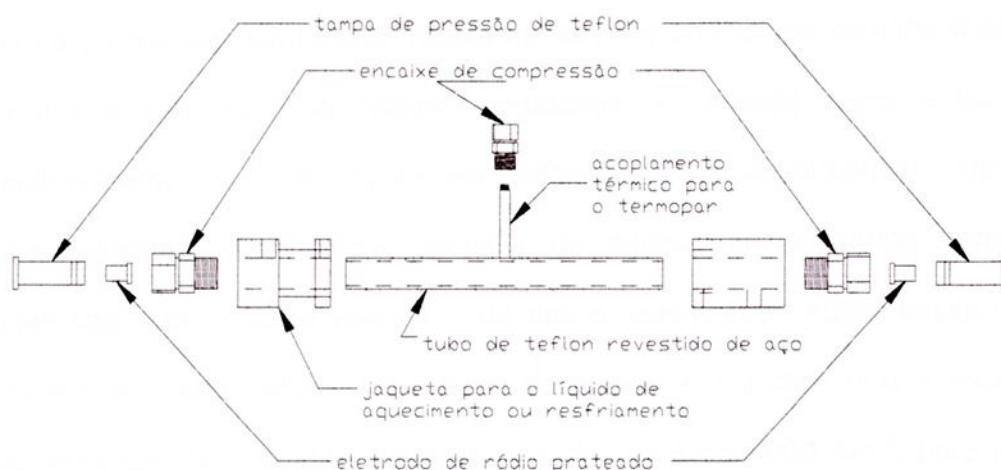


Figura 1- Diagrama esquemático da célula de condutividade elétrica (de Mitchell & de Alwis, 1989)

Segundo Stirling (1987), as variações químicas de um fluxo de corrente através de um eletrodo/eletrolito são proporcionais à qualidade de eletricidade que passa. Estritamente falando, isso é verdadeiro para fluxo de corrente contínua, que sempre envolve processos de transferência de elétrons nas interfaces. A corrente alternada, entretanto, pode ter um caminho de transferência de calor que não por elétron, a qual, por definição, não dá origem a eletrólise. A presença da chamada camada iônica dupla na interface eletrodo/eletrolítico torna isso possível. Essas camadas são formadas por alinhamento eletrostático de soluções iônicas, de uma carga,

sobre uma superfície de eletrodo de carga oposta. Essa camada é análoga a um capacitor: o fluxo de uma corrente alternada pode ocorrer por migração de carga apenas, sem transferência de elétrons através da camada dupla e nenhuma eletrólise. Na prática, entretanto, a camada dupla antes do desenvolvimento de voltagem ser suficiente para desencadear reações eletroquímicas. Ele realizou ensaios de laboratório, passando corrente alternada (50Hz) entre eletrodos de titânio platinizados numa célula com cloreto de sódio saturado, a várias voltagens, e concluiu que a máxima corrente que não provoca correntes faradaicas é de 8000 A/m^2 , para esse tipo de eletrodo. Por segurança, recomendou um máximo de 4000 A/m^2 . A confirmação de tal aproximação deu-se através da análise de dois produtos eletroquímicos: oxigênio dissolvido e cloreto livre.

Parrot (1992), considerou que para soluções aquosas de sais ionizados, havia uma relação linear entre a temperatura e a condutividade elétrica. Isto seria atribuído ao aumento da mobilidade iônica com o aumento da temperatura, e se aplicaria à maioria dos produtos. Excessões poderiam ser atribuídas a produtos cuja viscosidade aumentava com altas temperaturas, tais como aqueles contendo amido não gelatinizado.

Wadad & Sastry (1994), estudaram o efeito da viscosidade na taxa de aquecimento ôhmico de fluidos particulados. Fluidos com condutividades elétricas e quantidade de partículas iguais, mas com diferentes níveis de CMC (Carboxi-Metil-Celulose) influenciando assim na



viscosidade, foram aquecidas em lotes, usando três aquecedores ôhmicos diferentes: um estático, um com vibração e outro de fluxo contínuo. Com isso, verificaram que viscosidade não afetava significativamente as condições do aquecimento ôhmico estático. Porém, quando o fluido era agitado o suficiente, a taxa de aquecimento aumentava com o aumento da viscosidade, tanto no aquecedor ôhmico com vibração, como no aquecedor ôhmico de fluxo contínuo. Este fenômeno parecia ser devido, segundo o autor, ao aumento do aquecimento da fase fluida para o caso da viscosidade, resultando na diferença do aumento de temperatura entre o fluido e o sólido, cuja compensação é o efeito do baixo coeficiente de transferência de calor. Ambos os dados de temperatura e do poder de dissipação, sugeriam que o uso de produtos de alta viscosidade, transportados em um aquecedor de fluxo contínuo, poderia ser benéfico sob o ponto de vista de melhorar taxa global de calor. Todavia, os autores ressaltaram que o assunto da uniformidade do aquecimento, precisaria ser melhor estudado.

Dados de condutividade elétrica a baixa frequência, em função da temperatura, foram reportados por Palaniappan & Sastry (1991a e 1991b), que desenvolveram para isto, um dispositivo tubular com $4,3 \text{ cm}^2$ de área. No primeiro trabalho, eles ajustaram os dados de condutividade versus temperatura linearmente, para batata, cenoura e presunto, ao natural e com diferentes concentrações de sal através da imersão em soluções de NaCl. Ajustaram a condutividade também para frango e carne de vaca ao natural.



Os autores graficaram a condutividade elétrica de vegetais versus temperatura, resultante do aquecimento ôhmico a diferentes tensões e também do aquecimento convencional. A condutividade durante o aquecimento ôhmico apresentou um comportamento não linear, porém, conforme a tensão foi aumentando, para o caso da cenoura, as curvas foram se tomando cada vez mais lineares, até que, a 40 V/cm, a função foi quase uma reta. Os autores acreditavam que o aumento da condutividade elétrica com o aumento da voltagem devia-se, primeiramente aos efeitos eletro-osmóticos. Porém, em nenhum momento são apresentadas as taxas de aquecimento, ou se faz referência aos efeitos das mesmas.

No segundo trabalho, Palaniappan & Sastry (1991b), apresentaram parâmetros de condutividade elétrica de suco de tomate e suco de laranja. Eles estudaram a influência da temperatura, do conteúdo de sólidos, da voltagem aplicada e do tamanho das partículas sobre a condutividade elétrica, usando o modelo da célula condutivimétrica, desenvolvida por Mitchell & de Alwis, (1989), mostrado na **Figura 1**. Apresentaram uma função linear com a temperatura e com o teor de sólidos, sendo que a condutividade aumentava com a temperatura e diminuía com o teor de sólidos. Quanto menor o tamanho das partículas, maior era a condutividade específica do suco. A variação da voltagem aplicada, usada no aquecimento dos sucos, foi de 30V/cm a 60V/cm. Formação de bolhas perto dos eletrodos foram observadas em função da força do campo, a partir de

uma certa temperatura (80-85°C), indicando dissociação ácida, com produção de hidrogênio, um fenômeno eletrolítico, e neste caso, a condutividade elétrica deixou de ser linear com a temperatura.

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 condutivímetro comercial de marca Radelkis Ok-114. Com o objetivo de determinar a correlação entre a atividade de água e a condutividade elétrica, com várias faixas de temperatura que variavam de 20 a 80°C. Os resultados indicaram que o efeito da temperatura pode ser descrito pela equação do tipo Arrhenius com $E_a = 3,0$ e $6,0$ kcal/gmol. 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 r^2 maiores que 96%, e, portanto, 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.

Quanto aos estudos microbiológicos, os únicos dados na literatura (Parrot, 1992), foram obtidos 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 min, necessário para inativar determinado número de microrganismo a uma temperatura constante de 250°F (121°C) quando a constante de resistência térmica é 18°F(10°C)) - similar como os efetuados no fluido. Suas evidências indiretas, também sugerem que a letalidade é uniforme ao longo da partícula (valores de F (tempo, a uma determinada temperatura, com respeito à sua capacidade de destruir esporos ou células de um microrganismo específico) – foram obtidos do centro da grande partícula e ao longo da partícula), mostrando interesse na determinação direta da distribuição da letalidade dentro das partículas dos alimentos quando sofrem aquecimento ôhmico.

A letalidade dentro de alimentos particulados que sofreram aquecimento ôhmico também foi investigada por Kin 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).

Roberts et al., (1998), desenvolveram e testaram um protótipo para o descongelamento ôhmico de camarões. Nos Estados Unidos, 70% do camarão consumido são importados da Flórida e comercializados em blocos congelados. Com o processo convencional de descongelamento, utilizando água 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 com 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 efluentes. Com o protótipo dos autores, foi testado o descongelamento de camarões em blocos de 30x22x5cm, 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 três horas para o descongelamento ôhmico e de cinco horas para o descongelamento



convencional. Além de mais rápido, o descongelamento ôhmico não produziu água residual, que necessitasse de tratamentos. A qualidade do produto descongelado também foi preservada, visto que desta forma, não houve perdas das proteínas hidrossolúveis, diminuindo a contaminação microbiológica, tornando-se assim um processo economicamente viável.

4.1.3.1 Bala de manga

Foram utilizadas mangas de variedade Haster, cujo grau de maturação foi avaliada para obtenção de cor amarela, avermelhada de pontos brancos, que foram colhidas no dia anterior ao início da produção da bala. Em seguida, foram lavadas em água corrente, despolvilhadas e desaquecidas.

A manga foi processada e a despolvilhada com tela de 16mm de abertura. Esta operação foi realizada visando-se um melhor rendimento na extração do polpa, colando a polpa e que produziu uma massa bem homogênea.

A polpa foi desidratada em estufa a vácuo de 1 e 3 kg, sendo estas colocadas em freezer horizontal com temperatura de -20°C, visando sua conservação.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

4.1.1 Caracterização e Preparação das Amostras

4.1.1.1 Suco de manga

Foram utilizadas mangas da variedade Haden, cujo grau de maturação foi avaliado pela uniformidade da cor amarela, avermelhada, de textura firme, que foram obtidas de um único lote, proveniente de um produtor da região. Em seguida foram lavadas em água corrente, descascadas e os caroços removidos.

A manga foi processada em despulpadeira com tela de 1,6mm de abertura. Essa abertura foi escolhida visando-se um máximo rendimento na extração da polpa, conforme prática industrial, o que produziu uma polpa bem homogênea.

A polpa foi acondicionada em recipientes plásticos de 1 e 5 kg, sendo então congelada em freezer horizontal com temperatura a -20°C , visando sua preservação.



4.1.1.2 Suco de laranja

O suco de laranja utilizado foi fornecido pela Bascitrus Indústria e Comércio Ltda, e encontrava-se concentrado e congelado, com 63,8°Brix, em recipientes plásticos de 1 kg, sendo diluído em água destilada para obter diferentes teores de sólidos solúveis para a realização dos testes.

4.1.2 Célula condutivimétrica

Uma célula condutivimétrica, construída em aço inox e teflon, desenvolvida no Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos, foi utilizada neste trabalho. O teflon apresenta para temperaturas até 300°C, grande inércia química aos mais variados produtos químicos corrosivos, sendo também um bom isolante elétrico (Gentil, 1982).

O corpo da célula (**Figura 2**), é construído em teflon, medindo 28,5 cm de comprimento, com diâmetro interno de 3,0 cm e diâmetro externo de 4,5 cm. A abertura para o termopar, no centro do corpo da célula, é pequena, e serve também para inserir amostras fluidas. Este orifício é selado, de forma que resista a pressão gerada internamente com o aquecimento do produto. Os eletrodos, de liga de platina, são soldados nas extremidades das tampas de teflon, que por sua vez, se ajustam bem à superfície interna do tubo, pois são rosqueáveis. O termopar utilizado foi do



tipo T e calibrado com termômetro padrão. Um circuito semelhante ao de Mitchell & De Alwis (1989), foi montado, para a variação da voltagem de 0 a 200V, e frequência de 50 Hz (**Figura 1**).

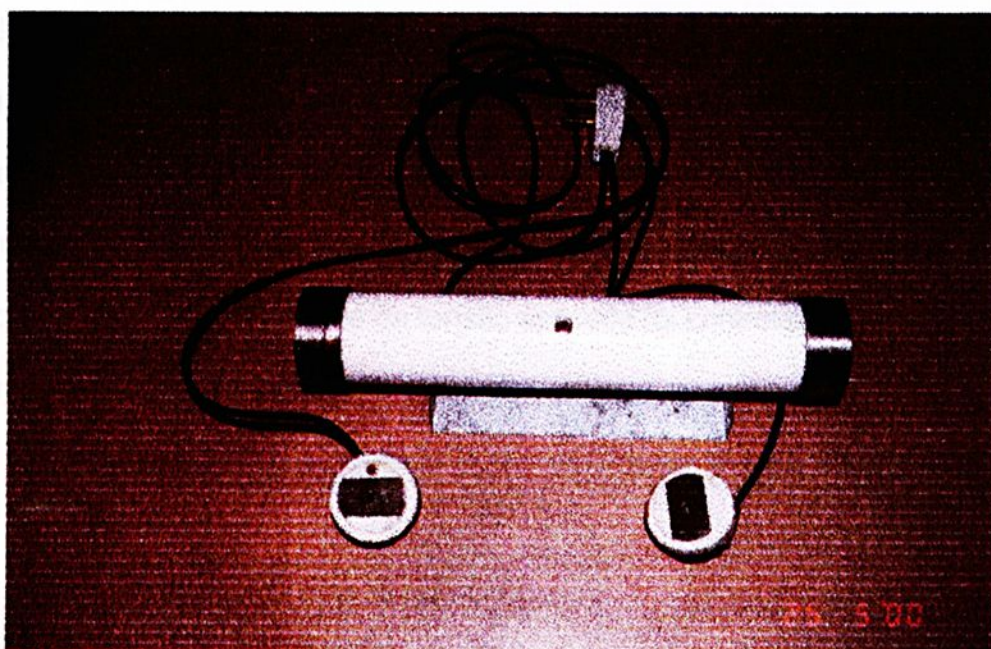


Figura 2- Célula Condutivimétrica

4.2 Métodos

4.2.1 Determinação da condutividade elétrica

4.2.1.1 Através da célula condutivimétrica

No esquema utilizado para a determinação da condutividade elétrica dentro da célula condutivimétrica, (**Figura 3**), um amperímetro marca Minipa foi utilizado na medição da corrente elétrica, um variador de tensão da marca Arije tipo M1410 foi utilizado para a medição da voltagem aplicada, e o termopar tipo T, foi ligado a um registrador de temperatura marca Coel, modelo 752A. A estabilidade da tensão aplicada foi controlada por multímetro também da marca Minipa.

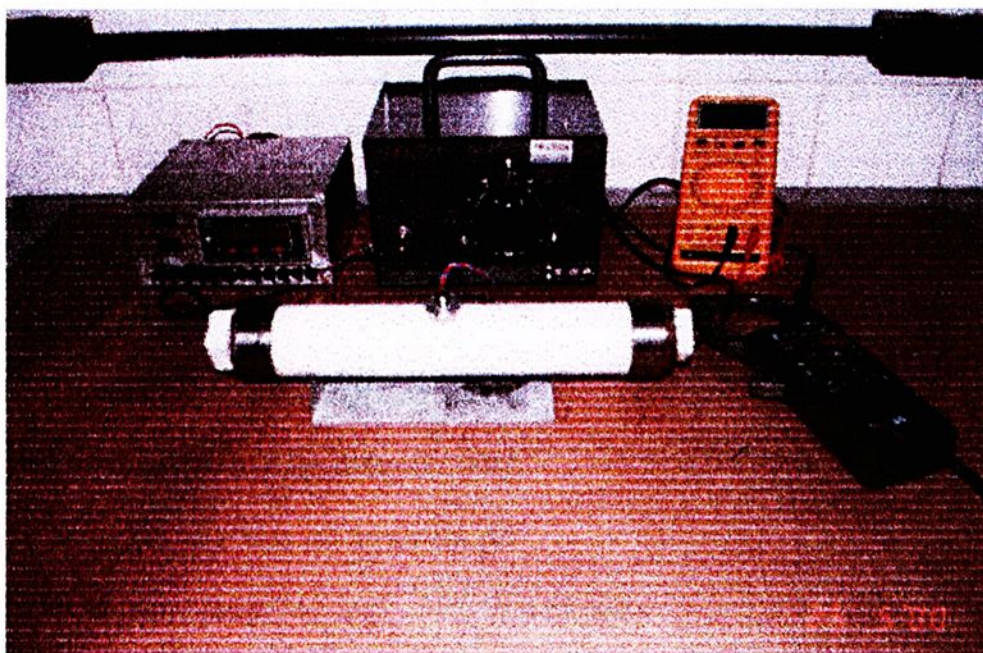


Figura 3- Esquema para a medida da condutividade elétrica na célula condutivimétrica, durante o aquecimento ôhmico.

Com o uso deste esquema, poderemos avaliar o comportamento da condutividade elétrica e a taxa de aquecimento dos sucos, mediante a variação do conteúdo de sólidos, tensão aplicada, viscosidade, tamanho de partículas, bem como a taxa de descongelamento dos sucos.

A condutividade elétrica das amostras será calculada de acordo com os dados obtidos de voltagem e de corrente, aplicando as seguintes equações:

$$Q = I^2 R, \quad \text{onde} \quad (3)$$

$$R = L / (A \sigma), \quad \text{ou} \quad (4)$$

$$\sigma = (1/R) \cdot K_c, \quad \text{onde } K_c (L/A) \text{ ou} \quad (5)$$

$$\sigma = \left(\frac{I}{V} \right) \cdot \left(\frac{L}{A} \right) \quad (6)$$

onde :

Q = calor gerado, (W)

I = corrente, (A)

$R = V/I$ = resistência da amostra, (ohm)

L = comprimento do tubo utilizado, (m)

V = voltagem aplicada na amostra, (V)

A = área (m^2), onde ($A = \pi r^2$, $\pi = 3,14$ e r = raio)

σ = condutividade elétrica, (S/m)

A condutividade elétrica dos sucos poderá ser modelada, segundo Palaniappan & Sastry, (1991b), como uma função linear de temperatura e conteúdo de sólidos. A condutividade elétrica do suco a 25°C foi considerada como valor de referência para a modelagem. Portanto, a equação utilizada por eles foi:

$$\sigma = \sigma_{j25}[1+K_1(T-25)] - K_2s \quad (7)$$

$$q'' = \rho C_p(dT/dt) \text{ ou} \quad (8)$$

$$V^2/(R) = \rho C_p(dT/dt) \text{ e,} \quad (9)$$

$$(dT/dt) = (V^2 \sigma) / (K_c m C_p) \quad (10)$$

onde:

σ_{j25} = condutividade do suco à 25°C, (S/m)

K_1 = constante da compensação de temperatura

K_2 = constante do conteúdo de sólidos

T = temperatura, (°C)

V = voltagem aplicada, (V)

R = resistência, (ohm)

q'' = energia gerada por unidade de volume (W/m³)

t = tempo (s)

ρ = densidade, (Kg/m³)

C_p = calor específico, (J/Kg°C)

s = conteúdo de sólidos, (%)

K_c = constante celular ($K_c = L/A$).

A taxa de aquecimento pode ser calculada assumindo geração uniforme de calor ao longo das amostras e a perda de calor para os arredores, pode ser desprezível.

4.2.1.2 Através de um condutímetro comercial

As amostras dos sucos, em triplicata e com 300ml cada, foram colocadas em um béquer, e aquecidas em uma chapa aquecedora de marca Fisaton modelo 752-A, com temperatura de 100°C. O tempo de aquecimento do produto para que o centro do produto atingisse os 100°C foi cronometrado, com medidas em intervalos de 5°C de temperatura. A condutividade elétrica foi medida através de um condutímetro comercial, marca Analion, modelo C702, devidamente calibrado com as soluções padrões do próprio equipamento.

4.2.2 Determinação dos sólidos solúveis

Os sólidos solúveis foram determinados por refratometria, com o uso de um refratômetro de bancada, com menor divisão de escala de 0,5°Brix, conforme metodologia descrita pelas Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz nº 13.6.1, p.181-183.



4.2.3 Determinação do pH

O pH foi medido através da determinação eletrométrica, conforme as Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz, nº 4.7.2, p.27. 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.

4.2.4 Determinação dos açúcares totais e redutores

Para a determinação dos açúcares foi utilizado o método de Lane Eynon de titulação de oxiredução (AOAC, 1978), sendo realizadas análises em triplicata. Neste método, uma solução alcalina de Cu II, na forma de um complexo de tartarato era titulada com a solução do açúcar redutor, formando o óxido de cobre e o ácido do açúcar. O indicador óxido redutor era o azul de metileno, sendo sua forma reduzida incolor. Uma solução fervente era usada para aumentar a velocidade da reação e prevenir a entrada de oxigênio (que pode reoxidar o azul de metileno) pela formação de corrente de vapor. Da primeira titulação era obtido o conteúdo de açúcares redutores. Uma segunda porção era então aquecida com ácido para hidrolisar os açúcares não redutores, que passavam para a forma de redutores. Titulava-



se então os açúcares totais. A quantidade de açúcares era expressa como porcentagem de glicose.

4.2.5 Determinação da viscosidade aparente

A viscosidade aparente das amostras, em triplicata, do suco de laranja com 11,5, 20, 30, 40, 50 e 63,8°Brix e, suco de manga com 15,5°Brix, com 0,0, 0,5 e 1,0% de enzima, foi medida usando-se um viscosímetro 7578 Rheotest 2.1, com cilindro S2, mola I, medida a 121 rpm, com 25°C de temperatura.

4.2.6 Enzimação do suco de manga

O suco de manga foi enzimado, usando-se 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 0,5 e 1,0 % em volume, sendo as misturas agitadas e deixadas à temperatura ambiente (28°C) por 50 minutos, condições ideais segundo o fabricante.



4.2.7 Variação do tamanho das partículas do suco de manga

Para se obter diferentes tamanhos de partículas do suco de manga, foi utilizado um jogo de peneiras vibratórias, com mesh 0,149, 0,590 e 1,68 mm, agitados por 10 minutos.

4.2.8 Análise estatística dos dados

Para estudar os efeitos causados na condutividade elétrica por diversos fatores, um delineamento inteiramente casualizado foi realizado. Para análise estatística dos dados, inicialmente, foi feita uma análise de variância, com desdobramento dos graus de liberdade dos tratamentos utilizados no aquecimento ôhmico do suco de laranja e manga, de acordo com o esquema fatorial. Para se estudar os efeitos da temperatura (9 tratamentos), com o teor de sólidos (3 tratamentos), com 3 repetições, bem como suas interações na condutividade elétrica do suco de laranja, foi usado o esquema fatorial 9x6x3. As médias dos fatores foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

As mesmas análises também foram feitas para a verificação de outros fatores que influem na condutividade elétrica como os efeitos da voltagem aplicada (9 diferentes temperaturas x 3 diferentes voltagens x 3 repetições), para o tamanho de partículas do suco de manga (10 diferentes



temperaturas x 3 diferentes tamanhos x 3 repetições), para viscosidade do suco de manga (9 diferentes temperaturas x 3 diferentes viscosidades x 3 repetições), para o descongelamento do suco de laranja (6 diferentes temperaturas x 6 diferentes teor de sólidos x 3 repetições), descongelamento do suco de manga (6 diferentes temperatura x 1 teor de sólidos x 3 repetições) e, também para a análise da taxa de aquecimento (diferentes temperaturas x diferentes tempos x 3 repetições) para cada um destes fatores.

Os resultados foram obtidos com a ajuda do software de análise estatística desenvolvido pelo Prof.Dr. Kronka, da UNESP de Jaboticabal – SP, e os gráficos foram feitos com a ajuda do software Excel.



5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Aferição da célula condutivimétrica.

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

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

Solução	Concentração (M)	σ (S/m)	σ (S/m)	Diferença (%)
		Condutivímetro comercial	Célula Condutivimétrica	
NaCl	0.02	0,326	0,346	6,1
	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 medidos foi de 6,1%, os quais consideramos satisfatórios para nosso equipamento.

5.2 Caracterização das matérias-primas

Os sucos de laranja e de manga, foram analisados e caracterizados de acordo com a Tabela 5.2 e Tabela 5.3.

Tabela 5.2- Características físicas e químicas dos sucos de laranja e manga estudados.

Análises	Manga	Laranja
Sólidos Solúveis (°Brix)	15,5	63,8
pH	3,98	3,79
Viscosidade Aparente(Pa.s)	0,137	0,632
Açúcares Totais (%)	12,95	58,24
Açúcares Redutores (%)	4,30	23,63

Tabela 5.3.- Viscosidade aparente do suco de laranja com diferentes concentrações, medida em 121 rpm a 25°C.

°Brix	Viscosidade aparente (Pa.s)
11,5	0,017
20,0	0,019
30,0	0,031
40,0	0,053
50,0	0,109
63,8	0,632

5.3 Influência da temperatura e do teor de sólidos na condutividade elétrica e na taxa de aquecimento ôhmico do suco de laranja

Com o objetivo de verificar o comportamento da condutividade elétrica mediante a variação do teor de sólidos solúveis e com a variação de temperatura, suco de laranja com diferentes concentrações, foi aquecido na célula condutivimétrica. Os valores obtidos representam a média de três repetições e são mostrados na **Figura 4**.

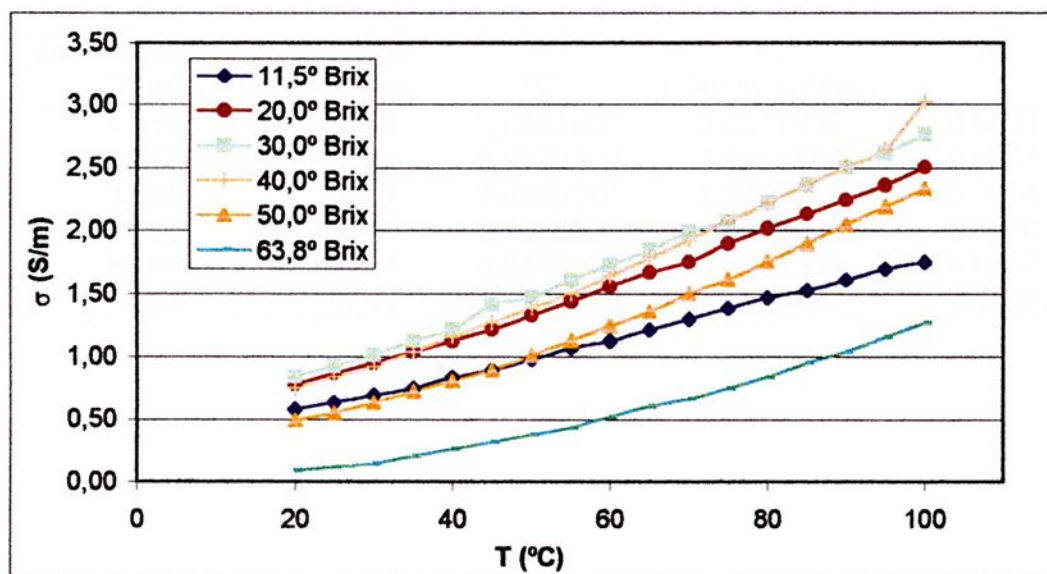


Figura 4- Variação da condutividade elétrica do suco de laranja, aquecido ôhmicamente, com diferentes teores de sólidos e voltagem aplicada de 140V.

A **Tabela 5.4** mostra a condutividade elétrica do suco de laranja a 25°C (σ_{j25}), a constante de temperatura (K_1), a constante do conteúdo de sólidos (K_2) e o coeficiente de determinação (r^2) do modelo linear aplicado para a condutividade elétrica do suco de laranja sob condições de aquecimento ôhmico, conforme equação (7), onde $\sigma_T = \sigma_{j25}[1 + K_1(T - 25)] - K_2S$, sendo a regressão linear, obtida através da análise de dados, com o auxílio do software Statística 5.0.

Tabela 5.4. Parâmetros do modelo de condutividade elétrica

Suco de Laranja (°Brix)	σ_{j25} (S/m)	K_1 (°C) ⁻¹	K_2 (S/m % sólidos)	R^2
11,50	0,63	0,0242997	0,0017839	0,9981
20,00	0,86	0,0252223	0,0019596	0,9963
30,00	0,92	0,0265185	0,0009534	0,9976
40,00	0,83	0,0325065	0,0016961	0,9870
50,00	0,55	0,0425401	0,0013309	0,9895
63,80	0,11	0,1345365	0,0008901	0,9786

As médias de condutividade elétrica, foram submetidas à análise de variância com desdobramento dos graus de liberdade dos 162 tratamentos, de acordo com o esquema fatorial 6x9 com 3 repetições, para se estudar os efeitos da temperatura, do teor de sólidos e das interações temperatura versus teor de sólidos sobre a condutividade elétrica. As médias dos fatores foram comparadas pelo teste de Tukey.

A **Tabela A1** (anexo), apresenta a análise de variância para a variação da condutividade elétrica com a variação dos fatores temperatura, teor de sólidos e as interações entre temperatura versus teor de sólidos. Como observado, houve uma diferença significativa ao nível de 1% ($P < 0,01$) em todos os fatores, demonstrando dependência da condutividade elétrica com a variação dos mesmos, sendo então necessário o desdobramento das interações temperatura versus teor de sólido, **Tabela A2** (anexo). As médias da condutividade elétrica, obtidas no teste de Tukey para os desdobramentos encontram-se na **Tabela 5.5**.



Tabela 5.5- Médias de condutividade elétrica (S/m), obtidas através do desdobramento das interações de temperatura versus concentração, do suco de laranja, aquecido ohmicamente, com 140V de voltagem aplicada.

Temp.(°C)	Sólidos (°Brix)					
	11,5	20	30	40	50	63,8
20	0,56 Ae	0,77 Ag	0,82 Ae	0,76 Af	0,48 Ab	0,09 Be
30	0,68 Ad	0,92 Af	1,01 Af	0,93 Af	0,62 Af	0,15 Be
40	0,82 Ac	1,11 Ae	1,22 Af	0,83 Ae	0,82 Ae	0,26 Bd
50	0,97 Bc	1,32 ABd	1,48 Ae	1,39 Ab	1,00 Bd	0,38 Cc
60	1,12 Cb	1,55 ABc	1,74 Ad	1,65 Ab	1,23 Bc	0,53 Dc
70	1,29 Ca	1,77 ABb	2,00 Ac	1,94 Ac	1,46 Bc	0,68 Db
80	1,47 Ca	2,01 ABa	2,23 Ab	1,57 Cc	1,75 BCb	0,84 Da
90	1,61 Ca	2,24 BCa	2,51 Aa	2,52 Ab	2,03 Bc	1,05 Da
100	1,76 Da	2,49 BCa	2,77 ABa	3,02 Aa	2,31 Ca	1,28 Da

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

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

Observando a **Figura 3** e a **Tabela 5.5**, verificou-se que a condutividade elétrica do suco de laranja aumentou com o aumento da temperatura em todas as amostras.

A condutividade elétrica, em relação a variação do teor de sólidos, aumentou de 11,5°Brix até aproximadamente 30,0°Brix, diminuindo após esta concentração. A análise estatística mostrou que os valores da condutividade elétrica nas concentrações de 20,0, 30,0 e 40,0 °Brix, não diferiram significativamente entre si.

Em estudos realizados por Palaniappan & Sastry (1991b), conclui-se que a condutividade elétrica aumentava linearmente com a temperatura e diminuía com o teor de sólidos. Porém, os autores analisaram somente sucos de laranja e tomate, com teor de sólidos entre 0 a 21%.

Nas pesquisas de Moura et al., (1999), a condutividade elétrica de sucos de limão, tangerina e abacaxi com concentrações de 10 a 55% de sólidos, tiveram comportamento similar ao do suco de laranja com concentrações de 11,5 a 63,8% de sólidos, analisados em nossa célula condutivimétrica, ou seja, aumentou até 30%, diminuindo a partir desta concentração.

Anon (1982), definiu que a condutividade elétrica de líquidos é afetada pela natureza dos íons (composição química), movimentos iônicos e pela viscosidade, os quais são todos dependentes da temperatura. Tem sido reportado que a condutividade elétrica de líquidos aumenta com o aumento da temperatura, oposto para os metais, mas similar ao grafite. O aumento na condutividade elétrica com a temperatura é explicado pela diminuição do arraste iônico. A mobilidade iônica diminui com o aumento do conteúdo de sólidos, os quais podem ser uma das razões na diminuição da condutividade elétrica. O movimento iônico também pode ser dependente do tamanho, forma e orientação das partículas do suco.



Segundo Denaro (1974), a velocidade iônica depende de quatro fatores:

- Intensidade do Campo Elétrico: a corrente passa através da solução em virtude da carga que esta sendo transferida entre os eletrodos. Uma diferença de potencial é reprimida aos eletrodos, o que dá origem a um campo elétrico na solução. Uma partícula carregada situada num campo elétrico sofre a ação de uma força proporcional à intensidade do campo elétrico;
- Viscosidade do solvente: se a única força atuando sobre o íon fosse devido ao campo elétrico, o íon seria continuamente acelerado. O efeito da viscosidade do solvente, que aumenta com a velocidade, opõe-se a força da aceleração. Depois de um curto intervalo de tempo, o íon se move com velocidade uniforme;
- Efeito da assimetria: esse efeito retarda o íon, sua intensidade depende da concentração;
- Efeito eletroforético: este efeito retarda o íon porque aumenta a resistência da viscosidade do solvente, e a intensidade deste depende da concentração.

Quanto à taxa de aquecimento, **Figura 5**, observou-se que sucos muito concentrados, acima de 50,0 °Brix, aquecem mais lentamente. O tempo gasto para elevar a temperatura do suco de laranja de 20 para 100°C foi de aproximadamente 50 minutos para o produto com 11,5 °Brix, enquanto que para 63,8 °Brix este tempo foi de aproximadamente 2 horas. A melhor taxa de aquecimento do suco foi a 30,0 °Brix, cujo tempo de aquecimento foi de 22 minutos.

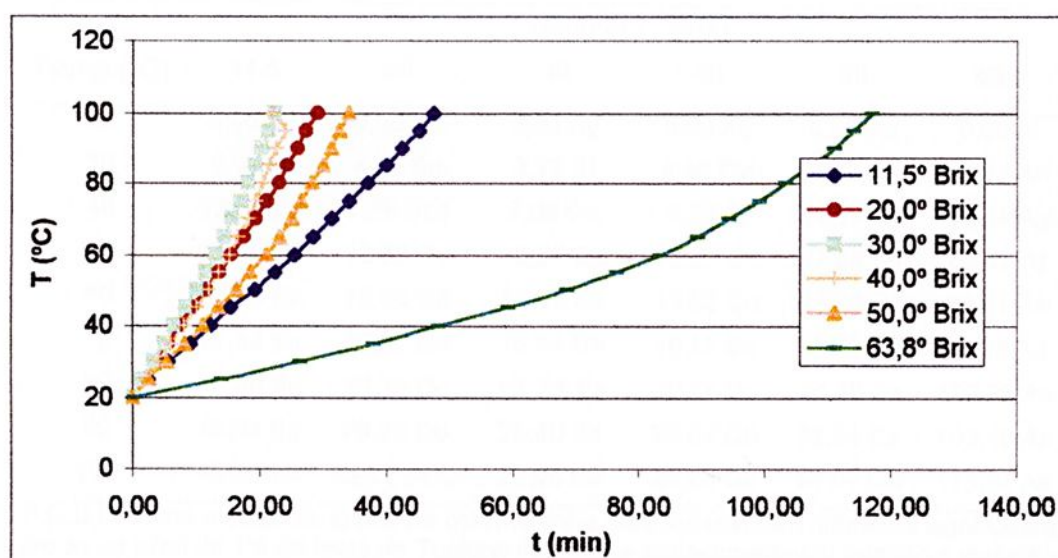


Figura 5- Variação do tempo de aquecimento do suco de laranja, aquecido ohmicamente, com diferentes teores de sólidos e voltagem aplicada de 140V

A Tabela A1 e Tabela A2 (anexo), mostram a análise de variância e os desdobramentos das interações tempo versus temperatura na taxa de aquecimento do suco de laranja. As médias obtidas após o desdobramento estão apresentadas na Tabela 5.6.

Tabela 5.6- Médias da taxa de aquecimento (min), obtidas através das interações de temperatura versus concentração, do suco de laranja, aquecido ohmicamente, com 140V de voltagem aplicada.

Temp.(°C)	Sólidos (° Brix)					
	11,5	20	30	40	50	63,8
20	0,00 Ag	0,00 Ah	0,00 Ag	0,00 Ag	0,00 Ag	0,00 Ai
30	6,09 Bf	4,06 Bg	3,33 Bf	4,30 Bfg	6,03 Bf	26,21 Ah
40	12,40 Be	7,59 BCf	7,08 Ce	8,33 Bf	12,07 Be	48,34 Ag
50	19,29 Bd	12,07 Ce	10,05 Cd	12,29 Ce	17,38 Bd	67,42 Af
60	26,03 Bc	16,05 Cd	13,08 Cc	15,22 Cd	21,48 Bc	82,21 Ae
70	31,53 Bb	19,42 Dc	15,34 Db	18,18 Dc	25,42 Cb	93,28 Ad
80	37,00 Bb	23,33 Dc	18,24 Ea	20,44 Dc	29,29 Ca	102,27 Ac
90	43,04 Ba	26,30 Db	20,40 Ea	23,07 Db	32,35 Ca	109,49 Ab
100	48,04 Aa	29,01 CDa	22,03 Ea	25,23 Da	34,07 Ca	115,37 Aa

A,B,C,D,E: letras maiúscula iguais na mesma linha, não apresentam diferença significativa entre si, ao nível de 1% do teste de Tuckey, na taxa de aquecimento em relação a variação do teor de sólidos.

a,b,c,d,e,f,g,h,i: letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, mostram diferença significativa entre si, ao nível de 1 % do teste de Tukey, na taxa de aquecimento em relação a variação da temperatura.

5.4 Influência da voltagem aplicada na condutividade elétrica e na taxa de aquecimento ôhmico do suco de laranja

Observou-se que quanto maior a voltagem aplicada, maior a condutividade elétrica e melhor foi taxa de aquecimento do suco de laranja, **Figura 6 e Figura 7.**

Usando uma voltagem aplicada de 140 V, o tempo de residência do produto na célula condutivimétrica foi de aproximadamente 48 minutos, para que a temperatura fosse elevada de 20 para 100°C, porém, a 130 V este tempo passou para 72 minutos, e, a 100 V, o tempo de residência foi de aproximadamente 240 minutos, escurecendo o produto e comprometendo sua qualidade.



Figura 7: Voltagem no tempo de aquecimento do suco de laranja a 11,0% de sólidos totais dissolvidos com diferentes voltagens aplicadas.

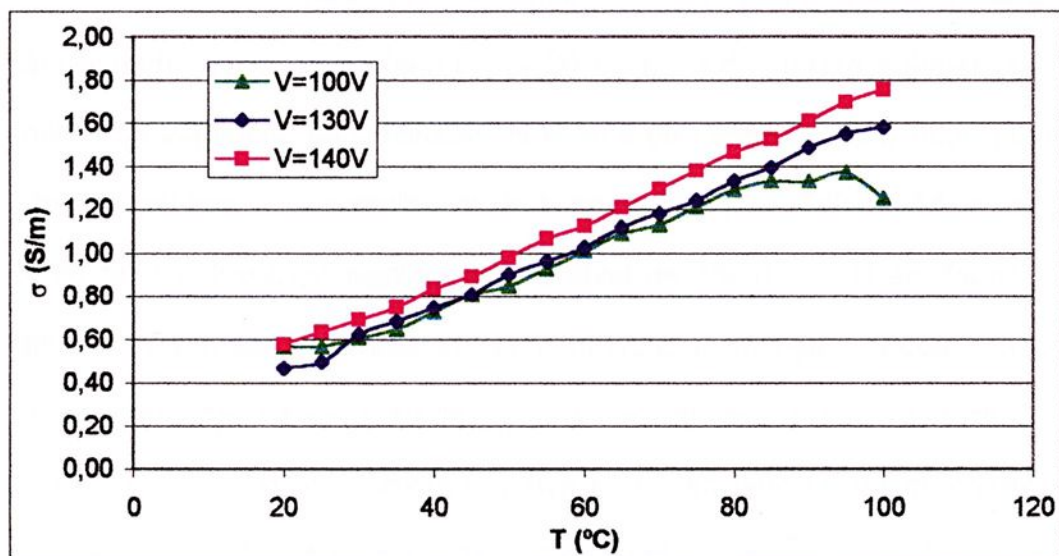


Figura 6- Variação da condutividade elétrica do suco de laranja a 11,5° Brix, aquecido ohmicamente, com diferentes voltagens aplicadas.

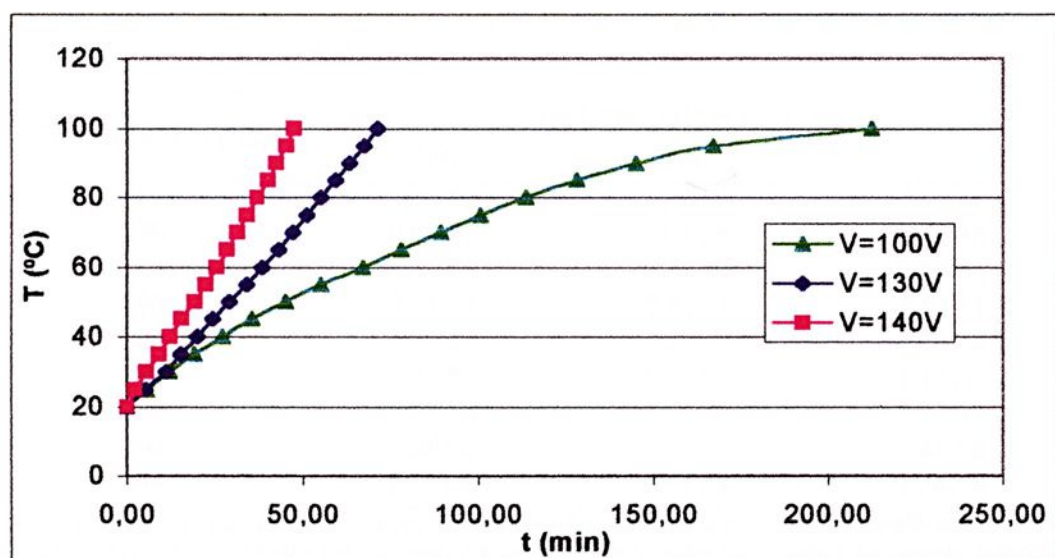


Figura 7- Variação do tempo de aquecimento do suco de laranja a 11,5° Brix, aquecido ohmicamente, com diferentes voltagens aplicadas

As médias de condutividade elétrica e do tempo gasto para o aquecimento do suco de laranja de 20 para 100°C, foram submetidas à análise de variância, para estudar os efeitos da voltagem na condutividade elétrica e na taxa de aquecimento do suco de laranja e, **Tabela A3** (anexo). Como houve diferença significativa ao nível de 1% ($P < 0,01$) em todos os fatores, mostrando dependência da temperatura, voltagem aplicada e de ambas interações na variação da condutividade elétrica do suco de laranja, e também na taxa de aquecimento, houve a necessidade de desdobramento dos dados, **Tabela A4** (anexo). As médias analisadas pelo teste de Tuckey, são mostradas na **Tabela 5.7.** e **Tabela 5.8.**

Tabela 5.7- Médias da condutividade elétrica (S/m), obtidas através do desdobramento das interações de voltagem aplicada versus temperatura, do suco de laranja 11,5°Brix, aquecido ohmicamente.

Temperatura (°C)	Voltagem Aplicada (V)		
	100	130	140
20	0,56 Ag	0,47 Bi	0,56 Ai
30	0,60 Bg	0,61 Bh	0,68 Ah
40	0,72 Bf	0,75 Bg	0,82 Ag
50	0,88 Be	0,91 Bf	0,97 Af
60	0,88 Bd	0,91 Be	0,97 Ae
70	1,02 Bc	1,03 Bd	1,12 Ad
80	1,20 Cab	1,35 Bc	1,29 Ac
90	1,36 Ca	1,50 Bb	1,61 Ab
100	1,25 Cb	1,60 Ba	1,76 Aa

A,B,C: letras maiúsculas iguais na mesma linha não apresentam diferença significativa, entre si, ao nível de 1 % no teste de Tuckey, na condutividade elétrica do suco de laranja quando variada a voltagem aplicada.

a,b,c,d,e,f,g,h,i: letras minúsculas diferentes na mesma coluna, indicam diferença significativa entre si, ao nível de 1 % no teste de Tukey, na condutividade elétrica do suco de laranja quando variada a temperatura de aquecimento.

Tabela 5.8- Médias da taxa de aquecimento (min), do suco de laranja 11,5°Brix, obtidas através do desdobramento das interações da voltagem aplicada versus temperatura.

Temperatura (°C)	Voltagem Aplicada (V)		
	100	130	140
20	00,00 Ai	00,00 Ai	00,00 Ai
30	12,17 Ah	11,11 Ah	06,09 Ah
40	27,35 Ag	20,08 Bfg	12,40 Cg
50	45,11 Af	29,26 Bf	19,29 Cf
60	67,28 Ae	39,06 Be	26,02 Ce
70	89,12 Ad	47,44 Bd	31,53 Cd
80	114,05 Ac	56,01 Bc	37,00 Cc
90	145,25 Ab	64,17 Bb	43,05 Cb
100	213,07 Aa	72,05 Ba	48,05 Ca

A,B,C- letras maiúsculas iguais na mesma linha não apresentam diferença significativa, entre si, ao nível de 1 % no teste de Tuckey, na taxa de aquecimento do suco de laranja quando variada a voltagem aplicada.

a,b,c,d,e,f,g,h,i: letras minúsculas diferentes na mesma coluna, indicam diferença significativa entre si, ao nível de 1 % no teste de Tukey, na taxa de aquecimento do suco de laranja quando variada a temperatura de aquecimento.

5.5 Influência do tamanho das partículas na condutividade elétrica e na taxa de aquecimento ôhmico do suco de manga

A **Figura 8**, mostra a influência do tamanho das partículas no suco de manga. Os fatores temperatura, tamanho de partículas e as interações temperatura versus tamanho de partículas, agem dependentemente sobre a condutividade elétrica do suco de manga, apresentando diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidade ($P < 0,01$), grau de confiabilidade de 99%, como pode ser verificado na análise de variância, **Tabela A5** (anexo).

Em todas as amostras verificou-se um aumento da condutividade elétrica com o aumento da temperatura, e uma tendência na diminuição da condutividade, com o aumento do tamanho das partículas.

Na **Tabela 5.9**, verifica-se as médias de condutividade elétrica, obtidas através do teste de Tukey no desdobramento das interações temperatura versus tamanho de partículas.

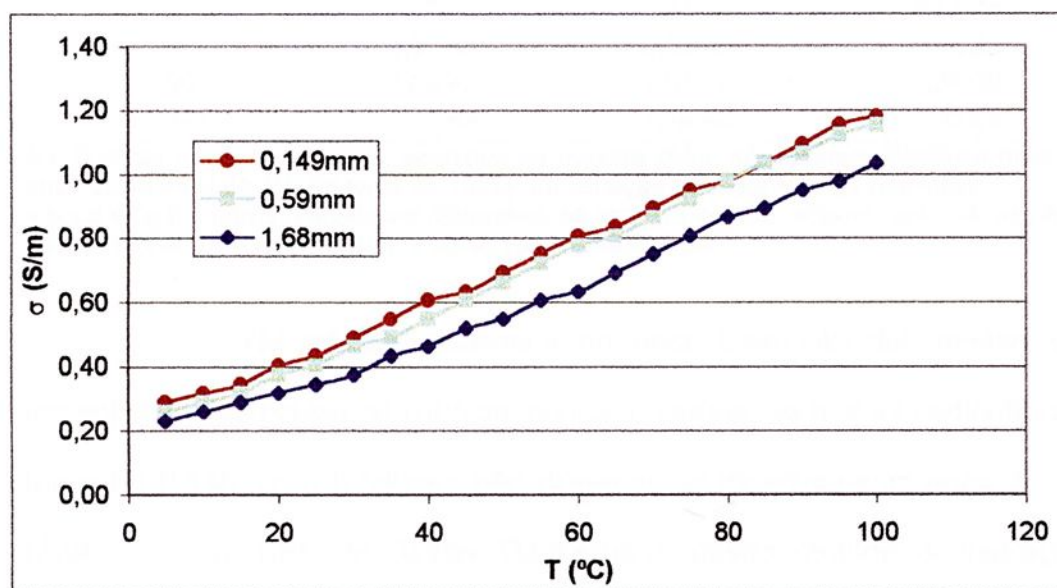


Figura 8- Variação da condutividade elétrica do suco de manga, aquecido ohmicamente, com diferentes tamanhos de partículas e voltagem aplicada de 140V

Tabela 5.9- Médias da condutividade elétrica (S/m), obtidas através do desdobramento das interações de tamanho das partículas versus temperatura, do suco de manga, aquecido ohmicamente, com 140V de voltagem aplicada.

Temperatura (°C)	Tamanho de Partículas (mm)		
	0,149	0,590	1,680
10	0,31 Aj	0,28 ABj	0,25 Bj
20	0,39 Ai	0,36 Ai	0,31 Bi
30	0,48 Ah	0,46 Ah	0,38 Bh
40	0,59 Ag	0,55 Bg	0,49 Cg
50	0,68 Af	0,65 Af	0,56 Bf
60	0,78 Ae	0,77 Ae	0,62 Be
70	0,86 Ad	0,87 Ad	0,74 Bd
80	0,97 Ac	0,99 Ac	0,85 Bc
90	1,09 Ab	1,07 Ab	0,96 Bb
100	1,17 Aa	1,16 Aa	1,05 Ba

A,B,C:letras maiúsculas iguais, seguidas na mesma linha, não diferem significativamente entre si, ao nível de 1%, no teste de Tukey, na variação do tamanho das partículas.

a,b,c,d,e,f,g,h,i: letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, diferem entre si, ao nível de 1% no teste de Tukey, quanto a variação da temperatura.

Na análise estatística do desdobramento das médias do tamanho das partículas do suco de manga, observou-se que as partículas de tamanho 0,149mm e 0,590mm não diferiram significativamente entre si, ao nível de 5%, no teste de Tuckey. Os dados do desdobramento da interação temperatura versus tamanho da partícula, **Tabela A6** (anexo).

Palaniappan & Sastry (1991b), observaram que desde que o conteúdo de sólidos seja o mesmo para todas as amostras, o aumento da condutividade com a redução do tamanho da partícula é devido a redução do arraste dos íons em movimento. Outra reação a ser considerada seria o

possível lançamento de fluidos intracelulares, os quais podem aumentar a condutividade global/efetiva dos sucos, como puderam observar nos tecidos de cenoura em solução. Esta dependência do tamanho da partícula, segundo os autores, é provavelmente devido a sua estrutura e aos efeitos químicos. Porém, afirmaram que são necessários outros trabalhos para se estudar outros fatores que poderiam afetar a condutividade, como a forma e a orientação destas partículas.

A taxa de aquecimento, **Figura 9**, não variou com o tamanho das partículas do suco de manga.

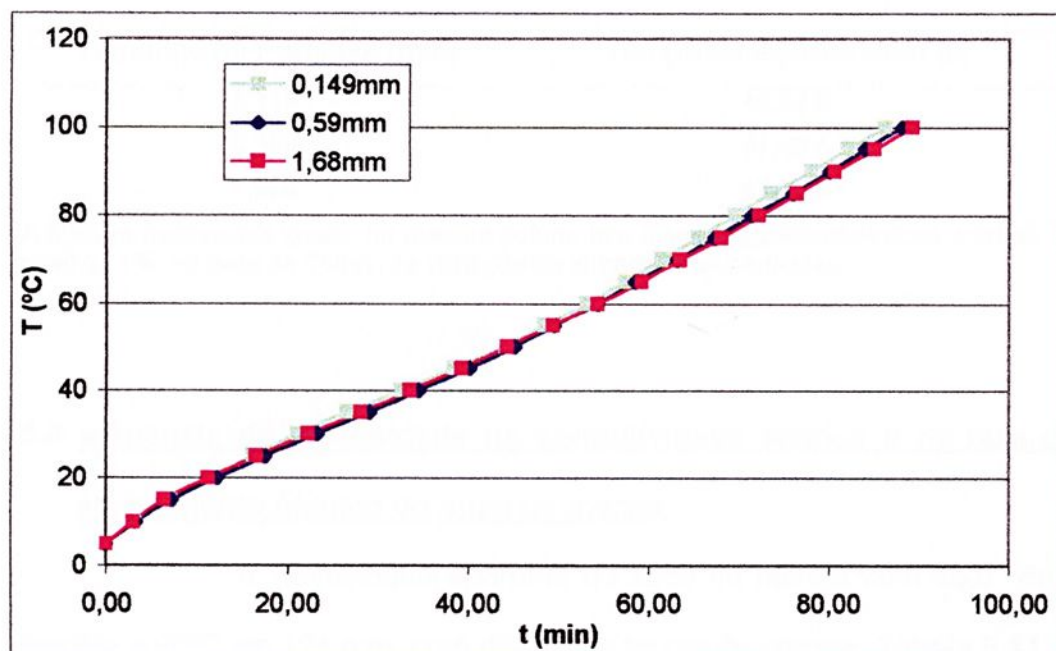


Figura 9- Tempo de aquecimento do suco de manga, aquecido ohmicamente, com diferentes tamanhos de partículas e voltagem de 140V

As médias obtidas através da análise estatística dos dados, mostraram que os fatores temperatura e tamanho das partículas agem independentemente na taxa de aquecimento, ao nível de 1 % de probabilidade ($P < 0,01$), **Tabela A5** (anexo). A melhor taxa de aquecimento ocorreu com o menor tamanho de partícula, ou seja, 0,149 mm. As partículas com diâmetro 0,590 e 1,680 mm não diferiram significativamente entre si, **Tabela 5.10**.

Tabela 5.10- Médias das taxas de aquecimento (min), do suco de manga com diferentes tamanhos de partículas, aquecido ohmicamente, com 140V de voltagem aplicada.

Tamanho de Partícula (mm)	Tempo de aquecimento (s)
0,149	46,32 B
0,590	47,40 A
1,680	47,25 A

A,B;letras maiúsculas iguais, na mesma coluna não diferem significativamente entre si, ao nível de 1%, no teste de Tukey, na variação do tamanho das partículas.

5.6 Influência da viscosidade na condutividade elétrica e na taxa de aquecimento ôhmico do suco de manga

A viscosidade aparente do suco de manga com 15,5 °Brix, medida a 25°C em 121 rpm, com diferentes teores de enzima, **Tabela 5.11**.

Tabela 5.11- Viscosidade aparente do suco de manga, com diferentes porcentagens de enzima.

Teor de enzima (%)	Viscosidade (Pa.s)
0,0	0,137
0,5	0,053
1,0	0,048

Na análise de variância, **Tabela A7**(anexo), verificou-se que tanto o teor de enzima, que atua diretamente na viscosidade do suco, quanto a temperatura de aquecimento, agem dependentemente na variação da condutividade elétrica, ao nível de 1%. O desdobramento das interações, esta na **Tabela A8** (anexo), e as médias do desdobramento das interações teor de enzima versus temperatura para a condutividade elétrica, podem ser verificadas na **Tabela 5.12**.

Tabela 5.12-Médias de condutividade elétrica (S/m) obtidas através do desdobramento das interações de porcentagem de enzima aplicada versus temperatura, do suco de manga, aquecido ohmicamente, com 140V de voltagem aplicada

Temperatura (°C)	Enzimação (%)		
	0,0	0,5	1,0
20	0,31 C i	0,52 Bi	0,65 Ai
30	0,38 Ch	0,63 Bh	0,80 Ah
40	0,49 Cg	0,77 Bg	0,94 Ag
50	0,56 Cf	0,89 Bf	1,11 Af
60	0,62 Ce	1,03 Be	1,27 Ae
70	0,74 Cd	1,14 Bd	1,50 Ad
80	0,85 Cc	1,28 Bc	1,65 Ac
90	0,96 Cb	1,38 Bb	1,77 Ab
100	1,05 Ca	1,43 Ba	1,93 Aa

A,B,C: letras maiúsculas diferentes na mesma linha, indicam que as médias de condutividade elétrica diferem significativamente entre si, ao nível de 1% no teste de Tukey, quando variada a viscosidade através do teor de enzima no suco de manga
a,b,c,d,e,f,g,h,i: letras minúsculas diferentes na mesma coluna, indicam que as médias de condutividade elétrica diferem entre si, ao nível de 1% no teste de Tukey, quando variada a temperatura de aquecimento do suco de manga

Quanto a taxa de aquecimento, quanto menos viscoso o produto, mais rapidamente o mesmo foi aquecido. As análises de variância da taxa de aquecimento podem ser verificadas na **Tabela A7** (anexo), e os desdobramentos das interações na **Tabela A8** (anexo). As médias de aquecimento, em minutos, podem ser verificadas na **Tabela 5.13**.

Tabela 5.13- Médias da taxa de aquecimento (min), obtidas através do desdobramento das interações de temperatura versus porcentagem de enzima aplicada no suco de manga, aquecido ohmicamente, com 140V de voltagem aplicada.

Temperatura (°C)	Teor de Enzima (%)		
	0,0	0,5	1,0
20	00,00 Ai	00,00 Ai	00,00 Ai
30	11,06 Ah	06,47 Bh	06,18 Bh
40	22,21 Ag	13,36 Bg	11,26 Cg
50	33,26 Af	21,31 Bf	17,08 Cf
60	43,23 Ae	26,01 Be	22,12 Ce
70	52,08 Ad	31,06 Bd	26,18 Cd
80	60,34 Ac	36,13 Bc	30,13 Cc
90	69,38 Ab	41,22 Bb	34,19 Cb
100	77,35 Aa	47,10 Ba	38,20 Ca

A,B,C: letras maiúsculas diferentes na mesma linha, indicam que a variação da viscosidade interfere significativamente na taxa de aquecimento, ao nível de 1% no teste de Tuckey.
a,b,c,d,e,f,g,h,i: letras minúsculas diferentes na mesma coluna, indicam que as variações da temperatura interferem significativamente na taxa de aquecimento, ao nível de 1% no teste de Tuckey,

5.7 Influência da condutividade elétrica e da taxa de aquecimento no descongelamento ôhmico de sucos

Quanto ao descongelamento ôhmico, **Figura 10**, observamos que o comportamento da condutividade elétrica é o mesmo, ou seja, a condutividade elétrica aumenta até 30°Brix, quando então, começa a decair.

Quanto ao tempo de descongelamento, **Figura 11**, verificou-se que, quanto menor foi o teor de sólidos, maior foi o tempo de retenção em determinadas temperaturas. O suco de laranja com 11,5 °Brix, demorou até

20 minutos para que sua temperatura elevasse em 1°C , entre -6 e -5°C . Porém, esse tempo tornou-se muito pequeno quando a temperatura atingiu aproximadamente -2°C , chegando a 25 segundos para elevar a temperatura em 1°C . O mesmo comportamento já não ocorre com o suco concentrado, visto que o tempo de retenção é praticamente constante para todos os pontos de -18 a 5°C , atingindo 22 minutos total de retenção. Para o suco com $11,5^{\circ}\text{Brix}$, o tempo de retenção total foi de 96 minutos.

Este fato é devido ao calor latente, onde há mudança de fase, com pouca ou nenhuma variação de temperatura, logo em seguida tem-se a fase calor sensível, onde há mudança de temperatura, sem que haja mudança de fase, ou seja, depois do degelo, o líquido começa a ser aquecido novamente.

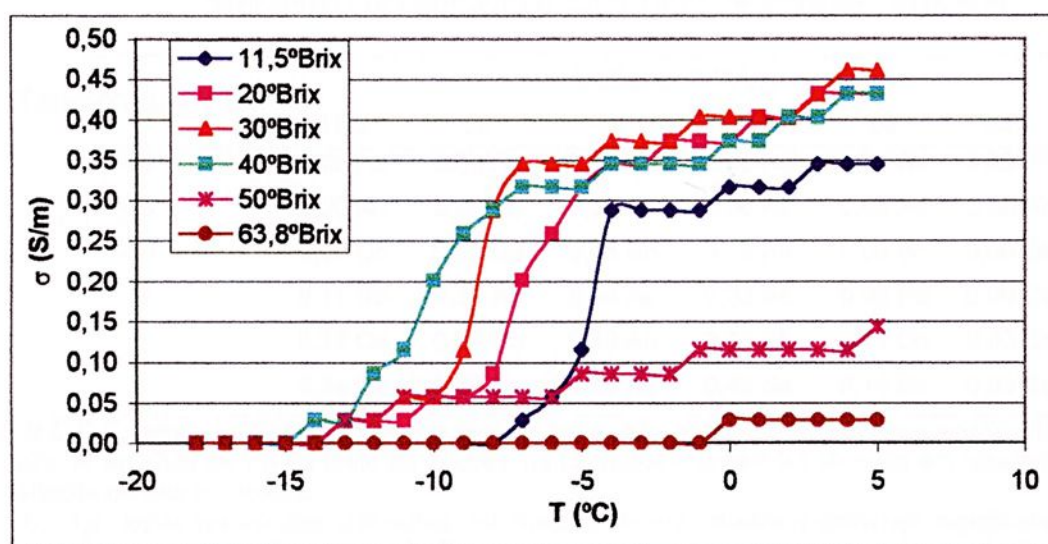


Figura 10-Variação da condutividade elétrica no descongelamento de suco de laranja concentrado e diluído a voltagem aplicada de 140V

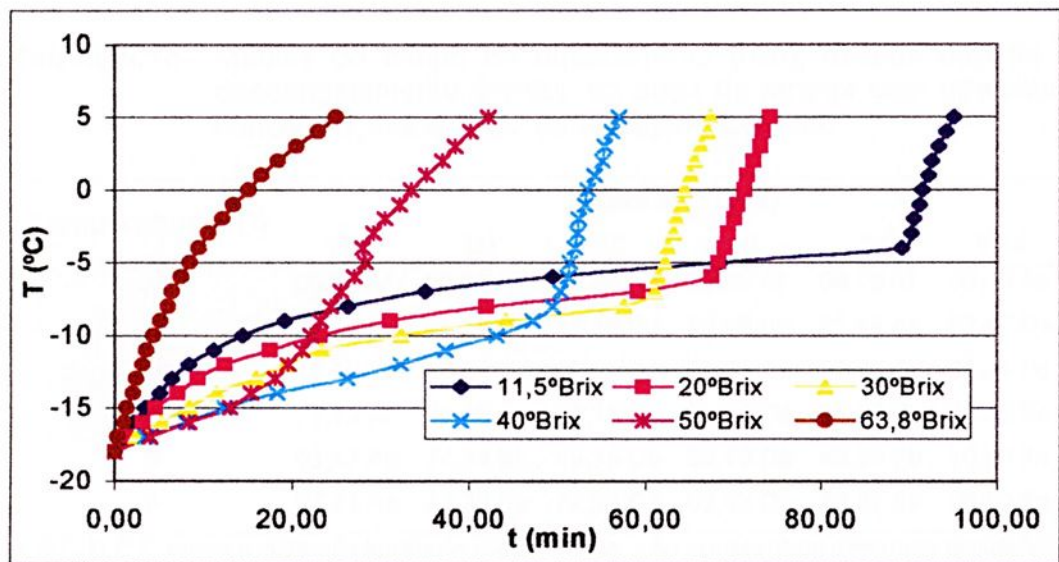


Figura 11- Taxa de descongelamento ôhmico do suco de laranja, com diferentes concentrações e voltagem aplicada de 140V

Tabela 5.14- Médias de condutividade elétrica (S/m) obtidas durante o processo de descongelamento ôhmico de suco de laranja com diferentes concentrações, com 140V de voltagem aplicada.

Temperatura (°C)	Sólidos (° Brix)					
	11,5	20	30	40	50	63,8
-20	0,00 Ac	0,00 Ae	0,00 Ae	0,00 Ae	0,00 Ad	0,00 Ab
-15	0,00 Ac	0,00 Ae	0,00 Ae	0,00 Ae	0,00 Ad	0,00 Ab
-10	0,00 Dc	0,03 Cd	0,06 Bd	0,18 Ad	0,06 Bc	0,00 Db
-5	0,11 Bb	0,31 Ac	0,34 Ac	0,32 Ac	0,09 Bb	0,00 Cb
0	0,32 Ca	0,37 Bb	0,40 Ab	0,37 Bb	0,11 Db	0,03 Ea
5	0,34 Ca	0,43 Ba	0,46 Aa	0,43 Ba	0,14 Da	0,03 Ea

A,B,C,D,E: letras maiúscula iguais na mesma linha, não apresentam diferença significativa entre si, ao nível de 1% do teste de Tuckey, na condutividade elétrica do suco em relação a variação do teor de sólidos.

a,b,c,d,e: letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, mostram diferença significativa entre si, ao nível de 1 % do teste de Tukey, na condutividade elétrica do suco em relação a variação da temperatura.

Tabela 5.15- Médias do tempo de aquecimento (min), obtidas durante o descongelamento ôhmico do suco de laranja com diferentes concentrações e 140V de voltagem aplicada.

Temperatura (°C)	Sólidos (° Brix)					
	11,5	20	30	40	50	63,8
-20	00,00 Af	00,00 Af	00,00 Ae	00,00 Af	00,00 Af	00,00 Ae
-15	05,44 Ce	08,19 Ce	13,18 Bd	19,15 Ae	21,14 Ae	02,47 De
-10	17,10 Ed	26,24 Dd	37,07 Bc	49,01 Ad	30,23 Cd	05,44 Fd
-5	71,13 Ac	71,45 Ac	67,15 Bb	58,15 Cc	36,20 Dc	09,52 Ec
0	93,47 Ab	74,34 Bb	69,36 Cb	60,15 Db	43,36 Eb	16,23 Fb
5	97,31 Aa	77,32 Ba	72,29 Ca	63,02 Da	52,27 Ea	26,02 Fa

A,B,C,D,E,F: letras maiúscula iguais na mesma linha, não apresentam diferença significativa entre si, ao nível de 1% do teste de Tuckey, na taxa de aquecimento do suco em relação a variação do teor de sólidos.
a,b,c,d,e,f: letras minúsculas diferentes, na mesma coluna, mostram diferença significativa entre si, ao nível de 1 % do teste de Tukey, na taxa de aquecimento do suco em relação a variação da temperatura.

Comparando o descongelamento do suco de laranja 11,5°Brix, com o suco de manga a 15,5°Brix, podemos observar que a condutividade elétrica do suco de manga foi menor devido as diferença de viscosidade e de pH entre os dois sucos. O suco de laranja apresenta viscosidade aparente, medida a 121 rpm, de 0,017 Pa.s, enquanto que no suco de manga, o valor é de 0,137 Pa.s. A diferença de pH entre os dois sucos, laranja 3,79 e manga 3,98 também contribuiu para a variação da condutividade elétrica.

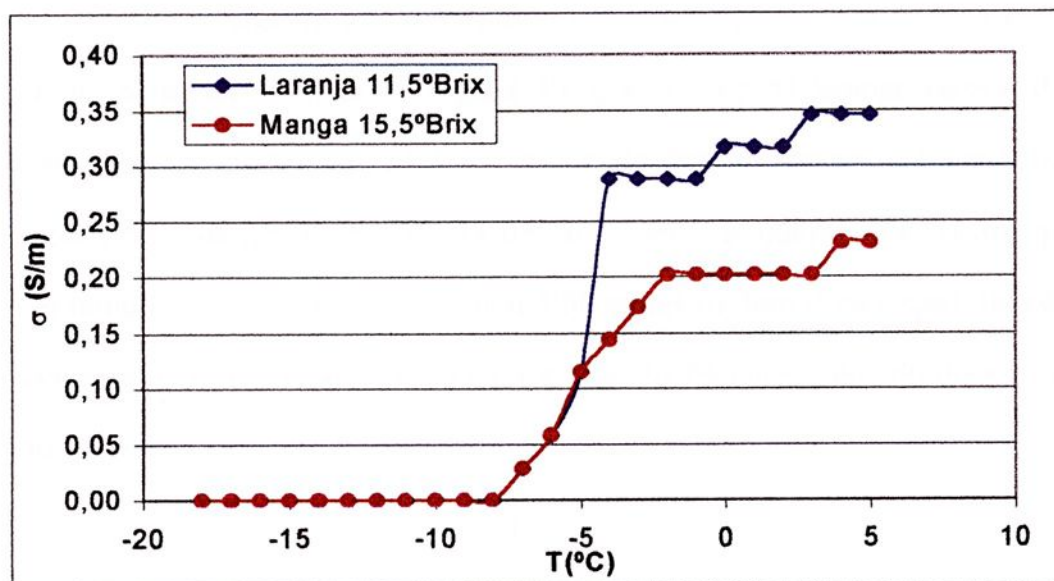


Figura 12- Variação da condutividade elétrica no descongelamento de sucos com voltagem aplicada de 140V

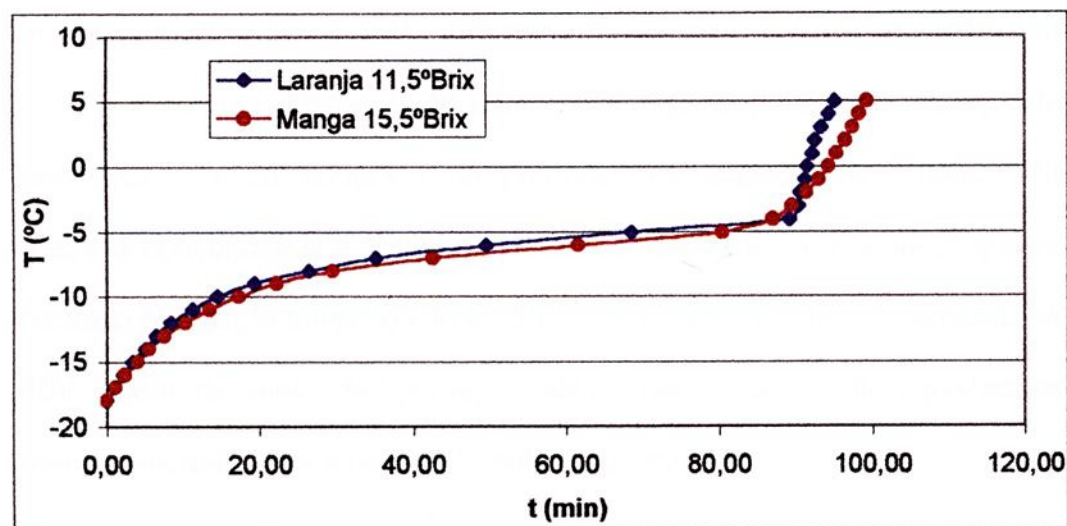


Figura 13- Descongelamento de sucos em função do tempo e da voltagem aplicada de 140V

Quanto a taxa de descongelamento do suco de laranja e de manga, podemos verificar na **Figura 13**, que o suco de laranja, apesar de apresentar um ponto de calor latente maior (gasta aproximadamente 63 minutos para elevar a temperatura de -8 a -4°C), enquanto que na manga este tempo é menor (aproximadamente 58 minutos), tem a vantagem de ser menos viscoso que o suco de manga, o que acaba compensando durante o aquecimento.

5.8 Aquecimento de forma convencional

Para aquecer o suco de laranja com $63,8^{\circ}\text{Brix}$, elevando a temperatura de 20 a 100°C , utilizando como meio de aquecimento uma manta aquecedora, observou-se que o tempo gasto para esta operação foi maior que o suco aquecido no processo de aquecimento ôhmico. No processo convencional o tempo gasto foi de 153 minutos, enquanto que no processo ôhmico, o tempo gasto foi de 115 minutos, com tensão aplicada de 140V . Além de mais demorado, o aquecimento na manta aquecedora, provocou incrustações e escurecimento do produto.



6. CONCLUSÕES

A partir da investigação experimental deste trabalho, e da análise dos resultados podemos concluir que:

- A condutividade elétrica dos sucos de laranja e de manga, aumentou com o aumento de temperatura.
- A condutividade elétrica do suco de laranja, aumentou até 30°Brix, decaindo após esta concentração.
- A condutividade elétrica do suco de laranja aumentou com o aumento da voltagem aplicada.
- A condutividade elétrica do suco de manga aumentou com a diminuição da viscosidade.
- A condutividade elétrica do suco de manga diminui com o aumento do tamanho de partículas.
- A taxa de aquecimento do suco de laranja com diferentes concentrações, apresentou comportamento inverso ao da condutividade elétrica. Diminui até 30°Brix, e começou a

aumentar após esta concentração. O suco de laranja, com 30°Brix, apresentou a melhor taxa de aquecimento.

- Quanto maior foi a voltagem aplicada, melhor foi a taxa de aquecimento. O produto aquecido em voltagens mais altas, apresentou qualidade superior nos fatores cor e aroma.
- As partículas aqui estudadas não diferiram significativamente quanto a taxa de aquecimento, mas indicaram que há uma tendência de que quanto menor for a partícula, menor será a taxa de aquecimento.
- Quanto menor foi o teor de sólido do suco de laranja, mais alta foi a taxa de descongelamento do produto, devido ao calor latente.
- O suco de laranja aquecido em manta aquecedora, aqui considerado como convencional, apresentou taxa de aquecimento superior ao produto aquecido por processo ôhmico, além de ocorrer incrustações e escurecimento do produto.

7. SUGESTÕES

Como sugestões para o desenvolvimento de outros trabalhos de pesquisa, temos:

- Determinar a variação da condutividade elétrica em outras variedades de manga, como por exemplo, variedades mais fibrosas;
- Trabalhar com diferentes pH e partículas com maior variação no tamanho; para conhecer melhor a influência que estes parâmetros exercem sobre a condutividade elétrica;
- Realizar acompanhamento microbiológico, visando conhecer a redução microbiana durante o processamento por aquecimento ôhmico;
- Trabalhar com voltagem aplicada maior, principalmente no descongelamento, visando diminuir o tempo de retenção do produto no aquecedor, analisando os efeitos deste aumento na condutividade elétrica e na qualidade final dos sucos.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABECITRUS – Associação Brasileira dos Exportadores de Cítricos. Exportação Série Histórica. Disponível em <<http://www.abecitrus.com.br>>. Acesso em: julho de 2000.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis AOAC International**, 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 eletroconductive heating. **J. Food Techonol.**, v. 10, p. 281-288, 1975.

ANON. Theory and application of electrolytic conductivity measurement, **The Foxboro Company**, Foxboro, MA (unpublished), 1982, apud PALANIAPPAN, S., SASTRY, S.K. Eletrical conductivity of selected juices: influences of temperature, solids contend, appllied voltage and particle size. **J. Food Proc. Eng.**, v.14, p.247-260, 1991b.

CUNHA, G.A.P., SAMPAIO, J.M.M., NASCIMENTO, A.S. FILHO, H.P.S., MEDINA, V.M. Manga para exportação: aspectos técnicos da produção. **Flores e Plantas Ornamentais, FRUPEX. EMBRAPA-SP**, Brasília, p. 8-13, 1994.

DE ALWIS, A.A.P., FRYER, P.J. Preliminary experiments on the ohmic heating of foods. **Proceedings of the 2nd UK National Heat Transfer Conference**, University of Strathclyde, 1988.

DE ALWIS, A.A.P., HALDEN, K., FRYER, J.P. Shape and conductivity effects in the ohmic heating of foods. **Chem. Eng. Res. Des.** V. 67, p. 159-168, 1989.

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

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

DENARO, A.R., **Fundamentos de eletroquímica**; tradução: Juergen Heinrich Maar. São Paulo, Edgard Blucher, Ed. da Universidade de São Paulo, p.20-21, 1974.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – FIBGE, Pesquisa de orçamento familiar, Série relatórios metodológicos, Aspectos de amostragem, Rio de Janeiro, v.10.03, 1992.

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

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



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: Ohmic heating for thermal processing of foods: Government, Industry, and Academic Perspectives. **Food Technol.**, p. 253-261, May 1996.

LARKIN, J.W., SPINAK, S.H. Safety considerations for ohmically heated, aseptically processed, multiphase low-acid food products. Overview: Ohmic heating for thermal processing of foods: Government, Industry, and Academic Perspectives – **Food Technol.**, p.242-243, May 1996.

MITCHELL, F.R.G., De ALWIS, A.A.P. Eletrical conductivity meter for food samples. **J. Phisy.**, v.22, p. 554-556, 1989.

MIZRAHI, S. KOPELMAN, I.J., PERLMAN, J. Blanching by eletroconductive heating. **J. Food Technol.**, v. 10, p. 281-288, 1975.

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

MUKHERJEE, S.K. Current advances on mango research around **The Word Horticultural**, v. 57, p. 37-41, 1976.

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

PALANIAPPAN, S., SASTRY, S.K, Richter, E.R. Effects of electricity on microorganisms: A review. **J.Food Proc. Preserv.**, v. 14, p. 393-414., 1990.



PALANIAPPAN, S. & SASTRY, S.K. Eletrical conductivity of selected solid foods during ohmic heating. **J. Food Process Eng.**, v.14, p. 2321-2360, 1991a.

PALANIAPPAN, S. & SASTRY, S.K. Eletrical conductivity of selected juices: influences of temperature, solids contend, appllied voltage and particle size. **J. Food Proc. Eng.**, v. 14, p. 247-260, 1991b.

PARROT, D. L. Use of ohmic heating for aseptic processing of food particulates. Overview: Dielectric and Ohmic Sterilization. **Food Technol.**, v. 10, p. 68-72, December 1992.

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

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

SAMPAIO, J.M.M. Características gerais de alguns cultivares e tipos de mangueiras no Brasil. **1º Simpósio brasileiro sobre a cultura da mangueira**, Jaboticabal, p. 47, 1980.

SASTRY, S.K., PALANIAPPAN, S. Ohmic Healing of Liquid-Particle Mixtures, **Food Technol.**, p., 64-67, 1992.



STIRLING, R. Ohmic heating – A new process for the food industry. **Power Eng. J.** November, 1987.

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

ZOLTAI, P., SWEARINGEN, P. Product development considerations for ohmic processing. Overview. **J. Food Technol.**, p. 263-266, may 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.

WIRGESTROM, K.B. Passing an electric current of 50-60 Hz trough potato pieces during blanching. **US Patent Number 3,997,678**, 1976, apud HALDEN, K.; de ALWIS, A.A.P, FRYER, P.J. Changes in the eletrical conductivity of during ohmic heating. **International J. Food Sci. Technol.**, v. 25, p. 9-25, 1990.



Tabela 4.1 - Resultados da análise de variância para as variáveis: temperatura versus concentração para a concentração crítica e para o aquecimento de água de lavagem. Equações obtidas a partir de regressão múltipla entre as variáveis de interesse e as variáveis de controle.

Condição de Variação	G.L.	Q.M.	Q.M.
		Temperatura (°C)	Temperatura (°C)
Temperatura	8	4,0451**	4617,501**
Concentração	5	4,9440**	13585,1444**
Temperatura x Concentração	40	0,0872**	445,2240**
Total	53	3,2453	2315,7575
Resíduo		359	4,5624
Dados Resíduo		0,1870	2,1380
Coeficiente de Variação (%)		14,6617	5,1851

**Significância estatística a 1% de probabilidade (F=5,91)

U.F.P. - Universidade Federal de Pernambuco
C.A. - Centro de Análise

ANEXOS



Tabela A1- Resultados da análise de variância para as variáveis: temperatura versus concentração, para a condutividade elétrica e taxa de aquecimento do suco de laranja, aquecido ohmicamente com diferentes teores de sólidos e com 140V de voltagem aplicada.

Causas da Variação	G.L	Q.M.	Q.M.
		(condutividade elétrica)	(taxa de aquecimento)
Temperatura	8	6,0491**	4417,001**
Concentração	5	4,9440**	13886,1444**
Temperatura x Concentração	40	0,0872**	449,2240**
Tratamentos	53	1,4453	2315,7676
Resíduos	108	0,0350	4,5624
Desvio Padrão		0,1870	2,1360
Coeficiente de Variação (%)		14,0617	8,1851

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

G.L.= Graus de Liberdade
Q.M.= Quadrado Médio



Tabela A2- Desdobramento da interação de concentração versus temperatura, para a condutividade elétrica e taxa de aquecimento do suco de laranja aquecido ohmicamente, com 140V de voltagem aplicada.

Causas da Variação	G.L	Q.M (Condutividade elétrica)	Q.M (taxa de aquecimento)
Concentração dentro da Temp.20°C	5	0,2229**	0,0000 NS
Concentração dentro da Temp.30°C	5	0,3028**	238,9001**
Concentração dentro da Temp.40°C	5	0,3313**	764,2104**
Concentração dentro da Temp.50°C	5	0,4930**	1471,8758**
Concentração dentro da Temp.60°C	5	0,6014**	2094,3969**
Concentração dentro da Temp.70°C	5	0,7359**	2614,1336**
Concentração dentro da Temp.80°C	5	0,7051**	3064,3040**
Concentração dentro da Temp.90°C	5	0,9856**	3464,1820**
Concentração dentro da Temp.100°C	5	1,2635**	3767,9336**
Resíduo	45		
Temp. dentro da Conc. 11,5°Brix	8	0,5289**	824,5066**
Temp. dentro da Conc. 20,0°Brix	8	1,0774**	306,5752**
Temp. dentro da Conc. 30,0°Brix	8	1,3743**	173,7226**
Temp. dentro da Conc. 40,0°Brix	8	1,2845**	226,4522**
Temp. dentro da Conc. 63,8°Brix	8	0,5032**	4720,7353**
Resíduo	48		

NS – teste não significativo

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

G.L.= Graus de Liberdade

Q.M.= Quadrado Médio

Tabela A3- Resultados da análise de variância para as variáveis: temperatura e voltagem aplicada para a condutividade elétrica e taxa de aquecimento do suco de laranja 11,5 °Brix aquecido ohmicamente.

Causas da Variação	G.L	Q.M.	Q.M.
		(condutividade elétrica)	(taxa de aquecimento)
Temperatura	8	1,2353**	11923,3169**
Voltagem aplicada	2	0,1820**	21811,9464**
Temperatura x Voltagem	16	0,1890**	2539,1729**
Tratamentos	26	0,4057	6909,1229
Resíduos	54	0,0007	1,5149
Desvio Padrão		0,257	1,2308
Coefficiente de Variação (%)		2,4367	2,6140

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

G.L.= Graus de Liberdade

Q.M.= Quadrado Médio

Tabela A4- Desdobramento da interação voltagem aplicada versus temperatura, para a condutividade elétrica e taxa de aquecimento do suco de laranja 11,5°Brix aquecido ohmicamente.

Causas da Variação	G.L	Q.M (Condutividade elétrica)	Q.M (taxa de aquecimento)
Voltagem dentro da Temp.20°C	2	0,0078**	0,0000 NS
Voltagem dentro da Temp.30°C	2	0,0057**	36,2162**
Voltagem dentro da Temp.40°C	2	0,0085**	158,9436**
Voltagem dentro da Temp.50°C	2	0,0067**	492,0219**
Voltagem dentro da Temp.60°C	2	0,0087**	1334,1672**
Voltagem dentro da Temp.70°C	2	0,0180**	2654,2144**
Voltagem dentro da Temp.80°C	2	0,0252**	4794,8353**
Voltagem dentro da Temp.90°C	2	0,0484**	8733,4524**
Voltagem dentro da Temp.100°C	2	0,2041**	2391,4782**
Resíduo	18		
Temp. dentro da Voltagem 100V	8	0,2769**	14381,9857**
Temp. dentro da Voltagem 130V	8	0,4673**	1794,9405**
Temp. dentro da Voltagem 140V	8	0,5289**	824,7365**
Resíduo	24		

NS – teste não significativo

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

G.L.= Graus de Liberdade

Q.M.= Quadrado Médio



Tabela A5- Resultados da análise de variância para as variáveis: temperatura versus tamanho da partícula, aplicada para a condutividade elétrica e taxa de aquecimento do suco de manga 15,5 °Brix aquecido ohmicamente, numa voltagem aplicada de 140V.

Causas da Variação	G.L	Q.M. (condutividade elétrica)	Q.M. (taxa de aquecimento)
Temperatura	9	0,7621**	7519,9573**
Tamanho da partícula	2	0,1087**	19,8246**
Temperatura x Partícula	18	0,0014**	1,062 NS
Tratamentos	29	0,2449	2335,8107
Resíduos	60	0,0004	0,8505
Desvio Padrão		0,0188	0,9222
Coeficiente de Variação (%)		2,7303	1,9681

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

NS- teste não significativo

G.L.= Graus de Liberdade

Q.M.= Quadrado Médio

Tabela A6- Desdobramento da interação tamanho da partícula versus temperatura, para a condutividade elétrica do suco de manga 15,5°Brix aquecido ohmicamente, com voltagem aplicada de 140V.

Causas da Variação	G.L	Q.M (Condutividade elétrica)
Tamanho da partícula dentro da Temp.10°C	2	0,0027**
Tamanho da partícula dentro da Temp.20°C	2	0,0049**
Tamanho da partícula dentro da Temp.30°C	2	0,0084**
Tamanho da partícula dentro da Temp.40°C	2	0,0076**
Tamanho da partícula dentro da Temp.50°C	2	0,0124**
Tamanho da partícula dentro da Temp.60°C	2	0,0241**
Tamanho da partícula dentro da Temp.70°C	2	0,0157**
Tamanho da partícula dentro da Temp.80°C	2	0,0172**
Tamanho da partícula dentro da Temp.90°C	2	0,0147**
Tamanho da partícula dentro da Temp.100°C	2	0,0133**
Resíduo	20	
Temp. dentro da partícula 0,149mm	9	0,2589**
Temp. dentro da partícula 0,590mm	9	0,2795**
Temp. dentro da partícula 1,680mm	9	0,2264**
Resíduo	27	

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

G.L.= Graus de Liberdade

Q.M.= Quadrado Médio



Tabela A7- Resultados da análise de variância para os fatores temperatura versus viscosidade (% de enzima), aplicada para a condutividade elétrica e taxa de aquecimento do suco de manga 15,5 °Brix aquecido ohmicamente, numa voltagem aplicada de 140V.

Causas da Variação	G.L	Q.M.	Q.M.
		(condutividade elétrica)	(taxa de aquecimento)
Temperatura	8	1,0657**	3051,2086**
% de Enzima	2	2,6779**	3142,7181**
Temperatura x % de Enzima	16	0,0307**	153,9523**
Tratamentos	26	0,5528	1275,3209
Resíduos	54	0,0003	0,5604
Desvio Padrão		0,0161	0,7486
Coeficiente de Variação (%)		1,6311	2,6219

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

G.L. = Graus de Liberdade

Q.M. = Quadrado Médio

Tabela A8- Desdobramento da interação: viscosidade (% de enzima) versus temperatura, para a condutividade elétrica e taxa de aquecimento do suco de manga 15,5°Brix aquecido ohmicamente, numa voltagem aplicada de 140V.

Causas da Variação	G.L	Q.M (Condutividade elétrica)	Q.M (taxa de aquecimento)
% de Enzima dentro da Temp.20°C	2	0,0883**	0,0000 NS
% de Enzima dentro da Temp.30°C	2	0,1339**	20,9233**
% de Enzima dentro da Temp.40°C	2	0,1549**	101,2950**
% de Enzima dentro da Temp.50°C	2	0,2270**	211,1079**
% de Enzima dentro da Temp.60°C	2	0,3241**	378,6019**
% de Enzima dentro da Temp.70°C	2	0,4336**	549,7781**
% de Enzima dentro da Temp.80°C	2	0,4807**	789,3101**
% de Enzima dentro da Temp.90°C	2	0,4963**	1040,5825**
% de Enzima dentro da Temp.100°C	2	0,5844**	1282,7379**
Resíduo	18		
Temp. dentro da % de Enzima 0 %	8	0,1970**	210,0739**
Temp. dentro da % de Enzima 0,5%	8	0,3218**	753,7857**
Temp. dentro da % de Enzima 1,0%	8	0,6082**	499,2535**
Resíduo	24		

NS – teste não significativo

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

G.L.= Graus de Liberdade

Q.M.= Quadrado Médio



Tabela A9- Resultados da análise de variância para os fatores temperatura versus concentração, aplicada para a condutividade elétrica e taxa de aquecimento para o descongelamento ôhmico de suco de laranja, com 140V de voltagem aplicada.

Causas da Variação	G.L	Q.M.	Q.M.
		(condutividade elétrica)	(taxa de aquecimento)
Temperatura (°C)	5	0,2223**	2304,4657**
Concentração (°Brix)	5	0,0861**	8610,2566**
Temperatura x Concentração	25	0,0158**	417,6116**
Tratamentos	35	0,0553	1857,5400
Resíduos	36	0,0001	0,8651
Desvio Padrão		0,0099	0,9301
Coeficiente de Variação (%)		7,1855	2,600

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

G.L.= Graus de Liberdade

Q.M.= Quadrado Médio



Tabela A10- Desdobramento da interação concentração versus temperatura, para a condutividade elétrica e taxa de aquecimento do suco de laranja com diferentes conteúdo de sólidos, descongelado ohmicamente, numa voltagem aplicada de 140V.

Causas da Variação	G.L	Q.M (Condutividade elétrica)	Q.M (taxa de aquecimento)
Concentração dentro da Temp. 0°C	5	0,0000 NS	0,0000 NS
Concentração dentro da Temp. -15°C	5	0,0000 NS	109,0662**
Concentração dentro da Temp. -10°C	5	0,0094**	465,7497**
Concentração dentro da Temp. -5°C	5	0,0429**	1213,6363**
Concentração dentro da Temp. 0°C	5	0,0490**	1438,6969**
Concentração dentro da Temp. 5°C	5	0,0637**	1165,3745**
Resíduo	30		
Temp. dentro da Conc. 11,5°Brix	5	0,0525**	4027,2469**
Temp. dentro da Conc. 20,0°Brix	5	0,0814**	2535,5916**
Temp. dentro da Conc. 30,0°Brix	5	0,0905**	1938,4039**
Temp. dentro da Conc. 40,0 Brix	5	0,0698**	1335,6732**
Temp. dentro da Conc. 50,0°Brix	5	0,0067**	672,1345**
Temp. dentro da Conc. 63,8°Brix	5	0,0005**	189,2645**
Resíduo	30		

NS – teste não significativo

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

G.L.= Graus de Liberdade

Q.M.= Quadrado Médio



Autorizo a reprodução deste trabalho para fins de estudo e pesquisa

São José do Rio Preto, 21 de janeiro de 2002.

VANDA PERPÉTUO PELACANI



