



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA - CAMPUS II
COPEAG - COORD. DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENG. AGRÍCOLA



PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**CAMPINA GRANDE
PARAÍBA**



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



DISSERTAÇÃO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM PROCESSAMENTO E
ARMAZENAMENTO DE PRODUTOS AGRÍCOLAS

DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DA
POLPA DO CUPUAÇU (*Theobroma grandiflorum* schum.)

JOSALICE DE LIMA ARAÚJO

Campina Grande - Paraíba

Setembro - 2001

DIGITALIZAÇÃO:
SISTEMOTECA - UFCG

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA - UFPB

A663d
2001

Araújo, Josalice de Lima
Determinação das propriedades
termofísicas da polpa do cupuaçu (*Theobroma
grandiflorum* Shum.) / Josalice de Lima
Araújo. – Campina Grande: UFPB, 2001. 82p.:
il.

Dissertação (Mestrado). UFPB/CCT
Inclui bibliografia

1. Termofísicas 2. Temperatura 3. Cupuaçu
I. Título

CDU: 53.096: 633.7

Josalice de Lima Araújo

DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DA POLPA DO
CUPUAÇU (*Theobroma grandiflorum* Schum.)

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração em Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas.

Campina Grande

Setembro 2001



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

COPEAG - PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DA MESTRANDA

JOSALICE DE LIMA ARAÚJO

Título: "Propriedades Termofísicas da Polpa do Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum").

BANCA EXAMINADORA

PARECER

Alexandre S M Queiroz
Dr. Alexandre de Melo Queiroz-Orientador

APROVADA

Rossana M^a F. de Figueiredo
Dra. Rossana Maria F. de Figueiredo-Orientadora

Aprovada

Melitonys
Dra. Maria Elita Duarte Braga-Examinadora

APROVADA

Flávio Luiz Honorato da Silva
Dr. Flávio Luiz Honorato da Silva-Examinador

Aprovada

SETEMBRO - 2001

*A Severino Ramos de Oliveira Júnior (Júnior), meu esposo
A Antônio Rivaldo de Araújo e Maria Dilma de Lima Araújo, meus pais
Com amor e carinho.*

*"Porque o Senhor dá a sabedoria,
e da sua boca vem a inteligência
e o entendimento".*

Provérbios 2:6

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelas coisas que Ele fez e por tudo que ainda irá fazer.

Ao Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz pela sua orientação.

A minha querida professora, orientadora e Dr.^a Rossana Maria F. de Figueirêdo.

Às minhas amigas Fábria Pereira Cabral e Lilian Batista de Queiroz, companheira e amiga nos momentos de labuta, alegria e decepções.

A todos os professores do DEAG, em especial os da área de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas.

Ao Departamento de Engenharia Química (DEQ)

A Rivanilda, secretária da Pós-graduação.

Aos meus colegas da pós-graduação, que comigo enfrentaram os desafios.

A Suyanne, pela ajuda no processamento da polpa e pela sua amizade eterna.

Aos meus irmãos, Matias Teodoro de Lima Araújo, Nataly de Lima Araújo e Priscilla de Lima Araújo.

Às minhas cunhadas e cunhado, Isabel, Paula e João Batista.

A minha querida sogra Bela.

Às minhas tias Carminha e Severina pelo seu grande afeto.

A Magliana por reservar um pouco do seu tempo na correção dos erros de português.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para o meu bom desempenho neste trabalho.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE TABELAS.....	vi
NOMENCLATURA	xii
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Cupuaçu.....	3
2.2. Polpa de fruta.....	5
2.3. Características físico-químicas e química	7
2.3.1. Acidez total.....	7
2.3.2. pH.....	8
2.3.3. Sólidos solúveis (°Brix).....	9
2.3.4. Cinzas.....	9
2.3.5. Açúcares.....	10
2.3.6. Pectina.....	11
2.3.7. Umidade.....	12
2.3.8. Vitamina C.....	13
2.4. Propriedades termofísicas.....	15
2.4.1. Massa específica.....	15
2.4.2. Difusividade térmica.....	18
2.4.3. Condutividade térmica.....	23
2.4.4. Calor Específico.....	25

CAPÍTULO 3. MATERIAL E MÉTODOS.....	30
3.1. Matéria-prima.....	30
3.1.1. Processamento da matéria-prima.....	31
3.2. Caracterização físico-química e química da polpa integral.....	33
3.2.1. pH.....	33
3.2.2. Sólidos solúveis (°Brix).....	33
3.2.3. Acidez total titulável.....	33
3.2.4. Cinzas.....	33
3.2.5. Açúcares redutores, não redutores e totais.....	33
3.2.6. Pectina.....	34
3.2.7. Sólidos totais e umidade.....	34
3.2.8. Sólidos insolúveis e solúveis.....	34
3.2.9. Ácido ascórbico.....	34
3.3. Preparação das amostras.....	34
3.3.1. Polpa integral.....	35
3.3.2. Polpa a 9 °Brix.....	35
3.3.3. Polpa peneirada.....	35
3.4. Determinação das propriedades termofísicas.....	35
3.4.1. Massa específica.....	35
3.4.2. Difusividade térmica.....	37
3.4.3. Calor específico.....	39
3.4.4. Condutividade térmica.....	42
3.5. Análise estatística.....	43
3.6. Erros experimentais.....	44
CAPÍTULO 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1. Caracterização físico-química e química.....	45
4.2. Determinação das propriedades termofísicas.....	47
4.2.1. Massa específica.....	47
4.2.2. Difusividade térmica.....	55
4.2.3. Calor específico.....	59
4.2.4. Condutividade térmica.....	62

CAPÍTULO 5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	65
CAPÍTULO 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67
APÊNDICE A.....	76
APÊNDICE B.....	82

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Fruto do cupuaçu.....	4
Figura 2.2. Medidas de comprimento do fruto.....	5
Figura 3.1. Fluxograma das operações realizadas para obtenção da polpa integral, caracterização e determinação das propriedades termofísicas.....	30
Figura 3.2. Cupuaçus maduros.....	31
Figura 3.3. Vista da casca parcialmente quebrada do cupuaçu.....	32
Figura 3.4. Armazenamento em freezer da polpa do cupuaçu.....	32
Figura 3.5. Esquema do aparato utilizado para a determinação da difusividade térmica..	37
Figura 3.6. Desenho do calorímetro de mistura.....	40
Figura 4.1. Valores médios da massa específica da polpa de cupuaçu integral, 9 °Brix e peneirada em função da temperatura.....	49
Figura 4.2. Valores experimentais e teóricos da massa específica da polpa integral em função da temperatura.....	53
Figura 4.3. Valores experimentais e teóricos da massa específica da polpa do cupuaçu 9 °Brix em função da temperatura.....	54
Figura 4.4. Valores experimentais e teóricos da massa específica da polpa peneirada do cupuaçu em função da temperatura.....	54

Figura B.1. Diagrama tempo-temperatura das três repetições para a determinação da difusividade térmica da polpa integral do cupuaçu.....	83
Figura B.2. Diagrama tempo-temperatura das três repetições para a determinação da difusividade térmica da polpa a 9 °Brix do cupuaçu.....	84
Figura B.3. Diagrama tempo-temperatura das três repetições para a determinação da difusividade térmica da polpa peneirada do cupuaçu.....	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Composição nutricional para 100g de polpa de cupuaçu.....	4
Tabela 2.2. Padrões mínimos de identidade e qualidade para a polpa de cupuaçu.....	6
Tabela 2.3. Conteúdo de pectina em algumas frutas.....	12
Tabela 2.4. Fontes naturais ricas em ácido ascórbico.....	14
Tabela 2.5. Valores de difusividade e condutividade térmica, calor específico e massa específica, determinada em polpas de frutas.....	29
Tabela 3.1. Equações para o cálculo da massa específica de produtos alimentícios.....	36
Tabela 3.2. Equações para o cálculo de difusividade térmica de produtos alimentícios....	39
Tabela 3.3. Equações para o cálculo do calor específico de produtos alimentícios.....	42
Tabela 3.4. Equações para o cálculo de condutividade térmica de produtos alimentícios.	43
Tabela 4.1. Caracterização físico-química e química da polpa integral do cupuaçu.....	45
Tabela 4.2. Parâmetros da caracterização físico-química das diferentes amostras da polpa de cupuaçu.....	46
Tabela 4.3. Valores médios da massa específica para as diferentes temperaturas das polpas de cupuaçu integral, 9 °Brix e peneirada.....	47
Tabela 4.4. Análise de variância dos valores médios da massa específica das polpas de cupuaçu integral, 9 °Brix e peneirada.....	48

Tabela 4.5. Valores médios da massa específica da polpa de cupuaçu para a interação concentração x temperatura.....	49
Tabela 4.6. Valores teóricos da massa específica (kg/m^3) calculados a partir de modelos encontrados na literatura para a polpa de cupuaçu integral.....	51
Tabela 4.7. Valores teóricos da massa específica (kg/m^3) calculados a partir de modelos encontrados na literatura para a polpa de cupuaçu 9 °Brix.....	51
Tabela 4.8. Valores teóricos de massa específica (kg/m^3) calculados a partir de modelos encontrados na literatura para a polpa de cupuaçu peneirada.....	52
Tabela 4.9. Modelos de equações propostos para o cálculo da massa específica.....	55
Tabela 4.10. Equações de regressão linear representando a temperatura (T_s) em função do tempo (t).....	56
Tabela 4.11. Difusividade térmica da polpa de cupuaçu.....	56
Tabela 4.12. Valores de difusividade térmica calculados através de modelos associados a parâmetros da polpa integral, 9 °Brix e peneirada.....	57
Tabela 4.13. Valores do erro percentual da difusividade térmica entre os dados experimentais e os modelos da literatura para a polpa integral.....	58
Tabela 4.14. Valores do erro percentual da difusividade térmica entre os dados experimentais e os modelos da literatura para a polpa 9 °Brix.....	58

Tabela 4.15. Valores do erro percentual da difusividade térmica entre os dados experimentais e os modelos da literatura para a polpa peneirada.....	58
Tabela 4.16. Valores médios do calor específico para a polpa de cupuaçu.....	59
Tabela 4.17. Valores teóricos do calor específico calculados através de modelos da literatura.....	60
Tabela 4.18. Valores do erro percentual do calor específico entre os dados experimentais e os modelos da literatura para a polpa integral.....	61
Tabela 4.19. Valores do erro percentual do calor específico entre os dados experimentais e os modelos da literatura para a polpa 9 °Brix.....	61
Tabela 4.20. Valores do erro percentual do calor específico entre os dados experimentais e os modelos da literatura para a polpa peneirada.....	61
Tabela 4.21. Valores da condutividade térmica da polpa do cupuaçu.....	62
Tabela 4.22. Valores de condutividade térmica determinados através dos modelos da literatura.....	63
Tabela 4.23. Valores do erro percentual da condutividade térmica entre os dados experimentais e os modelos da literatura para a polpa integral.....	63

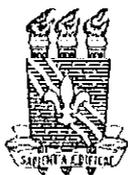


Tabela 4.24. Valores do erro percentual da condutividade térmica entre os dados experimentais e os modelos da literatura para a polpa 9 °Brix.....	64
Tabela 4.25. Valores do erro percentual da condutividade térmica entre os dados experimentais e os modelos da literatura para a polpa peneirada.....	64
Tabela A.1. Valores experimentais e teóricos da massa específica da polpa de cupuaçu integral calculados com o modelo de Kubota (1980) para solução de açúcar.....	77
Tabela A2. Valores experimentais e teóricos da massa específica da polpa de cupuaçu integral calculados com o modelo de Alvarado & Romero (1989) polpas e sucos de frutas com T:0-80°C.....	77
Tabela A3. Valores experimentais e teóricos da massa específica da polpa de cupuaçu integral calculados com o modelo de Alvarado & Romero (1989) para polpa de manga.....	77
Tabela A.4. Valores experimentais e teóricos da massa específica da polpa de cupuaçu integral calculados com o modelo de Alvarado & Romero (1989) para suco de abacaxi.....	78
Tabela A.5. Valores experimentais e teóricos da massa específica da polpa de cupuaçu integral calculados com o modelo de Choi & Okos (1983) para suco de tomate.....	78
Tabela A.6. Valores experimentais e teóricos da massa específica da polpa de cupuaçu 9 °Brix calculados com o modelo de Kubota (1980) para solução de açúcar.....	78



Tabela A.7. Valores experimentais e teóricos da massa específica da polpa de cupuaçu 9 °Brix calculados com o modelo de Alvarado & Romero (1989) para polpas e sucos de frutas com T:0-80°C.....	79
Tabela A.8. Valores experimentais e teóricos da massa específica da polpa de cupuaçu 9 °Brix calculados com o modelo de Alvarado & Romero (1989) para polpa de manga.....	79
Tabela A.9. Valores experimentais e teóricos da massa específica da polpa de cupuaçu 9 °Brix calculados com o modelo de Alvarado & Romero (1989) para suco de abacaxi.....	79
Tabela A.10. Valores experimentais e teóricos da massa específica da polpa de cupuaçu 9°Brix calculados com o modelo de Choi & Okos (1983) para suco de tomate.....	80
Tabela A.11. Valores experimentais e teóricos da massa específica da polpa de cupuaçu peneirada calculados com o modelo de Kubota (1980) para solução de açúcar.....	80
Tabela A.12. Valores experimentais e teóricos da massa específica da polpa de cupuaçu peneirada calculados com o modelo de Alvarado & Romero (1989) para polpas e sucos de frutas com T:0-80°C.....	80
Tabela A.13. Valores experimentais e teóricos da massa específica da polpa de cupuaçu peneirada calculados com o modelo de Alvarado & Romero (1989) para polpa de manga.....	81
Tabela A.14. Valores experimentais e teóricos da massa específica da polpa de cupuaçu a peneirada calculados com o modelo de Alvarado & Romero (1989) para suco de abacaxi.....	81

Tabela A.15. Valores experimentais e teóricos da massa específica da polpa de cupuaçu peneirada calculados com o modelo de Choi & Okos (1983) para suco de tomate.....	81
--	----



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
Departamento de Engenharia Agrícola
Área de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas

Dissertação de Mestrado: **Propriedades termofísicas da polpa de cupuaçu**
(*Theobroma grandiflorum* Schum.)

Autora: **Josalice de Lima Araújo**

Orientadores: **Alexandre José de Melo Queiroz**

Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo

Departamento de Engenharia Agrícola- DEAg. UFPB - Setembro / 2001

RESUMO

Este trabalho teve o objetivo de caracterizar a polpa do cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum.), levando em consideração as propriedades químicas e de transferência de calor, aspectos importantes para os processos de resfriamento, congelamento e estocagem a baixas temperaturas. As determinações dessas propriedades foram realizadas em amostras de polpa integral, 9 °Brix e peneirada, produzidas em laboratório. A caracterização destas polpas foi feita através da determinação do pH, acidez total, umidade, cinzas, teor de sólidos solúveis e insolúveis e açúcares totais e redutores. Através do método picnométrico, foram determinadas as densidades das amostras de polpa nas temperaturas de 10°C, 20°C, 30°C, 40°C e 50°C. A difusividade térmica foi determinada utilizando-se o método de DICKERSON (1965). A determinação do calor específico foi feita através de um calorímetro de mistura. Foram utilizados modelos teóricos para o cálculo da densidade, da difusividade térmica, do calor específico e da condutividade térmica. Os valores obtidos através dos modelos foram comparados aos valores obtidos experimentalmente.

Palavras chave: Termofísicas, temperatura, cupuaçu

Thermophysical properties of the cupuaçu pulp (*Theobroma grandiflorum* Shum.)

Author: Josalice de Lima Araújo

Advisors: Alexandre José de Melo Queiroz

Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo

Department of Agricultural Engineering - DEAg - September / 2001

ABSTRACT

The objective of this work was to characteristics the cupuaçu pulp (*Theobroma grandiflorum* Schum.), according to the chemical and heat transfer properties, important aspects to the cooling, freezing and storage systems at low temperature. The determination of these properties was accomplished in samples of integral pulp, 9°Brix and sifted, all the samples was produced at the laboratory. The characterization of these pulps was made through the determination of the pH, total acidity, humidity, ashes, soluble and insoluble solids and total and reducers sugar. The density of the pulp samples was determined at the temperatures of 10°C, 20°C, 30°C, 40°C and 50°C through the picnométrico method. The thermal diffusivity was determined by DICKERSON'S method (1965). A calorimeter was used to do the determination of the specific heat. Theoretical models were used to the calculation of the density, the thermal diffusivity, the specific heat and the thermal conductivity. The obtained values were compared to the experimental ones.

Key Words: Thermophysical, temperature, cupuaçu

NOMENCLATURA

A	Constante da velocidade de aquecimento	(°C/s)
B	Concentração	(°Brix)
C_p	Calor específico	(kJ/kg°C)
k	Condutividade térmica	(W/m°C)
M	Massa	(kg)
Q	Quantidade de calor	(J)
r	Raio do termopar até a fonte de calor	(m)
R	Coefficiente de correlação	
R_c	Raio do cilindro	(m)
t	Tempo	(min)
T	Temperatura	(°C)
T_c	Temperatura central	(°C)
T_s	Temperatura da superfície	(°C)
X	Fração mássica (adimensional)	

Gregas

α	Difusividade térmica	(m ² /s)
ρ	Massa específica	(kg/m ³)

Subscritos

a	Amostra
c	Calorímetro, cilindro
i	Inicial
e	Equilíbrio
s	Sólidos totais, superfície
w	Água



1. INTRODUÇÃO

O cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum.) é uma espécie arbórea encontrada facilmente nas matas de terra firme e várzeas. Nativa da região oriental da Amazônia, encontra-se silvestre no sudoeste do estado do Pará alcançando o nordeste do estado do Maranhão. A polpa do cupuaçu, uma das frutas mais populares da Amazônia, pode ser utilizada na produção de sorvetes, sucos, compotas, geléias, licores, iogurte e diversos doces. Sua colheita é feita manualmente, coletando-se os frutos somente após a queda (CALZAVARA *et al.*, 1984).

No Brasil, o mercado consumidor do cupuaçu é basicamente regional o que confere ao produto um potencial de ampliação de oferta nos mercados nacional e internacional. Considerada a fruta predileta da maioria dos amazonenses, o cupuaçu vem conquistando o mercado de outras regiões do país e do exterior (AGENDA CNPq, 1985).

A produtividade por árvore é bastante variável e estima-se que, aos 5 anos de idade, produz de 12 a 20 frutos/planta, cada um pesando aproximadamente 1kg. Nota-se que, comparada a produtividade de outras fruteiras, o cupuaçu produz pouco. No entanto, os elevados preços que a polpa atinge no mercado torna-a bastante lucrativa. O quilo da polpa exportado para EUA, segundo a Cooperativa Agrícola de Tomé – Açu/PA (CAMTA), custa cerca de US\$ 4,00. No Rio de Janeiro, o quilo da polpa está sendo vendido no atacado a US\$ 2,5.

De acordo com VENTURIERI & VIEIRA (1989), um dos principais problemas que se tem encontrado é a pouca disponibilidade de matéria-prima. Essa situação já começa a ser revertida, pois os elevados preços que o cupuaçu tem alcançado estimularam a expansão dos plantios, o que resultará em poucos anos, numa maior oferta de matéria-prima.

O cupuaçu, na forma de matéria-prima industrializável, está normalmente sujeito a processos de aquecimento e resfriamento. Esses tratamentos térmicos são necessários para eliminar microrganismos contaminantes e inativar enzimas naturais do produto. De um modo geral, quando o alimento não é consumido imediatamente, faz-se necessário submetê-lo a

etapas como processamento, resfriamento ou congelamento a fim de que suas características sejam conservadas evitando o desenvolvimento de microrganismos indesejáveis. Nos processos de aquecimento, resfriamento e congelamento são necessários dados sobre as propriedades termofísicas dos produtos, a fim de se calcular as cargas térmicas, os dispêndios energéticos, o dimensionamento de equipamentos etc.

O objetivo deste trabalho foi determinar experimentalmente as propriedades termofísicas da polpa de cupuaçu caracterizada química e físico-quimicamente em três condições de teor de sólidos: 12 °Brix, 9 °Brix e com eliminação parcial de sólidos insolúveis comparando os resultados obtidos com valores determinados através da aplicação de modelos propostos na literatura.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O cupuaçu

O Brasil é hoje um grande exportador de frutas frescas, e vem expandindo esse mercado, comercializando frutas tropicais na forma de sucos concentrados, polpas e purês, diminuindo as perdas pós-colheita e aumentando a rentabilidade. Visando o mercado externo, algumas indústrias de alimentos resolveram exportar essas frutas não mais na forma “in natura”, mas na forma de sucos, chegando, assim, a esse mercado de forma rápida, com alta qualidade e com mais economia (ADORNO, 1997).

Diante da grande importância das frutas tropicais, tanto para o mercado interno como para o externo, a realização do estudo do cupuaçu, espécie perene de grande importância na região Norte do Brasil, que faz parte do sistema agroflorestal, cultivo puro e quintais caseiros. Essa fruta apresenta grande potencial de exploração devido a sua qualidade organoléptica, uma grande diversidade de utilização e um alto valor comercial. Sua produção anual em 1995-1996 foi relativamente pequena, cerca de 7.982 milhões de frutos (3.702 frutos/ha) para uma área de 2.156ha, no estado do Amazonas (SOUZA & GUIMARÃES, 1998).

No Brasil existem algumas espécies de cupuaçu, mas a mais consumida é a *Theobroma grandiflorum* Schum., da família das esterculiáceas. A árvore tem altura média de 6 a 10m, podendo ocorrer até 20m, e diâmetro de copa em torno de 4 a 7m. O fruto é uma baga com extremidades obtusas ou arredondadas, com diâmetro de 9 a 10cm e comprimento de 15 a 25cm, peso variando de 500g a 3.000g. A maturação do cupuaçu é facilmente reconhecível em razão do odor agradável que exala quando o fruto cai. A polpa é abundante, ácida, com odor ativo e coloração amarela, creme ou branca (FALCÃO, 1983).

Até o início dos anos 80, o cultivo do cupuaçueiro era feito principalmente por pequenos produtores, restringindo o cultivo a pomares caseiros.

A polpa do cupuaçu pode ser usada na preparação de sucos, sorvetes, vinhos, licores ou doces, e suas sementes podem substituir as do cacau na fabricação do chocolate.

NAZARÉ *et al.* (1990), trabalharam com as sementes do cupuaçu, extraíndo sua manteiga para a fabricação de barras de cupulate tipo branco, meio-amargo e ao leite, obtendo

características nutricionais e sensoriais semelhantes ao do chocolate, tendo o rendimento de 74,8%, 81,3% e 90,9%, respectivamente.



Figura 2.1. Fruto do cupuaçu

Dados sobre as características físico-químicas e nutricionais da polpa do cupuaçu encontram-se na Tabela 2.1.

Tabela 2.1. Composição nutricional para 100g de polpa de cupuaçu

Componentes	Valores
Acidez (%)	2,15
°Brix	10,80
pH	3,30
Umidade (%)	89,00
Cinzas (%)	0,67
Sólidos totais (%)	11,00
Açúcares redutores (%)	3,03
Pectina (mg/100g)	390,00
Aminoácidos (mg)	21,90
Lipídios (g)	0,53
Fósforo (% P ₂ O ₅)	0,31
Cálcio (% C ₂ O)	0,04
Vitamina C (mg/100g)	23,12

Fonte: BARBOSA *et al.* (1978)

UFCCG - BIBLIOTECA

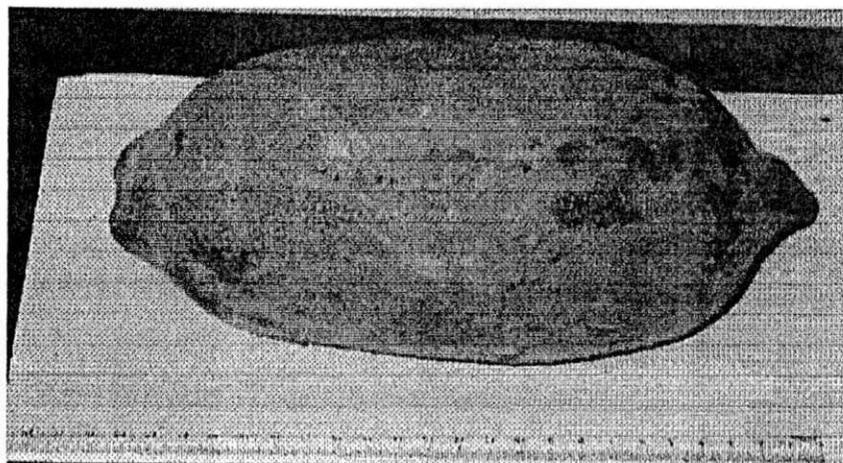


Figura 2.2. Medidas de comprimento do fruto.

2.2. Polpa de fruta

De acordo com CABRAL & FURTADO (1997), polpa é o produto obtido pelo esmagamento da parte carnosa comestível da fruta por processos tecnológicos adequados. O processamento de frutas, para a obtenção de polpas, é uma atividade agroindustrial importante a medida onde agrega-se valor econômico à fruta, evitando desperdícios e minimizando perdas que podem ocorrer durante a comercialização *in natura*. As frutas destinadas para a obtenção de polpa de frutas devem ser sãs, maduras e não apresentarem nenhum tipo de sujidade na casca ou terem sofrido ataque de insetos ou parasitas. As polpas devem estar isentas de resíduos de casca ou sementes e devem apresentar cor, aroma e sabor característico.

Segundo ZADERNOWSKI *et al.* (1997), as polpas de frutas, juntamente com frutas e vegetais, são fontes de substâncias biologicamente ativas, como as vitaminas C, B₁, B₂, B₆, β -caroteno, de minerais (potássio, magnésio e cálcio) e de fibras solúveis e insolúveis. Essas substâncias ajudam o homem a manter a saúde, prevenindo doenças como: câncer, doenças degenerativas, cataratas e doenças cardiovasculares.

De acordo com SOLER *et al.* (1991), embora a polpa de fruta, seja um produto processado, sua maior aplicação é como matéria-prima para outras indústrias. Dependendo das condições climáticas, da distância e da perecibilidade das características físicas e químicas

de cada fruta, o transporte, manuseio e armazenamento dos produtos “in natura” podem se tornar onerosos e, às vezes, inviáveis de se praticar.

O Ministério da Agricultura e Abastecimento apresenta um regulamento técnico geral para a fixação dos padrões de identidade e qualidade para polpa de fruta com o objetivo de reconhecer os padrões de identidade e estabelecer as características mínimas de qualidade gerais, que deverão ser observados no produto “polpa de fruta,” quando destinada a produção de bebidas. De acordo com o mesmo ministério, polpa ou purê de cupuaçu é um produto não fermentado e não diluído, obtido da parte comestível do cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum.), exceto sementes, através de processo tecnológico adequado, com teor mínimo de sólidos totais (BRASIL, 2000).

A Tabela 2.2., apresenta os padrões mínimos de identidade e qualidade exigidos pelo Ministério da Agricultura e Abastecimento para a polpa de cupuaçu.

Tabela 2.2. Padrões mínimos de identidade e qualidade para a polpa de cupuaçu.

Composição	Mínimo
Sólidos solúveis (°Brix)	9,0
pH	2,6
Acidez total expressa em ácido cítrico (g/100g)	1,5
Ácido ascórbico (mg/100g)	18,0
Açúcares totais (g/100g)	6,0
Sólidos totais (g/100g)	12,0
Características	
Cor	branco e branco amarelado
Sabor	Levemente ácido
Aroma	Próprio

Fonte: BRASIL (2000)

2.3. Características físico-química e química

2.3.1. Acidez total

De acordo com LARA *et al.* (1976), a determinação da acidez pode fornecer um dado valioso na apreciação do estado de conservação de um produto alimentício. Um processo de decomposição, seja por hidrólise, oxidação ou fermentação, altera quase sempre a conservação dos íons hidrogênio. Os métodos de determinação da acidez podem ser os que avaliam a acidez titulável ou que fornecem a concentração de íons-hidrogênio livres, por meio do pH. Os métodos que avaliam a acidez titulável resumem-se em titular, com solução de álcali padrão, a acidez do produto.

CECCHI (1999) relatou que os ácidos orgânicos (cítrico, málico, oxálico, succínico e tartárico) presentes em alimentos, influenciam o sabor, o odor, a cor, a estabilidade e a manutenção de qualidade. A acidez titulável de frutas varia de 0,2 a 0,3% em frutas de baixa acidez (maçã vermelha e banana) e acima de 6% em limão.

KEFFORD & CHANDLER (1970) relataram que o gosto azedo é o principal fator de aceitabilidade de frutos cítricos e de seus sucos, disso decorre a sua importância.

Segundo BLEINROTH (1988), o teor de acidez total aumenta com o completo desenvolvimento fisiológico da fruta e decresce com o seu amadurecimento, mas, em alguns casos, ocorre um pequeno aumento nos valores com o avanço da maturação. Entretanto, as mudanças que ocorrem na concentração de ácidos orgânicos durante o desenvolvimento, diferem para cada tipo de fruto (CHITARRA, 1998).

A acidez total em relação ao conteúdo de açúcar é útil na determinação de formulação de sucos, néctares e outros. OLIVEIRA (1981) preparou um néctar com 16,97% de polpa de cupuaçu, 15,25% de açúcar e 67,8% de água, variando o teor de acidez com adição de ácido cítrico nas dosagens de 1g/l, 1,5g/l e 2g/l de néctar.

BARBOSA *et al.* (1978) e CHAAR (1980) afirmaram que a acidez natural da polpa do cupuaçu é suficiente para manter a qualidade do néctar durante o armazenamento. Logo, a adição de ácido cítrico, como a feita por OLIVEIRA (1981), não se faz necessária, pois a polpa do cupuaçu possui elevada acidez (2,15%), sendo superior a frutas como o abacaxi (0,35% de ácido cítrico), por exemplo.

2.3.2. pH

Os processos que avaliam o pH são colorimétricos ou eletrométricos. Os primeiros usam certos indicadores, que produzem ou alteram sua coloração em determinadas concentrações de ions hidrogênio. Nos processos eletrométricos empregam-se aparelhos que são potenciômetros especialmente adaptados que permitem uma determinação direta, simples e precisa do pH (LARA *et al.*, 1976).

A determinação do pH no alimento é importante devido a fatores como: o crescimento; a sobrevivência ou a destruição dos microrganismos; a escolha da temperatura de esterilização; a escolha da embalagem; o tipo de material de limpeza e de desinfecção; o tipo de equipamento; os aditivos; e outros (CHAVES, 1992).

GAVA (1984) observou que o pH de um alimento é importante pela influência que exerce sobre os tipos de microrganismos aptos à sua multiplicação e, portanto, sobre as alterações que iriam produzir.

MIRANDA (1989) estudou o armazenamento da polpa do cupuaçu a -2°C , -12°C e 8°C durante um período de 4 meses. Nesse período, foram feitas análises de pH para controlar a qualidade da polpa. Os melhores resultados foram obtidos quando armazenada a uma temperatura de -12°C .

2.3.3. Sólidos solúveis (°Brix)

Os sólidos solúveis indicam a quantidade, em gramas, dos sólidos que se encontram dissolvidos no suco ou polpa. São comumente designados como °Brix, e têm tendência de aumento com a maturação. Os sólidos solúveis podem ser medidos no campo ou na indústria, com o auxílio de refratômetro (CHITARRA & CHITARRA, 1990).

Na indústria, a análise do °Brix tem grande importância no controle dos ingredientes a serem adicionados ao produto e na sua qualidade final. A determinação do °Brix é utilizada nas indústrias de doces, sucos, néctar, polpas, leite condensado, álcool, açúcar, sorvetes, licores e bebidas em geral, etc.

O teor dos sólidos solúveis (°Brix) nos frutos é muito importante, pois, quanto maior a quantidade de sólidos solúveis existentes, menor será a quantidade de açúcar a ser adicionada aos frutos, quando processados pela indústria, diminuindo, assim, o custo de produção e aumentando a qualidade do produto (RODRIGUES *et al.*, 1977).

BARBOSA *et al.* (1978) trabalhando com a formulação de néctar de cupuaçu, através da adição de água e açúcar, efetuaram o controle dos ingredientes adicionados pela medição do °Brix, que inicialmente era de 10,8°Brix, alcançando a concentração de 14°Brix.

2.3.4. Cinzas

Cinza ou resíduo mineral é o produto que se obtém após aquecimento de uma amostra, a uma temperatura de 500 a 600°C, ou seja, até o aquecimento ao rubro, durante 4 horas ou até a combustão total da matéria orgânica. Essa determinação fornece apenas uma indicação da riqueza da amostra em elementos minerais. O teor de cinzas pode permitir, às vezes, uma estimativa das riquezas de cálcio e fósforo do alimento analisado; porém, alguns alimentos de origem vegetal são, ainda, ricos em sílica, o que resulta num teor elevado de cinzas. A determinação das cinzas ou matéria mineral é feita muitas vezes apenas para se conhecer o extrato não nitrogenado e/ou a matéria orgânica de determinadas amostras, sem a preocupação do teor de minerais (SILVA, 1981).

Uma análise global da composição das cinzas nos diferentes tipos de alimentos, além de trabalhosa, não é de interesse igual ao da determinação de certos componentes, conforme a natureza do produto. Assim as determinações de fosfatos, sulfatos, cloretos, cálcio e ferro são as mais usuais. Nem sempre esses resíduos representa toda a substância inorgânica presente na amostra; pois, alguns sais podem sofrer redução ou volatilização nesse aquecimento (LARA *et al.*, 1976).

Segundo OLIVEIRA (1997), a determinação de cinzas considerada como medida geral de qualidade e é freqüentemente utilizada como critério na identificação dos alimentos. As cinzas contém cálcio, magnésio, ferro, fósforo, chumbo, mercúrio e outros componentes minerais. O teor muito alto de cinzas indica a presença de adulterantes.

2.3.5. Açúcares

Açúcares são geralmente sólidos cristalinos, incolores e têm sabor doce. São os compostos naturais com sabor doce mais conhecidos e, entre eles, a sacarose é um dos adoçantes mais antigos, uma vez que os primeiros documentos escritos encontrados já fazem referências a esse composto (BOBBIO & BOBBIO, 1985).

Na análise de alimentos, a identificação dos açúcares presentes numa amostra quase sempre depende da natureza dos produtos. Em muitos casos, uma simples medida físico-química é suficiente para sua determinação, em outros, torna-se necessário uma separação dos açúcares componentes (LARA *et al.*, 1976).

De acordo com CHITARRA (1998), os principais açúcares encontrados nos frutos são a glicose, a frutose e a sacarose, variando suas concentrações, dependendo da espécie e do cultivar. Geralmente com a maturação dos frutos, o teor de açúcares aumenta. O teor de açúcares individuais (glicose, sacarose e frutose) é importante quando se deseja quantificar o grau de doçura do produto, uma vez que o poder adoçante desses açúcares é variável. Os açúcares solúveis presentes nos frutos, na forma livre ou combinada, são responsáveis pela doçura, pelo “flavor”, através do balanço com os ácidos; pela cor atrativa, como derivados das

antocianidinas; e pela textura, quando combinados adequadamente com polissacarídeos estruturais.

Para AWAD (1993), a concentração de açúcares na maioria das polpas de frutas fica em torno de 10%, mas frutas como banana, manga e uva apresentam valores superiores.

2.3.6. Pectina

A pectina é o polissacarídeo conhecido a muito tempo e, até hoje, o mais importante na indústria de alimentos que, nos últimos trinta ou quarenta anos vem, sendo utilizado na forma de pó, como ingrediente de grande valor para a fabricação de geléias. Inicialmente, apenas um tipo de pectina era utilizada e sua qualidade era avaliada somente pelo seu grau de geleificação. Depois, outras substâncias foram descobertas, derivadas das pectinas, como também outros termos técnicos foram surgindo. A exemplo dessas novas descobertas, citamos as pectinas de baixo teor de metoxilas (BOBBIO & BOBBIO, 1985).

Pectinas são componentes encontrados em muitas frutas. Na presença de açúcares e ácidos, a pectina tende a formar um gel, disso decorre a sua grande importância nos produtos derivados das frutas. Os métodos de determinação das pectinas se baseiam na sua extração por água quente seguida da precipitação com álcool e, após purificação, a pesagem na forma de pectato de cálcio ou ácido livre (LARA *et al.*, 1976).

As substâncias pécticas são os principais componentes químicos dos tecidos responsáveis pelas mudanças de consistência e textura dos frutos e hortaliças. Consideradas uma das mais importantes na matéria-prima, destinada a indústria, por agirem como substâncias estabilizadoras de sucos (CHITARRA & CHITARRA, 1990).

NAGY *et al.* (1993) afirmaram que a presença de substâncias pécticas aumentam a viscosidade, dificultando a clarificação e concentração dos sucos.

O cupuaçu possui uma quantidade de pectina comparável ao da maçã, oscilando entre 390 a 850mg/100g, enquanto que na maçã esse valor poderá alcançar até 709mg/100g, dado

que favorece a fabricação de néctar, geléias e outros doces pastosos (BARBOSA *et al.*, 1978 e CHAAR, 1980).

Na Tabela 2.3, pode-se observar teores de pectina em algumas frutas variando de 0,02 a 0,70g/100g de pectato de cálcio.

Tabela 2.3. Conteúdo de pectina em algumas frutas

Fruta	Pectina (g % de pectato de cálcio)
Cajá	0,35
Bacuri	0,12
Cupuaçu	0,39
Muruçi	0,02
Maçã	0,70

Fonte: SILVA *et al.* (1999); BARBOSA *et al.* (1978); CHAAR (1980)

2.3.7. Umidade

A água contida nos alimentos é excelente meio de transmissão de calor, sendo eficiente tanto para resfriar quanto para aquecer. Existe pelo menos dois tipos de água contida nos alimentos: a água livre, fracamente ligada ao substrato e que funciona como solvente, permitindo o crescimento de microrganismos e as reações químicas; e a água combinada, fortemente ligada ao substrato, mais difícil de ser eliminada, e não é utilizada como solvente nem para o crescimento de microrganismos e nem para reações químicas (CASTRO *et al.*, 1998).

De acordo com OLIVEIRA (1997), o teor de água presente em qualquer alimento é de suma importância para a determinação de procedimentos necessários para o processamento e armazenamento. É uma das determinações mais difíceis de executar, visto que os métodos usuais para sua quantificação envolvem a destilação da água presente no alimento e, com isto, outros compostos voláteis também são evaporados. Em função da temperatura à que é submetida à amostra para a evaporação da água presente, pode haver caramelização de compostos tipo açúcares e proteínas, além da degradação de outros componentes.

A umidade corresponde à perda em peso sofrida pelo produto quando aquecido em condições nas quais a água é removida. Na realidade, não é só a água é removida, mas também outras substâncias se volatilizam nessas condições. O resíduo obtido no aquecimento direto é chamado de resíduo seco. O aquecimento direto da amostra a 105°C é o processo mais usual (LARA *et al.*, 1976).

Através do estudo de caracterização físico-química e química da polpa do cupuaçu, BARBOSA *et al.* (1978) encontraram valores de 89% de umidade para polpa integral. Outros pesquisadores, como CHAAR (1980) e OLIVEIRA (1981) observaram valores em torno de 86,84% e 87,80%, respectivamente.

2.3.8. Vitamina C

A vitamina C é encontrada em concentrações razoáveis em todas as plantas superiores. Os vegetais verdes frescos e as frutas cítricas são considerados fontes extremamente rica de vitamina C. A principal causa da sua degradação é a oxidação aeróbica ou anaeróbica, ambas levam a formação de furaldeídos, compostos que polimerizam facilmente, com formação de pigmentos escuros. É também rapidamente destruída pela ação da luz (BOBBIO & BOBBIO, 1985).

Entre as frutas ricas em ácido ascórbico, destaca-se a cereja do Pará com o teor de 1.790mg/100g de ácido ascórbico, seguida do caju, com suas variedades amarela e vermelha; a goiaba; a manga, as frutas cítricas e um grande número de outras frutas (FRANCO, 1998).

Na Tabela 2.4, são apresentadas algumas frutas com seus teores de vitamina C, sendo algumas delas ainda pouco cultivadas.

Tabela 2.4. Fontes naturais ricas em ácido ascórbico

Frutas	Ácido ascórbico (mg/100g)	Frutas	Ácido ascórbico (mg/100g)
Abacaxi	20-30	Cereja do Pará	1.790
Acerola	1000-4.670	Laranja da china	56,9
Banana	5-10	Maçã	10-30
Cabeludinha	706-2.417	Melancia	9
Camu-camu	2.950,6	Pinha	125
Caju amarelo	219,7	Uva	35-45

Fontes: COUCEIRO (1985); FRANCO (1998); LEDIN (1958)

Cerca de 90% das necessidades de vitamina C do homem advêm de frutos e hortaliças. É o componente nutricional mais importante; embora na maioria dos frutos seu teor não exceda a 0,3%. Sua quantificação é importante, principalmente, para a padronização de sucos (CHITARRA & CHITARRA, 1990).

A acerola é uma das mais ricas fontes naturais de ácido ascórbico, com teores variando entre 1.000 a 4.670mg/100g, valores esses, comparáveis aos encontrados no camu camu, fruto de planta nativa da Amazônia Central, que apresenta conteúdos de vitamina C, de 2.950,62mg/100g de polpa integral; e a fruta cabeludinha com cerca de 2.500 a 2.900 mg/100g de polpa integral. Estas frutas encontram-se entre as principais fontes de vitamina C (ANDRADE *et al.*, 1991; FONSECA *et al.*, 1969).

De acordo com BRASIL & GUIMARÃES (1998), a maior perda de vitamina C se dá com o aquecimento dos alimentos. De um modo geral, sua estabilidade é aumentada com o abaixamento da temperatura, procedimento que não evita as possíveis perdas no congelamento, ou armazenamento a baixas temperaturas.

BARBOSA *et al.* (1978) avaliando o comportamento do néctar do cupuaçu, envasados em latas de 250ml com revestimento interno em verniz, durante o armazenamento, à temperatura ambiente (26-28°C), verificaram uma redução no teor de vitamina C em torno de 27%, após 15 meses de estocagem.

2.4. Propriedades termofísicas

É de primordial importância o conhecimento das propriedades térmicas dos materiais biológicos para a elaboração de projetos de equipamentos que envolvem aquecimento, resfriamento, evaporação, separação, projeto de embalagens e armazenamento. Muitos alimentos possuem características que tornam a condução o modo primário de transferência de calor durante o processamento térmico.

O uso das equações de transferência de calor e massa necessita do conhecimento dos materiais envolvidos e a falta de dados de propriedades termofísicas torna limitado o estudo dessas operações. Para se estimar a quantidade de energia envolvida num processo, faz-se necessário conhecer: a massa específica, difusividade térmica, o calor específico e a condutividade térmica do material.

2.4.1. Massa específica

A massa específica é uma propriedade física de extrema importância na caracterização, identificação e utilização de substâncias ou de materiais. Muitos processos químicos, tal como a fermentação, são controlados através da medida de massa específica (SILVA *et al.*, 1990).

De acordo com CECCHI (1999), a medida da massa específica é também aplicada na determinação da concentração de soluções puras de açúcar em produtos açucarados, de álcool em bebidas alcoólicas, de sólidos solúveis em suco de tomate em leite; e de adulterações e textura de frutas.

Os dados de massa específica são necessários para projetar e avaliar equipamentos de processamento de alimentos, tais como evaporadores, bombas, filtros e misturadores, e servem ainda como índice de qualidade do produto final (ALVARADO & ROMERO, 1989).

A massa específica de líquidos pode ser determinada experimentalmente através da balança de Westphal, hidrômetros e de picnômetros. Os dois primeiros métodos são baseados

no princípio de flutuação de Arquimedes, o procedimento de medição da massa específica é simples, direto e conveniente desde que uma quantidade razoável de amostra esteja disponível. A determinação em picnômetros é baseada na medida da massa da amostra em um recipiente de volume conhecido, dando resultados precisos, que são construídos e graduados de modo a permitir pesagem de volumes exatamente iguais de líquidos, a uma dada temperatura. Da relação estabelecida entre as massas e os volumes resulta a massa específica dos mesmos à temperatura de determinação (LARA *et al.*, 1976).

A massa específica pode ser também determinada através de equações empíricas. Alguns pesquisadores da área sugerem equações para o cálculo da massa específica de produtos alimentícios baseadas em parâmetros da caracterização físico-química da amostra.

CHOI & OKOS (1983) obtiveram equações para o cálculo da massa específica do suco de tomate para uma faixa de temperatura de 20 a 150°C.

$$\rho = \rho_w \cdot X_w + \rho_s \cdot X_s \quad (2.1)$$

$$\rho_w = 999,89 - 0,060334T - 0,0036710T^2 \quad (2.2)$$

$$\rho_s = 1469,3 + 0,54667T - 0,0069646T^2 \quad (2.3)$$

Onde:

ρ = massa específica (kg/m³)

ρ_w = massa específica da água (kg/m³)

ρ_s = massa específica dos sólidos (kg/m³)

X_w = fração mássica da água (adimensional)

X_s = fração mássica dos sólidos (adimensional)

T = temperatura (°C)

ALVARADO & ROMERO (1989) desenvolveram equações para o cálculo da massa específica (ρ) de sucos e polpas de frutas em diferentes concentrações e temperaturas. A Equação 2.4 é válida para uma faixa de temperatura de 0 a 80°C aplicável em sucos e polpas

de frutas em geral, com coeficiente de correlação 0,993. A Equação 2.5 foi obtida para o suco de abacaxi a uma concentração de 13,9°Brix.

$$\rho = 1002 + 4,61^\circ\text{B} - 0,460T + 7,001 \cdot 10^{-3}T^2 - 9,175 \cdot 10^{-5}T^3 \quad (2.4)$$

$$\rho = 1059 - 0,343T + 1,509 \cdot 10^{-3}T^2 - 4,143 \cdot 10^{-5}T^3 \quad (2.5)$$

Onde:

ρ = massa específica (kg/m³)

$^\circ\text{B}$ = concentração (°Brix)

T = temperatura (°C)

Baseado apenas na temperatura, ALVARADO & ROMERO (1989) desenvolveram um modelo para o cálculo da massa específica da polpa de manga (Equação 2.6).

$$\rho = 1087 - 1,064T + 21,887 \cdot 10^{-3}T^2 - 26,160 \cdot 10^{-5}T^3 \quad (2.6)$$

Onde:

ρ = massa específica (kg/m³)

T = temperatura (°C)

A Equação 2.7 foi desenvolvida por Kubota *et al.* (1980 citado por CHOI & OKOS 1986) para predizer a massa específica de soluções de açúcar em função dos sólidos totais (0 a 30%) e da temperatura (10°C a 50°C).

$$\rho = 1098 + 4,26X_s - 0,349(T+273) \quad (2.7)$$

Onde:

ρ = massa específica (kg/m³)

T = temperatura (°C)

X_s = fração mássica dos sólidos (adimensional)

2.4.2. Difusividade térmica

Uma das propriedades térmicas mais utilizada nos cálculos de transferência de calor por condução é a difusividade térmica, definida como da relação entre a condutividade térmica e o calor específico do produto multiplicado por sua massa específica, expressa pela seguinte equação:

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p} \quad (2.8)$$

Onde:

α = difusividade térmica (m^2/s)

k = condutividade térmica ($w/m^{\circ}C$)

C_p = calor específico ($kJ/kg^{\circ}C$)

ρ = massa específica (kg/m^3)

A difusividade térmica é a razão entre a habilidade em transferir calor e a capacidade de armazenar calor, e em situações em que a transferência de calor ocorre em regime transiente, a difusividade térmica torna-se a mais usada das propriedades. Em termos físicos, a difusividade térmica dá uma medida de como a temperatura pode variar quando um material é submetido a uma situação de aquecimento ou resfriamento (LEWIS, 1993).

Utilizando condições de transferência de calor em regime transiente, DICKERSON (1965) construiu um aparato experimental que requer apenas dados de tempo-temperatura que são necessários para os cálculos da difusividade térmica dos alimentos. Como a temperatura da amostra varia linearmente com o tempo, as dificuldades de satisfazer as condições de contorno são mínimas. Simultaneamente, a diferença de temperatura que indica a difusividade térmica é invariável com o tempo, facilitando, portanto, a análise e interpretação dos dados. O método produz dados aplicáveis sobre o intervalo de temperatura através do qual a amostra é aquecida, permitindo o cálculo da difusividade térmica a partir de um único experimento (TELIS, 1992). As vantagens deste método estão relacionadas ao curto tempo onde é realizado o experimento, se comparado a métodos estacionários e, também, ao fato de não ser

necessário conhecer o fluxo de calor. As condições necessárias são satisfeitas quando o termo geral $\frac{\partial T}{\partial t}$, na equação de transferência de calor, é constante, como segue:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = A = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} \right) \quad (2.9)$$

Ao ser estabelecida uma geometria para o aparelho, foram levados em consideração as formas de cilindro infinito e esfera devido a sua inerente característica de auto conservação do calor. O cilindro foi selecionado por permitir a inserção de termopares paralelos ao seu eixo, ao longo de zonas de temperatura constante. Em coordenadas cilíndricas a Equação (2.9) torna-se:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = A = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} \right) \quad (2.10)$$

Quando temos um cilindro longo, isolado nas extremidades, e se não são permitidos gradiente de temperatura paralelos ao eixo dos cilindros, pode-se escrever:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} = 0$$

Similarmente, a ausência de ΔT 's ao redor da circunferência permite equacionar:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} = 0$$

o que conduz:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = A = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) \quad (2.11)$$

Identificando a constante A, tem-se:

$$\frac{A}{\alpha} = \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \quad (2.12)$$

Onde A é igual a constante da velocidade de aquecimento em todos os pontos do cilindro.

Agora que o gradiente de temperatura $\frac{\partial T}{\partial r}$ não é mais dependente do tempo, a Equação

(2.12) torna-se:

$$\frac{d^2 T}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dT}{dr} = \frac{A}{\alpha} \quad (2.13)$$

e sua solução torna-se:

$$T = \frac{Ar^2}{4\alpha} + C_1 \ln(r) + C_2 \quad (2.14)$$

As condições de contorno a serem aplicadas à Equação (2.14), são:

$$T = A = T_s \quad (t > 0, r = R_c) \quad (2.15)$$

$$\frac{dT}{dr} = 0 \quad (t > 0; r = 0) \quad (2.16)$$

o que conduz a:

$$T_s - T_c = \frac{A}{4\alpha} (R_c^2 - r^2) \quad (2.17)$$

Tomando $r = 0$, tem-se:

$$T_s - T_c = \frac{AR_c^2}{4\alpha} \quad (2.18)$$

$$\alpha = \frac{AR_c^2}{4(T_s - T_c)} \quad (2.19)$$

Onde:

α = difusividade térmica (m^2/s)

A = constante da velocidade de aquecimento ($^{\circ}C/s$)

R_c = raio do cilindro (m)

T_s = temperatura na superfície do cilindro de raio R ($^{\circ}C$)

T_c = temperatura no centro do cilindro ($^{\circ}C$)

O conhecimento dos parâmetros da Equação (2.19) torna possível a determinação da difusividade térmica das amostras, num espaço de tempo relativamente curto, para a realização do experimento se comparado ao método estacionário, que necessita alcançar o equilíbrio confirmando as vantagens do método de DICKERSON (1965).

Vários autores utilizaram o método de DICKERSON (1965) na determinação da difusividade. VIEIRA (1996) trabalhou com suco de laranja nas concentrações de 11, 16, 23, 27, 33, 40, 43, 54 e 65°Brix, encontrando uma relação cúbica da difusividade térmica com a concentração. SILVA (1997) trabalhou com polpa de abacaxi nas concentrações de 15 e 25°Brix, obtendo os valores de difusividade térmica de $1,84 \times 10^{-7} m^2/s$ e $1,75 \times 10^{-7} m^2/s$, respectivamente. SIMÕES (1997) determinou a difusividade térmica da polpa de manga integral, centrifugada, peneirada e concentrada obtendo os seguintes valores $1,41 \times 10^{-7} m^2/s$, $1,39 \times 10^{-7} m^2/s$, $1,38 \times 10^{-7} m^2/s$ e $1,28 \times 10^{-7} m^2/s$, respectivamente.

Diversos pesquisadores da área desenvolveram equações para a determinação da difusividade térmica. A (Equação 2.20) proposta por RIEDEL (1969), para a difusividade térmica, válida para alimentos com umidade acima de 40% com erro em torno de 5%.

$$\alpha = 0,088 \cdot 10^{-6} + (\alpha_w - 0,088 \cdot 10^{-6}) X_w \quad (2.20)$$

Onde:

α = difusividade térmica (m^2/s)

α_w = difusividade térmica da água (m^2/s)

X_w = fração mássica da água (adimensional)

Segundo Martens (1980 citado por SINGH 1982), os fatores que mais afetam a difusividade térmica dos vários alimentos são a temperatura e a umidade. O autor propôs uma equação de regressão elaborada com o auxílio de 246 valores publicados de difusividade térmica de alimentos, apresentando desvio padrão em torno de $0,014 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$.

$$\alpha = [0,057363X_w + 0,000288(T+273)].10^{-6} \quad (2.21)$$

Onde:

α = difusividade térmica (m^2/s)

X_w = fração mássica da água (adimensional)

T = temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

A Equação 2.22 foi desenvolvida, por CHOI & OKOS (1983), para calcular a difusividade térmica do suco de tomate numa faixa de temperatura entre 20 e 150°C e umidade entre 20 e 95,2%. Os parâmetros de difusividade térmica da água α_w e do soluto α_s variam com a temperatura, e seus desvios padrão determinados foram $0,0004 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ e $0,0032 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, respectivamente.

$$\alpha = \alpha_w X_w + \alpha_s X_s \quad (2.22)$$

Onde:

$$\alpha_w = [0,1363 + 0,00048754T - 0,000001632T^2].10^{-6} \quad (2.23)$$

$$\alpha_s = [0,0095075 + 0,00023474T + 0,0000017608T^2].10^{-6} \quad (2.24)$$

Onde:

α = difusividade térmica (m^2/s)

α_w = difusividade térmica da água (m^2/s)

α_s = difusividade térmica dos sólidos (m^2/s)

X_w = fração mássica da água (adimensional)

X_s = fração mássica dos sólidos (adimensional)

T = temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

2.4.3. Condutividade térmica

De acordo com RAO & RIZVI (1994), a condutividade térmica de um material é a medida da sua capacidade para conduzir calor. Nos alimentos, a condutividade térmica depende principalmente da composição, mas também da presença de espaços vazios e de sua homogeneidade.

Segundo PIETROBON *et al.* (1987), a condutividade térmica é um parâmetro fundamental em qualquer processo térmico, tanto no que diz respeito ao dimensionamento de equipamentos quanto a sua otimização e conservação de energia, bem como a caracterização de substâncias. PELEG & BAGLEY 1983 afirmam que os métodos de determinação da condutividade térmica são, na maioria das vezes, aplicados para fluidos.

Os métodos para a determinação da condutividade térmica estão divididos em dois grupos: o método estacionário e o método transiente. Nos dois métodos, a amostra é submetida a um fluxo de calor conhecido.

A condução de calor, em estado estacionário, tem sido utilizada em distintos experimentos para calcular a condutividade térmica dos alimentos, embora possam ser utilizados experimentos que não estejam em estado estacionário para a determinação da condutividade térmica. De qualquer modo, o que interessa são as relações matemáticas que permitem calcular a condutividade térmica de um determinado alimento em função da temperatura e composição (IBARZ & BARBOSA-CÁNOVAS, 1999). O método estacionário é relativamente simples, porém muito limitado por necessitar de um longo tempo para a realização do experimento. Um exemplo desse método é o uso de placas paralelas para medir a condutividade térmica de um material que possua formas geométricas espaciais (REIDY & RIPPEN, 1971).

O método transiente pode ser utilizado através de qualquer montagem que satisfaça as condições de contorno necessárias para uma solução particular da Equação 2.11. De acordo com este método, a amostra é submetida a um fluxo de calor dependente do tempo e a temperatura é medida num ou mais pontos dentro da amostra ou na sua superfície. As técnicas

da fonte linear de calor e da sonda são bastante utilizadas em medidas de condutividade (Held & van der Drunen, citado por MOHSENIN, 1980).

A Equação 2.25, ou lei de Fourier é conhecida como a equação fundamental de transferência de calor, usada no caso de condução de calor unidimensional através de um sistema. O sinal negativo indica que o fluxo de calor está escoando na direção da diminuição do gradiente de temperatura.

$$q = -k \frac{dT}{dx} \quad (2.25)$$

Onde:

q = massa específica de fluxo de calor (kJ/s)

k = condutividade térmica (W/m°C)

dT/dx = gradiente de temperatura (°C/m)

Existem diversos modelos na literatura para prever a condutividade térmica de alimentos. Alguns deles são baseados no teor de umidade, nos sólidos e na temperatura da amostra.

O modelo apresentado por Riedel (1949 citado por CHOI & OKOS 1986) existe em função da temperatura e da umidade, com precisão de 1% de erro para faixa de temperatura de 10 a 80°C.

$$k = (326,58 + 1,0412T - 0,00337T^2) \cdot (0,46 + 0,54X_w) \cdot 1,73 \cdot 10^{-3} \quad (2.26)$$

Onde:

k = condutividade térmica (W/m°C)

X_w = fração mássica da água (adimensional)

T = temperatura (°C)

SWEAT & PARMELLEEE (1978) sugeriram um modelo linear baseado no conteúdo de umidade para produtos derivados do leite e margarinas, com precisão de $\pm 5\%$. O efeito da temperatura não foi enfatizado pelos referidos pesquisadores.

$$k = 0,141 + 0,412X_w \quad (2.27)$$

Onde:

k = condutividade térmica (W/m°C)

X_w = fração mássica da água (adimensional)

CHOI & OKOS (1983) desenvolveram um modelo mais completo para o cálculo da condutividade térmica do suco de tomate em função dos sólidos totais e umidade, variando de 20 a 95,2%, para uma faixa de temperatura entre 20 a 150°C.

$$k = k_w X_w + k_s X_s \quad (2.28)$$

Onde :

$$k_w = 0,5747 + 0,001723T - 0,000006722T^2 \quad (2.29)$$

$$k_s = 0,05998 + 0,001593T + 0,000001639T^2. \quad (2.30)$$

Onde:

k = condutividade térmica (W/m°C)

k_w = condutividade térmica da água (W/m°C)

k_s = condutividade térmica dos sólidos (W/m°C)

X_w = fração mássica da água (adimensional)

X_s = fração mássica dos sólidos (adimensional)

T = temperatura (°C)

2.4.4. Calor específico

De acordo com MOHSENIN (1980), nos processos de transferência de calor, a que são submetidos os materiais biológicos, a variação de pressão é muito pequena. Portanto, utiliza-se o conceito de calor específico à pressão constante. Para se determinar a quantidade de energia a ser adicionada ou removida nos processos de aquecimento e resfriamento, faz-se necessário conhecer o valor do calor específico dos alimentos. O conhecimento desse valor nos processos contínuos pode ter influência sobre as dimensões do equipamento.

O calor específico é uma propriedade termodinâmica definida como a quantidade de calor necessária para mudar a temperatura de uma unidade de massa de uma substância em um grau. O calor específico dos alimentos é significativamente afetado pela quantidade de água presente neste alimento e pelo estado físico desta água (LEWIS, 1993).

Para a determinação do calor específico, é necessário o conhecimento de parâmetros como: condutividade térmica (k), difusividade térmica (α) e massa específica (ρ).

$$C_p = \frac{k}{\alpha \rho} \quad (2.31)$$

Onde:

C_p = calor específico (kJ/kg°C)

k = condutividade térmica (W/m°C)

α = difusividade térmica (m²/s)

ρ = massa específica (kg/m³)

Para a determinação experimental do calor específico dos materiais biológicos, pode ser empregado o método das misturas ou o método de calorimetria diferencial de varredura (DSC).

No método das misturas, a amostra com massa e temperatura conhecidas é colocada em um calorímetro, que contém um fluido de massa e calor específico conhecidos. O fluido geralmente utilizado é a água. O conjunto todo é agitado até que o equilíbrio térmico seja alcançado. O calor específico é calculado através do balanço global de massa e energia em um sistema isolado termicamente.

O seguinte esquema mostra como está relacionado este balanço.

Calor perdido pela amostra = calor ganho pela água + calor ganho pelo calorímetro

$$Cp_a = \frac{(Cp_w \cdot M_w \cdot (T_c - T_w) + Cp_c \cdot M_c \cdot (T_i - T_c))}{M_a \cdot (T_i - T_c)} \quad (2.32)$$

Onde:

Cp_a = calor específico da amostra (kJ/kg°C)

Cp_w = calor específico da água (kJ/kg°C)

M_w = massa de água adicionada (kg)

T_c = temperatura de equilíbrio (°C)

T_w = temperatura inicial da água (°C)

Cp_c = calor específico do calorímetro (kJ/°C)

M_c = massa do calorímetro (kg)

T_i = temperatura inicial da amostra e do calorímetro (°C)

M_a = massa da amostra (kg)

A rapidez e a precisão com que se realiza o método de calorimetria diferencial de varredura (DSC) conquistaram a preferência de muitos pesquisadores. No entanto, a execução deste método torna-se caro. Neste método, a quantidade de energia necessária para mudar a temperatura da amostra é comparada com a energia necessária para mudar a temperatura de um material referência, a uma mesma taxa de aquecimento. No calorímetro diferencial de varredura, a quantidade de material a ser utilizada para a análise é muito pequena (miligramas). Entretanto, a desvantagem de trabalhar com amostras nem sempre homogêneas é compensada pela rapidez com que se pode fazer as repetições. O DSC apresenta algumas desvantagens com o alto custo dos equipamentos de precisar de cuidados específicos na preparação da amostra, o que exige a presença de técnicos especializados.

Algumas equações foram desenvolvidas para o cálculo do calor específico utilizando valores de características físico-química e química do produto. Siebel (1892 citado por CHOI & OKOS 1986) desenvolveu uma equação para o cálculo do calor específico de produtos alimentícios com altos conteúdos de água.

$$Cp = 0,837 + 3,349X_w \quad (2.33)$$

Onde:

C_p = calor específico (kJ/kg°C)

X_w = fração mássica da água (adimensional)

DICKERSON (1968) desenvolveu uma expressão que tem sido usada consideravelmente para produtos alimentícios com alto conteúdo de umidade. Essa equação tem sido usada com bastante frequência em sucos de frutas que tenham o conteúdo de água acima de 50%.

$$C_p = 1,675 + 2,512X_w \quad (2.34)$$

Onde:

C_p = calor específico (kJ/kg°C)

X_w = fração mássica da água (adimensional)

Afim de obter uma aproximação razoável no cálculo do calor específico, Lamb (1976 citado por CHOI & OKOS 1986) sugeriu um modelo baseado no teor de umidade de gêneros alimentícios para temperaturas acima do ponto de congelamento.

$$C_p = 1,465 + 2,721X_w \quad (2.35)$$

Onde:

C_p = calor específico (kJ/kg°C)

X_w = fração mássica da água (adimensional)

Na Tabela 2.5 são apresentados valores de difusividade térmica, condutividade térmica, calor específico e massa específica de polpas de frutas tropicais.

Tabela 2.5. Valores de difusividade e condutividade térmica, calor específico e massa específica de polpas de frutas.

Produto	Umidade (g/100g)	Massa específica a 40°C (kg/m ³)	Cp J/kgK	α^* (m ² /s)	K (W/mK)
Abacate	75,9	973	3442	1,16	0,39
Banana	75,5	968	3308	1,38	0,44
Cereja	74,9	977	3243	1,55	0,49
Pêssego	87,4	951	3422	1,57	0,51
Morango	91,8	963	3699	1,47	0,52
Goiaba	86,4	1006	3512	1,40	0,49
Lima	90,1	967	3675	1,32	0,47
Tangerina	87,3	1029	3634	1,31	0,49
Maçã	86,8	870	3523	1,30	0,40
Melão	93,7	977	3667	1,59	0,57
Amora	86,7	960	3612	1,60	0,55
Laranja	85,3	1020	3602	1,56	0,57
Mamão	89,5	965	3444	1,33	0,44
Pêra	82,1	977	3589	1,61	0,56
Abacaxi	85,3	810	3410	1,81	0,50
Melancia	92,6	972	3899	1,37	0,52
Toronja	88,3	1003	3561	1,30	0,46
Uva	81,6	981	3503	1,25	0,43

Fonte: ALVARADO (1994)

(*) Temperatura inicial da amostra (20°C), do banho de água (65°C)

3. MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento da etapa experimental do trabalho foi conduzido no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola, durante o período de março a dezembro de 2000.

3.1. Matéria-prima

A polpa de cupuaçu foi obtida através do processamento de frutos maduros, adquiridos no comércio local da cidade de Manaus, AM. Os frutos foram selecionados, lavados, despulpados e estocados em temperatura de -20°C , para utilização nos ensaios. Na Figura 3.1 é mostrado o fluxograma das etapas do processamento da polpa integral.



Figura 3.1. Fluxograma das operações realizadas para obtenção da polpa integral, caracterização e determinação das propriedades termofísicas

3.1.1. Processamento da matéria-prima

3.1.1.1. Seleção

A seleção foi feita manualmente com a retirada de frutos verdes e deteriorados, visando obter um material com qualidade uniforme.

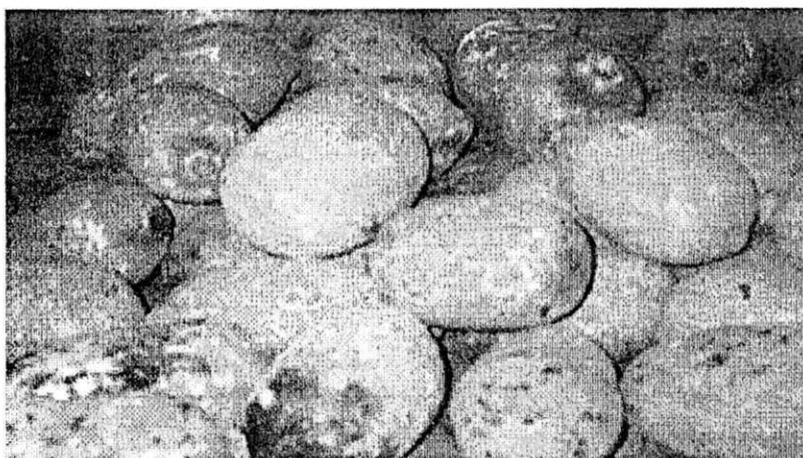


Figura 3.2. Cupuaçus maduros

3.1.1.2. Lavagem

A lavagem foi feita por imersão dos frutos em solução de hipoclorito de sódio a uma concentração de 20ppm, sendo posteriormente retirado o excesso da solução em água corrente.

3.1.1.3. Despulpamento

O despulpamento do fruto do cupuaçu foi feito manualmente, através da quebra da casca e remoção da semente. Posteriormente, homogeneizou-se a polpa obtida do fruto em liquidificador doméstico.



Figura 3.3. Vista da casca parcialmente quebrada do cupuaçu

3.1.1.4. Acondicionamento

A polpa integral foi acondicionada em embalagens de polietileno de baixa massa específica com capacidade para 500g.

3.1.1.5. Congelamento e armazenamento

O material foi congelado em freezer horizontal a -20°C onde permaneceu armazenado para a utilização nos ensaios experimentais.

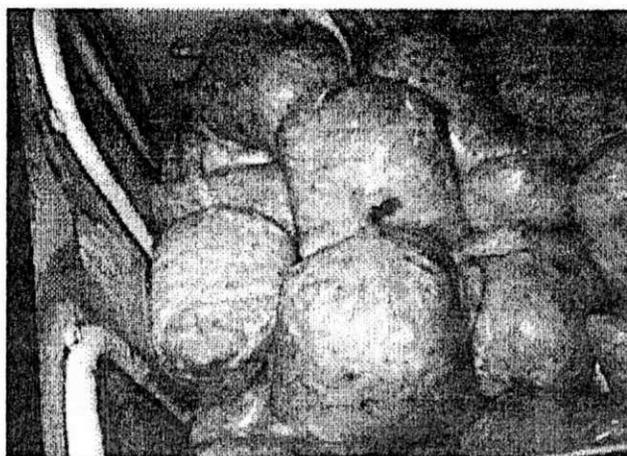


Figura 3.4. Armazenamento em freezer da polpa do cupuaçu

3.2. Caracterização físico-química e química da polpa integral

3.2.1. pH

O pH foi determinado pelo método potenciométrico, em pHmetro da marca Analyser modelo pH300, previamente calibrado com soluções tampões de pH 7,0 e 4,0.

3.2.2. Sólidos solúveis (°Brix)

O °Brix foi determinado através da leitura direta em refratômetro tipo Abbe, marca Atago.

3.2.3. Acidez total titulável

A acidez foi determinada segundo o método da AOAC (1984) e os resultados foram expressos em porcentagem de ácido cítrico.

3.2.4. Cinzas

Determinadas utilizando o método descrito pela AOAC (1984). Os resultados foram expressos em porcentagem (p/p).

3.2.5. Açúcares redutores , não redutores e totais

Os açúcares redutores e totais foram determinados através da metodologia descrita pela AOAC (1984). Ambos os resultados foram expressos em porcentagem de glicose (p/p). O teor de açúcares não redutores foi obtido pela diferença entre os açúcares redutores e totais e o resultado foi expresso em porcentagem de sacarose (p/p).

3.2.6. Pectina

Foi determinada através da metodologia descrita em PEARSON (1970), que se baseia na neutralização de carga dos resíduos de ácidos urônicos livres pelos íons de cálcio, provocando a gelificação da pectina e a sua precipitação. Os resultados foram expressos em porcentagem de pectato de cálcio (p/p).

3.2.7. Sólidos totais e umidade

Os sólidos totais e a umidade foram determinados através do método descrito pelo INSTITUTO ADOLFO LUTZ (LARA *et al.*, 1976), onde a água é evaporada faz-se a pesagem do resíduo não volatilizado. Os resultados foram expressos em porcentagem (p/p).

3.2.8. Sólidos insolúveis e solúveis

Os sólidos insolúveis e solúveis foram determinados pelo método descrito pelo INSTITUTO ADOLFO LUTZ (LARA *et al.*, 1976), que se baseia na retenção dos sólidos insolúveis em papel de filtro após sua dissolução em água quente e na evaporação do filtrado para a obtenção dos sólidos solúveis.

3.2.9. Ácido ascórbico

O ácido ascórbico foi determinado pelo método da AOAC (1984) através da redução do 2,6-diclorofenol indofenol-sódio (DCF_I) pelo ácido ascórbico, modificado por BENASSI (1990), que substituiu-se o ácido metafosfórico por ácido oxálico. Os resultados foram expressos em mg/100g de polpa.

3.3. Preparação das amostras

Para o estudo das propriedades termofísicas da polpa do cupuaçu, foram utilizados três tipos de amostras: integral, 9°Brix e peneirada. Esta divisão visou estudar polpas de cupuaçu com diferentes proporções de sólidos, sendo produzidas como se segue:

3.3.1. Polpa integral – obtida de acordo com o item 3.1.1

3.3.2. Polpa a 9°Brix – obtida através da diluição da polpa integral com água destilada até obter um teor de sólidos solúveis de 9°Brix.

3.3.3. Polpa peneirada – obtida através do peneiramento da polpa integral em peneiras em aço inoxidável com malha de 0,59mm e do agitador mecânico, marca Pavitest, no nível de agitação máximo, durante 20min.

3.4. Determinação das propriedades termofísicas

3.4.1. Massa específica

A massa específica foi determinada em seis repetições de acordo com as seguintes temperaturas 10°C, 20°C, 30°C, 40°C e 50°C, utilizando picnômetro de vidro de 25ml, previamente tarado. O picnômetro com a amostra foi colocado em banho termostático até atingir a temperatura desejada. Em seguida, era pesado em balança analítica com precisão de 0,0001g. Para a determinação do volume do picnômetro, foi utilizada água destilada. A massa específica foi obtida através da razão entre a massa da amostra e o volume do picnômetro.

Para a calibração do picnômetro, utilizou-se da seguinte equação:

$$V = \frac{m_w}{\rho_w} \quad (3.1)$$

Onde:

V = volume do picnômetro (m³)

m_w = massa de água (kg)

ρ_w = massa específica da água (kg/m³)

Na determinação da massa específica experimental da amostra, foi utilizada a seguinte equação:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3.2)$$

Onde:

ρ = massa específica da amostra (kg/m^3)

m = massa da amostra (kg)

V = volume do picnômetro (m^3)

Para a determinação da massa específica teórica, foram utilizadas as equações apresentadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Equações para o cálculo de massa específica de produtos alimentícios

Produto	Fonte	Equação
		$\rho = \rho_w \cdot X_w + \rho_s \cdot X_s$
Suco de tomate	CHOI & OKOS (1983)	onde: $\rho_w = 999,89 - 0,060334T - 0,003671T^2$ $\rho_s = 1469,3 + 0,54667 - 0,0069646T^2$
Sucos e polpas de frutas em geral	ALVARADO & ROMERO (1989)	$\rho = 1002 + 4,61^\circ\text{B} - 0,460T + 7,001 \cdot 10^{-3}T^2 - 9,175 \cdot 10^{-5}T^3$
Suco de abacaxi	ALVARADO & ROMERO (1989)	$\rho = 1059 - 0,343T + 1,509 \cdot 10^{-3}T^2 - 4,143 \cdot 10^{-5}T^3$
Polpa de manga	ALVARADO & ROMERO (1989)	$\rho = 1087 - 1,064T + 21,887 \cdot 10^{-3}T^2 - 26,160 \cdot 10^{-5}T^3$
Solução de açúcar	Kubota et al. (1980 citado por CHOI & OKOS 1986)	$\rho = 1098 + 4,26X_s - 0,349(T+273)$

Onde:

ρ = massa específica (kg/m^3)

ρ_w = massa específica da água (kg/m^3)

ρ_s = massa específica dos sólidos (kg/m^3)

X_w = fração de massa da água (adimensional)

X_s = fração de massa dos sólidos (adimensional)

T = temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

B = concentração ($^{\circ}\text{Brix}$)

3.4.2. Difusividade térmica

A difusividade térmica das diferentes amostras de cupuaçu foi determinada com o auxílio de um aparato semelhante ao utilizado por DICKERSON (1965). A montagem consistiu de uma cápsula metálica cilíndrica com termopares, conectados a um indicador de temperatura e um banho termostático com agitação (Figura 3.5).

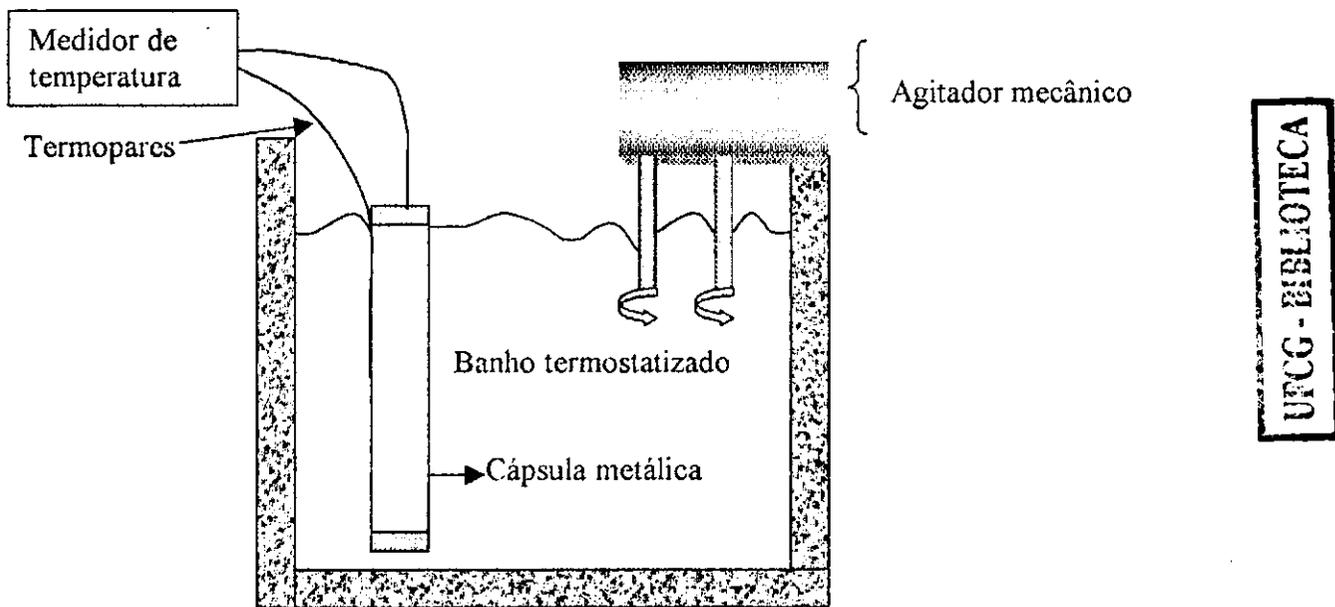


Figura 3.5. Esquema do aparato utilizado para a determinação da difusividade térmica

A cápsula cilíndrica foi construída com material de alta condutividade térmica (latão cromado) e isolado termicamente nas extremidades com rolhas de nylon torneado. Dois termopares foram colocados, um na superfície externa e o outro no centro da cápsula cilíndrica, acoplados a um medidor de temperatura. As dimensões do cilindro eram: 0,049m de diâmetro interno, 0,30m de comprimento externo e 0,23m de comprimento útil interno.

Em cada experimento, a cápsula cilíndrica era preenchida com as amostras de polpa de cupuaçu e mergulhada no banho termostático com agitação mecânica. Para evitar a convecção natural, acrescentou-se à amostra cerca de 1% de ágar. O banho termostático aquecia a uma taxa constante de 0,5°C/min, satisfazendo o requisito exigido pelas condições da montagem de $\frac{\partial T}{\partial t}$ ser constante. No momento em que o banho era ligado, um cronômetro era acionado; e as temperaturas do centro (T_c) e da superfície do cilindro (T_s) eram registradas em intervalos de 2min até aproximadamente 70min.

Tendo em vista as condições em que foi conduzido o experimento, a difusividade térmica pôde ser determinada utilizando a Equação (3.3) proposta por DICKERSON (1965):

$$\alpha = \frac{AR_c^2}{4(T_s - T_c)} \quad (3.3)$$

Onde:

α = difusividade térmica (m²/s)

A = taxa constante de aquecimento (°C/s)

R_c = raio do cilindro (m)

T_s = temperatura na superfície do cilindro de raio R (°C)

T_c = temperatura no centro do cilindro (°C)

Para se obter os valores da constante da velocidade de aquecimento (A) e ($T_s - T_c$), utilizou-se o gráfico de temperatura (T_s e T_c) versus tempo, construído com os dados experimentais. A constante da velocidade de aquecimento (A) do banho foi obtida através do coeficiente angular da reta representada no gráfico temperatura (T_s) versus tempo e a diferença ($T_s - T_c$) foi obtida quando as curvas (T_s) e (T_c) se tornaram paralelas entre si, o que acontece quando:

$$|(T_s - T_c)_i - (T_s - T_c)_{i+1}| \leq 0,1^\circ\text{C} \quad (3.4)$$

Além das determinações experimentais, também, foram determinadas difusividades térmicas teóricas, com a utilização das equações de ajuste apresentadas por RIEDEL (1969), Martens (1980 citado por SINGH 1982) e CHOI & OKOS (1983), propostas para alimentos (Tabela 3.2).

Tabela 3.2. Equações para o cálculo de difusividade térmica de produtos alimentícios

Produtos	Fonte	Equação
Alimentos em geral	RIEDEL (1969)	$\alpha = 0,088 \cdot 10^{-6} + (\alpha_w - 0,088 \cdot 10^{-6}) X_w$
Alimentos em geral	Martens (1980 citado por SINGH 1982)	$\alpha = [0,146 X_w + 0,000288(T + 273)] \cdot 10^{-6}$
		$\alpha = \alpha_w X_w + \alpha_s X_s$
		onde:
Suco de tomate	CHOI & OKOS (1983)	$\alpha_w = [0,1363 + 0,004875T - 0,000001632T^2] \cdot 10^{-6}$
		$\alpha_s = [0,009508 + 0,000234T + 0,000001761T^2] \cdot 10^{-6}$

Onde:

α = difusividade térmica (m^2/s)

α_w = difusividade térmica da água (m^2/s)

α_s = difusividade térmica dos sólidos (m^2/s)

X_w = fração mássica da água (adimensional)

X_s = fração mássica dos sólidos (adimensional)

T = temperatura ($^\circ\text{C}$)

3.4.3. Calor específico

O calor específico foi determinado por um calorímetro de mistura, que se baseia no balanço de energia após o equilíbrio térmico entre uma amostra de massa e temperatura conhecidas e uma quantidade de água de massa e temperatura também conhecidas, colocadas no interior de um recipiente isolado termicamente (calorímetro).

O calorímetro foi construído com uma ampola de garrafa térmica comercial com capacidade para 1000ml, envolvida por uma camada de 5cm de isolante térmico (lã de vidro) e tendo como invólucro um cilindro de PVC de 15cm de diâmetro (Figura 3.6). Na rolha de borracha, que serviu de tampa para a ampola, foi introduzida a haste de um termopar com precisão de $0,1^{\circ}\text{C}$, através do qual foram medidas as temperaturas.

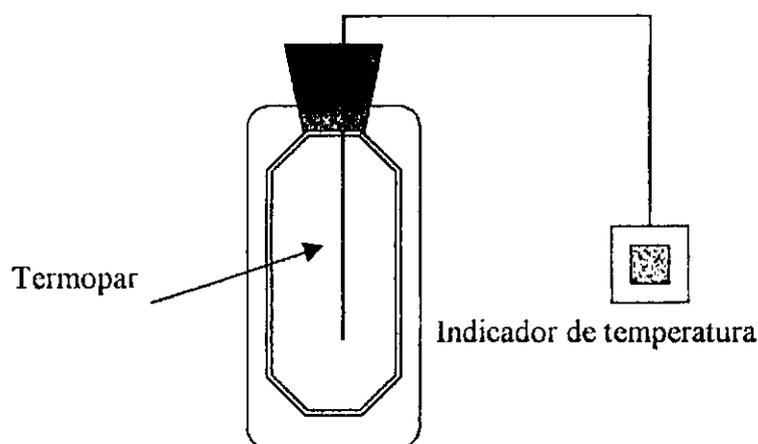


Figura 3.6. Desenho do calorímetro de mistura

Para as determinações do calor específico foram utilizadas amostras de polpa integral, 9°Brix e peneirada. As amostras foram embaladas em sacos (20cm x 7cm) de polietileno de baixa massa específica, termoseladas e imersas em um banho termostático a uma temperatura de 30°C , por um período de aproximadamente 30min, suficiente para atingir o equilíbrio térmico com o banho.

As determinações foram feitas a partir dos seguintes passos:

- Colocou-se cerca de 100g de água à temperatura ambiente no calorímetro;
- Fechou-se o aparelho e mediu-se a temperatura interna (T_1);
- Cerca de 100g de água, a uma temperatura de aproximadamente 2°C (T_2), foram adicionadas ao calorímetro;
- Agitou-se o calorímetro durante 4min para que a temperatura interna atingisse o equilíbrio (T_3);

e) Foi utilizado o balanço de calor, abaixo descrito, para a determinação da capacidade calorífica do calorímetro:

$$c_1 m_1 (T_1 - T_3) + C_{\text{cal}} (T_1 - T_3) = c_2 m_2 (T_3 - T_2) \quad (3.5)$$

Onde:

c_1 e c_2 = calor específico da água (cal/g°C)

m_1 = massa de água à temperatura ambiente (g)

m_2 = massa de água refrigerada (g)

C_{cal} = capacidade calorífica do calorímetro (cal/°C)

O calor específico do produto foi determinado a partir do item (d) e em seguida foi acrescentada uma massa de 100g do produto à temperatura T_4 . Agitou-se e mediu-se a temperatura de equilíbrio T_5 .

O calor específico do produto foi determinado de acordo com a equação:

$$m_p c_p (T_4 - T_5) = c_1 m_3 (T_5 - T_3) + C_{\text{cal}} (T_5 - T_3) \quad (3.6)$$

Em que:

m_p = massa do produto (g);

c_p = calor específico do produto (cal/g°C);

T_4 = temperatura inicial do produto (°C);

T_5 = temperatura de equilíbrio (°C);

m_3 = soma das massas $m_1 + m_2$;

c_1 = calor específico da água (cal/g°C).

Para a determinação do calor específico teórico, foram utilizadas as equações de ajuste apresentadas por Siebel (1892 citado por CHOI & OKOS 1986), DICKERSON (1968) e Lamb (1976 citado por CHOI & OKOS 1986) (Tabela 3.3).

Tabela 3.3. Equações para o cálculo do calor específico de produtos alimentícios

Produto	Modelo	Equação
Produtos alimentícios	Siebel (1892 citado por CHOI & OKOS 1986)	$C_p=0,837+ 3,349X_w$
Produtos alimentícios	DICKERSON (1968)	$C_p=1,675 + 2,512X_w$
Gêneros alimentícios	Lamb (1976 citado por CHOI & OKOS 1986)	$C_p=1,465 + 2,721X_w$

Onde:

C_p = calor específico (kJ/kg°C)

X_w = fração mássica da água (adimensional)

3.4.4. Condutividade térmica

A condutividade térmica (k) das diferentes amostras de polpa de cupuaçu foi calculada através da relação entre a difusividade térmica (α), o calor específico (c_p) e a massa específica (ρ), expressa através da Equação (3.6) descrita abaixo:

$$\alpha = \frac{k}{\rho c_p} \quad (3.6)$$

Para a determinação teórica da condutividade térmica, foram utilizadas equações de ajustes propostas em RIEDEL (1949), CHOI & OKOS (1983) e SWEAT & PARMELLE (1978) para alimentos (Tabela 3.4).

UFCC - BIBLIOTECA

Tabela 3.4. Equações para o cálculo de condutividade térmica de produtos alimentícios

Produtos	Fonte	Equação
Sucos de frutas, leite e solução de açúcar	RIEDEL (1949)	$k = [326,58 + 1,0412T - 0,00337T^2]$ $[0,46 + 0,54X_w]1,73 \cdot 10^{-3}$
Suco de tomate	CHOI & OKOS (1983)	$k = k_w X_w + k_s X_s$ onde: $k_w = 0,5747 + 0,001723T - 0,000006722T^2$ $k_s = 0,5998 + 0,001593T + 0,00000163T^2$
Margarina	SWEAT & PARMELLE (1978)	$k = 0,141 + 0,412X_w$

Onde:

k = condutividade térmica (W/m°C)

k_w = condutividade térmica da água (W/m°C)

k_s = condutividade térmica dos sólidos (W/m°C)

X_w = fração mássica da água (adimensional)

X_s = fração mássica dos sólidos (adimensional)

T = temperatura (°C)

3.5. Análise estatística

As análises estatística dos dados de massa específica, difusividade térmica, calor específico e condutividade térmica foram feitas através do delineamento inteiramente casualizado, com o auxílio do software ASSISTAT versão 6.2 (SILVA, 1996). Os dados de massa específica seguiu um esquema fatorial 3 x 5 (3 concentrações, 5 temperaturas e 6 repetições).

A comparação entre médias foi feita pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade (GOMES, 1987).

3.6. Erros experimentais

O critério utilizado para avaliar o ajuste de cada equação aos dados experimentais foi o erro percentual, apresentado na Equação 3.8.

$$\varepsilon_R = \frac{V_o - V_t}{V_e} \quad (3.7)$$

$$\varepsilon_P = \varepsilon_R \times 100 \quad (3.8)$$

Onde:

ε_R = erro relativo

V_o = valor experimental

V_t = valor teórico

ε_P = erro percentual (%)

A precisão dos métodos experimentais foi avaliada através do desvio padrão e do coeficiente de variação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização físico-química e química

Para o estudo das propriedades termofísicas dos produtos alimentícios, é essencial o conhecimento de suas características físico-químicas e químicas.

As variações que ocorrem com os produtos agrícolas, devido a época, clima e local onde foram produzidos, como, também, seu estágio de maturação, são suficientes para acarretar mudanças em sua composição.

Na Tabela 4.1 são apresentados os valores médios das análises físico-químicas e químicas da polpa integral do cupuaçu obtido a partir de três repetições.

Tabela 4.1. Caracterização físico-química e química da polpa integral do cupuaçu

Composição	Valores Obtidos
pH	3,54 ± 0,018
Sólidos solúveis (°Brix)	12 ± 0,000
Acidez total titulável (% ácido cítrico)	1,69 ± 0,014
Cinzas (%)	0,67 ± 0,014
Açúcares redutores (% glicose)	4,86 ± 0,66
Açúcares totais (% glicose)	7,84 ± 0,31
Açúcares não-redutores (% sacarose)	2,83 ± 0,89
Pectina (mg/100g pectato de cálcio)	415,17 ± 64,3
Sólidos totais (%)	15,08 ± 0,04
Sólidos insolúveis (%)	2,74 ± 0,11
Sólidos solúveis (%)	12,19 ± 0,22
Umidade (% base úmida)	84,92 ± 0,07
Ácido ascórbico (mg/100g de polpa)	33,76 ± 1,58

Os resultados obtidos estão de acordo com os valores recomendados pelo regulamento técnico geral de padrões de identidade e qualidade da polpa de cupuaçu do Ministério da Agricultura e Abastecimento (BRASIL, 2000).

Os resultados obtidos na caracterização físico-química da polpa do cupuaçu integral encontram-se dentro da faixa dos valores obtidos por BARBOSA *et al.* (1978), que caracterizou a polpa do cupuaçu e obteve os seguintes resultados: acidez 2,15% de ácido cítrico, 0,67% de cinzas, 3,03% de açúcares redutores e 390,0mg/100g de pectina. CHAAR (1980) encontrou resultados semelhantes: acidez 2,35% de ácido cítrico, 0,73% de cinzas e 3,0% de açúcares redutores.

Na Tabela 4.2 são apresentados os parâmetros da caracterização físico-química da polpa integral, 9ºBrix e peneirada utilizados nos cálculos das propriedades termofísicas, através dos modelos propostos na bibliografia consultada.

Tabela 4.2. Parâmetros da caracterização físico-química das diferentes amostras da polpa do cupuaçu

Composição	Integral	9ºBrix	Peneirada
Sólidos solúveis (ºBrix)	12	9	12
Sólidos totais (%)	15,08 ± 0,04 b	11,95 ± 0,04 c	15,21 ± 0,10 a
Sólidos insolúveis (%)	2,74 ± 0,11 a	1,83 ± 0,16 c	2,16 ± 0,10 b
Umidade (% base úmida)	84,92 ± 0,04 a	88,05 ± 0,04 b	84,79 ± 0,10 a

Obs.: as médias seguidas pela mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

De acordo com a Tabela 4.2, observa-se que os sólidos insolúveis e totais das amostras de polpa de cupuaçu integral e peneirada apresentam diferenças significativas ao nível de 5% pelo teste de Tukey. Com relação as umidades das polpas integral e peneirada, os resultados apresentam médias seguidas pela mesma letra, indicando estatisticamente que estes valores não diferem entre si. Em se tratando do material a 9ºBrix, verifica-se diferenças significativas em todos os teores determinados, com percentuais de sólidos inferiores as demais amostras.

4.2. Determinação das propriedades termofísicas

4.2.1. Massa específica

Na Tabela 4.3 são apresentados os valores médios da massa específica das diferentes amostras de cupuaçu nas temperaturas estudadas. Verifica-se que, para todas as amostras, ocorreu uma redução da massa específica com o aumento da temperatura. Esse comportamento já era esperado que ocorresse. Os resultados obtidos concordam com os observados por SIMÕES (1997), que trabalhou com polpa de manga nas mesmas temperaturas e obteve resultados semelhantes.

Tabela 4.3. Valores médios da massa específica para as diferentes temperaturas das polpas de cupuaçu integral, 9ºBrix e peneirada

Temperatura (°C)	Massa específica (kg/m ³)		
	Polpa Integral	Polpa 9ºBrix	Polpa peneirada
10	1034,3 ± 0,0006	1038,9 ± 0,0012	1047,8 ± 0,0006
20	1030,5 ± 0,0002	1028,3 ± 0,0009	1044,4 ± 0,0003
30	1027,6 ± 0,0003	1017,1 ± 0,0007	1039,0 ± 0,0006
40	1022,5 ± 0,0003	1005,6 ± 0,0005	1035,1 ± 0,0006
50	1015,3 ± 0,0002	996,9 ± 0,0008	1029,2 ± 0,0005

De acordo com a análise de variância dos valores médios da massa específica da polpa de cupuaçu integral, 9ºBrix e peneirada, apresentada na Tabela 4.4, observa-se que para a fonte de variação estudada (temperatura), os resultados obtidos são significativos ao nível de 1% pelo teste F.



Tabela 4.4. Análise de variância dos valores médios da massa específica das polpas de cupuaçu integral, 9ºBrix e peneirada

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M	F
Temperatura	4	7214,2221	1803,5555	5072,5073**
Amostras	2	6636,7998	3318,3999	9333,0137**
Int. Temperatura x Amostras	8	1370,3114	171,2889	481,7508**
Resíduo	75	26,6666	0,3555	
Total	89	15248,000		

G.L.- Grau de liberdade; S.Q.- soma dos quadrados; Q.M.-Quadrado médio dos desvios e F.-Variável do teste F

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade

Na Tabela 4.5 são apresentados os valores referentes aos tratamentos das médias das massa específicas, seus coeficientes de variação e os desvios mínimos significativos das polpas de cupuaçu integral, 9ºBrix e peneirada. Analisando os resultados tendo em vista as diferentes temperaturas, verifica-se que estes foram significativos a nível de 5% de probabilidade estando representados pelas letras minúsculas. O mesmo pode se dizer da análise feita com os três tipos de amostras, representados pelas letras maiúsculas. De acordo com a média geral, podemos observar que entre a polpa integral e a polpa peneirada a massa específica aumentou em 1,28%. Entre a polpa integral e a polpa a 9ºBrix a massa específica decresceu em torno de 0,84%. Os valores do coeficiente de variação para os dados de massa específica encontram-se todos abaixo de 10%, indicando uma excelente precisão experimental, pois de acordo com GOMES (1987), o coeficiente de variação dá uma idéia da precisão dos resultados experimentais e são considerados baixos, quando inferiores a 10%.

Tabela 4.5. Valores médios da massa específica da polpa de cupuaçu para a interação concentração x temperatura

Temperatura (°C)	Massa específica (kg/m ³)		
	Polpa Integral	Polpa 9°Brix	Polpa peneirada
10	1034,3 aC	1038,9 aB	1047,8 aA
20	1030,5 bB	1028,3 bC	1044,6 bA
30	1027,6 cB	1017,1 cC	1039,0 cA
40	1022,5 dB	1005,6 dC	1035,1 dA
50	1015,3 eB	997,7 eC	1029,2 eA

DMS p/ colunas = 0,9659 representada pelas letras minúsculas; DMS p/ linhas = 0,8257 representada pelas letras maiúsculas; CV = 0,05801; MG = 1027,93.

MG-Média geral, CV-Coeficiente de variação e DMS -Desvio mínimo significativo

Obs.: as médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

Na Figura 4.1 estão representados graficamente os valores experimentais da massa específica das diferentes amostras de cupuaçu em função da temperatura.

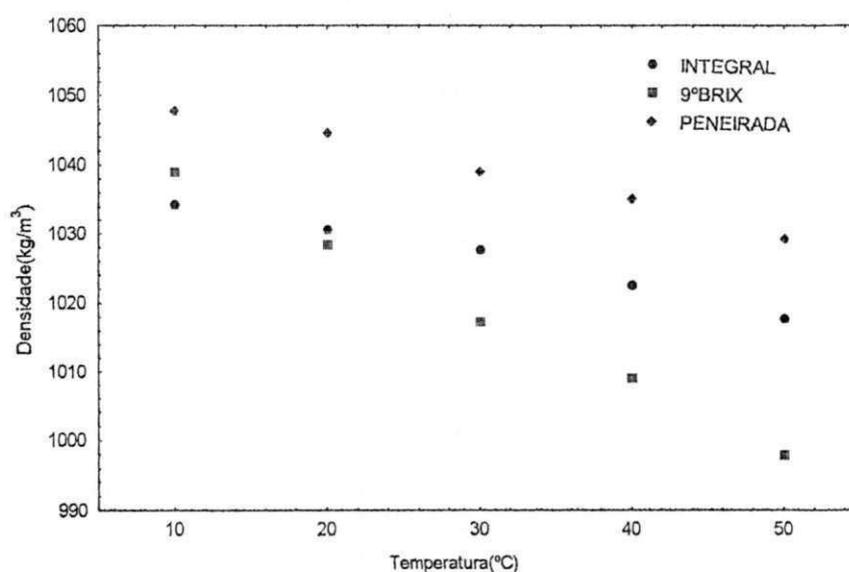


Figura 4.1. Valores médios da massa específica da polpa de cupuaçu integral, 9°Brix e peneirada em função da temperatura

De acordo com a Figura 4.1, observa-se que em todas as amostras a massa específica diminuiu com o aumento da temperatura e que a polpa a 9°Brix apresentou valores menores que os da polpa integral, com exceção da temperatura a 10°C em que o valor foi maior. Para a polpa peneirada, os valores obtidos foram superiores em relação aos da polpa integral e 9°Brix.

Comparando os materiais integral e peneirado, observa-se que a eliminação de parte do particulado insolúvel através do peneiramento resultou em aumento da massa específica, indicando que o material solúvel presente no peneirado da polpa do cupuaçu possui massa específica superior ao material contido no resíduo peneirado. Observando as curvas referentes aos materiais integral e 9°Brix, é possível constatar a influência que os sólidos solúveis exercem sobre a massa específica, com esta propriedade decrescendo com a diminuição do °Brix e aumento da temperatura.

Nas Tabelas 4.6, 4.7 e 4.8 são apresentados os valores teóricos da massa específica obtidos através de modelos encontrados na literatura para as diferentes temperaturas e amostras. Observa-se, nestas tabelas, que os maiores valores do coeficiente de determinação (R^2) são os calculados com o modelo de Kubota (1980 citado por CHOI & OKOS 1986) para solução de açúcar; entretanto, todos os outros modelos tiveram valores acima de 0,95, indicando que a utilização de qualquer um destes também é satisfatória para predizer os valores da massa específica da polpa do cupuaçu nas temperaturas estudadas.

Tabela 4.6. Valores teóricos de massa específica (kg/m^3) calculados a partir de modelos encontrados na literatura para a polpa de cupuaçu integral

Modelos	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)					R^2
	10	20	30	40	50	
Solução de açúcar Kubota (1980 citado por CHOI & OKOS 1986)	1062,8	1059,3	1055,8	1052,4	1048,9	1,0000
Suco de abacaxi (Alvarado & Romero, 1989)	1055,6	1052,7	1048,9	1045,0	1040,4	0,9941
Suco de manga (Alvarado & Romero, 1989)	1078,2	1072,3	1067,7	1062,7	1055,8	0,9953
Polpas e sucos (Alvarado & Romero, 1989)	1053,3	1050,8	1047,3	1044,2	1040,3	0,9951
Suco de tomate (Choi & Okos, 1983)	1068,5	1067,5	1065,7	1063,1	1059,7	0,9519

Tabela 4.7. Valores teóricos de massa específica (kg/m^3) calculados a partir de modelos encontrados na literatura para a polpa de cupuaçu 9°Brix

Modelos	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)					R^2
	10	20	30	40	50	
Solução de açúcar Kubota (1980 citado por CHOI & OKOS 1986)	1050,1	1046,6	1043,1	1039,6	1036,1	1,0000
Suco de abacaxi (Alvarado & Romero, 1989)	1055,6	1052,7	1048,9	1045,0	1040,4	0,9941
Suco de manga (Alvarado & Romero, 1989)	1078,2	1072,3	1067,7	1062,7	1055,8	0,9953
Polpas e sucos (Alvarado & Romero, 1989)	1039,4	1037,0	1033,5	1030,4	1026,5	0,9951
Suco de tomate (Choi & Okos, 1983)	1055,7	1054,5	1052,6	1049,9	1046,4	0,9612

Tabela 4.8. Valores teóricos de massa específica (kg/m^3) calculados a partir de modelos encontrados na literatura para a polpa de cupuaçu peneirada

Modelos	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)					R^2
	10	20	30	40	50	
Solução de açúcar Kubota (1980 citado por CHOI & OKOS 1986)	1064,0	1060,5	1057,0	1053,5	1050,0	1,0000
Suco de abacaxi (Alvarado & Romero, 1989)	1055,6	1052,7	1048,9	1045,0	1040,4	0,9941
Suco de manga (Alvarado & Romero, 1989)	1078,2	1072,3	1067,7	1062,7	1055,8	0,9953
Polpas e sucos (Alvarado & Romero, 1989)	1053,3	1050,8	1047,3	1044,2	1040,3	0,9951
Suco de tomate (Choi & Okos, 1983)	1071,1	1070,2	1068,4	1065,8	1062,4	0,9513

Os valores do erro percentual calculados para os diferentes modelos e amostras são apresentados no Apêndice A (Tabelas A.1 a A.15). Pode-se observar que o erro máximo determinado situa-se em torno de 6%, sendo considerado relativamente pequeno. Verifica-se que, para todas as amostras, os menores erros são aqueles calculados com o modelo de ALVARADO & ROMERO (1989) para sucos e polpas em geral, variando de 0,04 a 2,96%. Ainda em relação a este modelo, existe uma tendência, em todas as amostras, no aumento do erro percentual em ordem crescente com a temperatura. O modelo de Kubota (1980 citado por CHOI & OKOS 1986), para solução de açúcar, apresenta erros percentuais variando entre 1,07% a 3,93%. O modelo de ALVARADO & ROMERO (1989), para polpa de manga, apresenta erro percentual variando de 2,58% a 5,90%. O modelo de CHOI & OKOS (1983) para suco de tomate, apresenta resultados do erro percentual variando de 1,61% a 5,16%.

Nas Figuras 4.2, 4.3 e 4.4, foram graficados os valores experimentais e teóricos das massa específicas das diferentes amostras de cupuaçu em função da temperatura. Observa-se, nestas figuras, que todos os modelos superestimam os valores de massa específica e que esse valores, quando calculados através destes modelos aproximam-se dos valores experimentais. Em todas as temperaturas e para os três materiais, tem-se a visualização da melhor

aproximação do ajuste dos valores de massa específica representada pelo modelo de ALVARADO & ROMERO (1989), para sucos e polpas em geral. As curvas das amostras integral, 9°Brix e peneirada são iguais para os modelos de ALVARADO & ROMERO (1989), para suco de abacaxi e polpa de manga, pois estes modelos são em função apenas da temperatura. Em todas as amostras, as curvas representando as massa específicas obtidas através dos modelos de CHOI & OKOS (1983), para suco de tomate, e o de ALVARADO & ROMERO (1989), para polpa de manga, apresentam maior afastamento da curva dos valores experimentais.

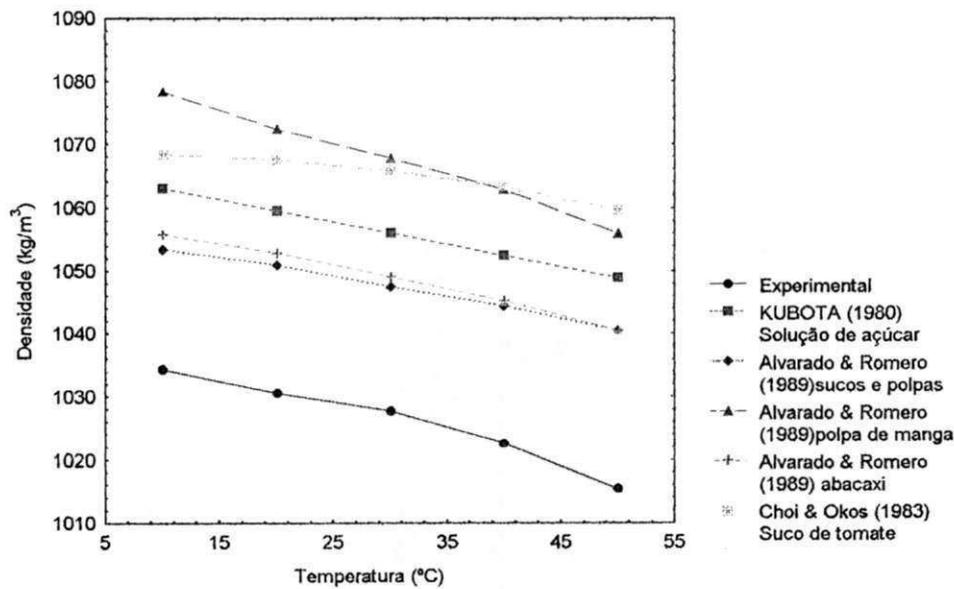


Figura 4.2. Valores experimentais e teóricos da massa específica da polpa integral em função da temperatura

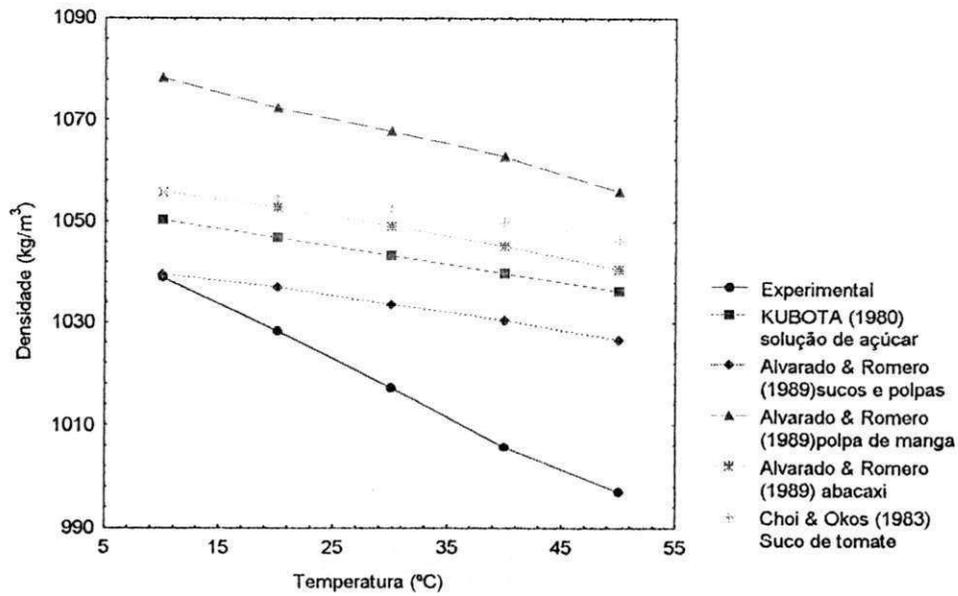


Figura 4.3. Valores experimentais e teóricos da massa específica da polpa do cupuaçu 9ºBrix em função da temperatura

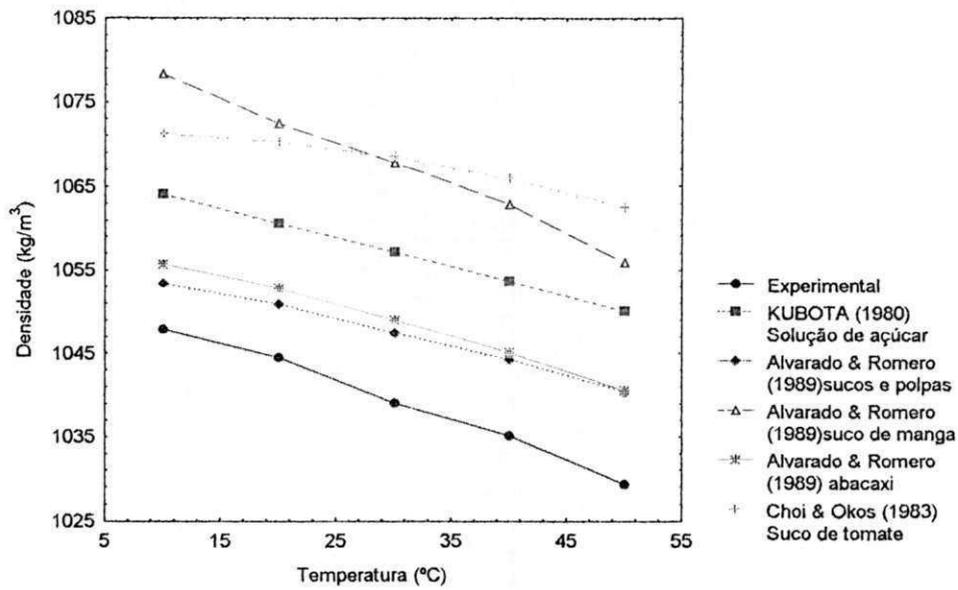


Figura 4.4. Valores experimentais e teóricos da massa específica da polpa peneirada do cupuaçu em função da temperatura

Na Tabela 4.9 são apresentados alguns modelos propostos para o cálculo da massa específica das polpas de cupuaçu em função da temperatura. As equações são do tipo linear, quadrática e polinomial de 3º grau. Verifica-se que em todas as amostras a regressão polinomial de 3º grau apresentou os maiores valores do coeficiente de determinação (R^2); entretanto, as demais equações apresentaram ótimos ajustes com todos os valores de R^2 acima de 0,99.

Tabela 4.9. Modelos de equações propostos para o cálculo da massa específica

	Modelos	A	B	C	D	R^2
Polpa Integral	$\rho = A+BT$	1039,8	-0,46000	-	-	0,98420
	$\rho=A+BT+CT^2$	1035,3	-0,07429	-0,00643	-	0,99521
	$\rho=A+BT+CT^2+DT^3$	1039,5	-0,66429	0,01607	$-2,5 \times 10^{-4}$	0,99933
	Modelos	A	B	C	D	R^2
Polpa 9ºBrix	$\rho = A+BT$	1049,3	-1,06700	-	-	0,99906
	$\rho=A+BT+CT^2$	1051,1	-1,21700	0,0025	-	0,99889
	$\rho=A+BT+CT^2+DT^3$	1046,3	-0,54833	-0,0230	$2,83 \times 10^{-4}$	0,99990
	Modelos	A	B	C	D	R^2
Polpa peneirada	$\rho = A+BT$	1053,05	0,465	-	-	0,99638
	$\rho=A+BT+CT^2$	1051,3	-0,315	-0,0025	-	0,99679
	$\rho=A+BT+CT^2+DT^3$	1051,3	-0,315	0,0025	$1,2 \times 10^{-17}$	0,99679

$\rho(\text{kg/m}^3)$; $T(^{\circ}\text{C})$

4.2.2. Difusividade térmica

Na Tabela 4.10, são apresentada as equações da regressão linear ajustadas para os dados experimentais de temperatura da superfície (T_s) do cilindro de DICKERSON (1965) em função do tempo, em que o coeficiente angular da reta representa a constante da velocidade de aquecimento (A).

Tabela 4.10. Equações da regressão linear, representando a temperatura (T_s) em função do tempo (t)

Amostra	Equação Linear	R^2
Polpa Integral	$T_s = 26,3 + 0,52t$	0,9985
Polpa a 9ºBrix	$T_s = 27,3 + 0,52t$	0,9993
Polpa Peneirada	$T_s = 28,8 + 0,50t$	0,9990

Na Tabela 4.11, são mostrados os valores médios de difusividade térmica da polpa do cupuaçu, calculados através dos parâmetros A, $T_s - T_c$ e R_c . Foi realizada uma comparação entre as médias das amostras, utilizando o teste de Tukey, dos valores de difusividade para verificar a existência de diferenças significativas entre as amostras, diferenças estas que não foram constatadas.

Tabela 4.11. Difusividade térmica da polpa de cupuaçu

Amostra	A (°C/min)	$T_s - T_c$ (°C)	Difusividade Térmica ($\times 10^7 m^2/s$)
Polpa integral	0,52	10,0	1,31±0,06 a
Polpa a 9ºBrix	0,52	9,8	1,32±0,04 a
Polpa peneirada	0,50	9,8	1,27±0,03 a

CV = 3,40%; DMS = 0,11 e MG = 1,303

MG-Média Geral; CV-Coeficiente de variação e DMS-Desvio mínimo significativo

Obs.: as médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

Os valores da difusividade térmica da polpa de cupuaçu integral encontram-se dentro da mesma faixa de valores da polpa integral de manga, analisada por SIMÕES (1997). De acordo ainda com o mesmo autor, não foram verificadas diferenças significativas nas difusividades térmicas das polpas de manga integral, centrifugada e peneirada.

Alguns autores, como ALVARADO (1994), que trabalharam com polpa de mamão; e BHOWMIK & HAYAKAWA (1979) com polpa de maçã e tomate, obtiveram resultados de difusividade térmica que variam de $1 \times 10^{-7} m^2/s$ a $2 \times 10^{-7} m^2/s$. De posse destes dados, verifica-

se que os valores de difusividade térmica determinados experimentalmente estão dentro da faixa de valores encontrados por estes autores.

Na Tabela 4.12, são mostrados os valores de difusividade térmica obtidos a partir de modelos da literatura. Esses valores foram calculados através de parâmetros obtidos da caracterização físico-química da amostra de polpa integral, 9°Brix e peneirada. Comparando os valores dos modelos com os valores experimentais médios, verifica-se que o modelo de RIEDEL (1969) e o modelo de CHOI & OKOS (1983), nas amostras de polpa integral, 9°Brix e peneirada, apresentaram valores inferiores se comparados aos valores experimentais. O inverso ocorreu com o modelo de Martens (1980 citado por SINGH 1982), em relação aos dados experimentais.

Tabela 4.12. Valores de difusividade térmica calculados através de modelos associados a parâmetros da polpa integral, 9°Brix e peneirada

Modelos	Difusividade Térmica ($10^7 \text{ m}^2/\text{s}$)		
	Polpa Integral	Polpa 9°Brix	Polpa Peneirada
Alimentos em geral (Riedel, 1969)	1,25	1,30	1,25
Alimentos em geral Martens, (1980 citado por SINGH 1982)	1,33	1,34	1,33
Suco de tomate (Choi & Okos, 1983)	1,25	1,29	1,25

Os valores dos erros percentuais estão representados nas Tabelas 4.13, 4.14 e 4.15. Observando os erros em todas as amostras determinados para os três modelos, constata-se que seus valores variam numa faixa entre 1,51%, para o menor erro, e 4,72%, para o maior erro. O modelo de RIEDEL (1969) apresentou para a polpa integral erros maiores que a polpa 9°Brix e peneirada, o que não ocorreu com o modelo de Martens (1980 citado por SINGH 1982), que só apresentou valores superiores para a amostra de polpa peneirada. Os melhores resultados neste modelo encontra-se na amostra de polpa 9°Brix. Os erros percentuais para o modelo de CHOI & OKOS (1983) foram maiores para a polpa integral e decresceram em relação as amostras 9°B e peneirada. No Apêndice B (Figuras B.1, B.2 e B.3) estão representados os diagramas tempo-temperatura da difusividade térmica das três amostras de polpa do cupuaçu.

Tabela 4.13. Valores do erro percentual da difusividade térmica entre os dados experimentais e os modelos da literatura para a polpa integral

Modelos	$\alpha_{\text{teórico}} (10^7 \text{ m}^2/\text{s})$	$\alpha_{\text{experimental}} (10^7 \text{ m}^2/\text{s})$	Erro percentual (%)
Alimentos em geral (Riedel, 1969)	1,25		4,58
Alimentos em geral Martens, (1980 citado por SINGH 1982)	1,33	1,31	1,52
Suco de tomate (Choi & Okos, 1983)	1,25		4,58

Tabela 4.14. Valores do erro percentual da difusividade térmica entre os dados experimentais e os modelos da literatura para a polpa 9°Brix

Modelos	$\alpha_{\text{teórico}} (10^7 \text{ m}^2/\text{s})$	$\alpha_{\text{experimental}} (10^7 \text{ m}^2/\text{s})$	Erro percentual (%)
Alimentos em geral (Riedel, 1969)	1,30		1,51
Alimentos em geral Martens, (1980 citado por SINGH 1982)	1,34	1,32	1,51
Suco de tomate (Choi & Okos, 1983)	1,29		2,27

Tabela 4.15. Valores do erro da difusividade térmica entre os dados experimentais e os modelos da literatura para a polpa peneirada

Modelos	$\alpha_{\text{teórico}} (10^7 \text{ m}^2/\text{s})$	$\alpha_{\text{experimental}} (10^7 \text{ m}^2/\text{s})$	Erro percentual (%)
Alimentos em geral (Riedel, 1969)	1,25		1,57
Alimentos em geral Martens, (1980 citado por SINGH 1982)	1,33	1,27	4,72
Suco de tomate (Choi & Okos, 1983)	1,25		1,57

4.2.3. Calor específico

Na Tabela 4.16, são mostrados os resultados médios experimentais obtidos para o calor específico para as diferentes amostras de polpa de cupuaçu. Observa-se a correspondência entre os valores de calor específico e o teor de sólidos solúveis. O calor específico das amostras a 9°Brix difere significativamente do calor específico das amostras integral e peneirada, superando-as em pelo menos 14%. Já o calor específico das amostra integral e peneirada não diferem significativamente entre si. Estes resultados indicam uma relação inversa entre o calor específico e o teor de sólidos solúveis, concordando com diversos autores (CHOI & OKOS, 1983; MANOHAR et al., 1990; LAU et al., 1992). Ao mesmo tempo se observa que a redução do teor de sólidos insolúveis do material peneirado não exerceu influência mensurável sobre o calor específico deste material quando comparado com a polpa integral.

Tabela 4.16. Valores médios do calor específico para a polpa de cupuaçu

Amostra	Calor Específico (kJ/kg°C)	Desvio Padrão	Coefficiente de variação (%)
Polpa integral	3,2368 b	0,0198	0,6117
Polpa a 9°Brix	3,7135 a	0,0395	1,0636
Polpa peneirada	3,1831 b	0,0099	0,3110

CV = 0,7745%; DMS = 0,0655 e MG = 3,3778

MG-Média Geral; CV-Coefficiente de variação e DMS-Desvio mínimo significativo

Obs.: as médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Na Tabela 4.17, são mostrados os valores teóricos do calor específico calculados a partir de parâmetros físico-químicos obtidos da polpa integral, 9°Brix e peneirada.

Tabela 4.17. Valores teóricos do calor específico calculados através de modelos da literatura

Modelos	Calor específico (kJ/kg°C)		
	Polpa Integral	Polpa 9°Brix	Polpa Peneirada
Produtos alimentícios Siebel, (1892 citado por CHOI & OKOS 1986)	3,68	3,78	3,67
Produtos alimentícios (Dickerson, 1968)	3,80	3,88	3,80
Produtos alimentícios Lamb, (1976 citado por CHOI & OKOS 1986)	3,77	3,86	3,77

Os calores específicos calculados através dos modelos superaram os valores determinados experimentalmente em todas as amostras. No caso da amostra integral, as diferenças variaram de 13% a 17,6%. No caso da amostra 9°Brix, a diferença variou de 1,9% a 4,6%. Em se tratando do material peneirado, percebe-se diferenças entre 15% e 19,5% entre os resultados teóricos e aqueles obtidos através das determinações experimentais, conforme se vê através dos erros percentuais, cujos valores são apresentados nas Tabelas 4.18, 4.19 e 4.20. Os cálculos dos calores específicos, utilizando os modelos de Siebel (1892 citado por CHOI & OKOS 1986), DICKERSON (1965) e LAMB (1976 citado por CHOI & OKOS 1986) (Tabelas 4.18, 4.19 e 4.20), todos para produtos alimentícios, resultaram em valores de erros percentuais que variaram entre um mínimo 1,88 e o máximo de 19,49%. A amostra de polpa 9°Brix apresentou erros percentuais inferiores a 5%, podendo ser classificados com erros baixos. No caso das amostras integral e peneirada, os valores variaram entre 13,93% a 19,49%.

Tabela 4.18. Valores do erro percentual do calor específico entre os dados experimentais e os modelos da literatura para a polpa integral

Modelos	C_p teórico (kJ/kg°C)	C_p experimental (kJ/kg°C)	Erro percentual (%)
Produtos alimentícios Siebel, (1892 citado por CHOI & OKOS 1986)	3,68		13,93
Produtos alimentícios (Dickerson, 1968)	3,80	3,23	17,64
Produtos alimentícios Lamb, (1976 citado por CHOI & OKOS 1986)	3,77		16,71

Tabela 4.19. Valores do erro percentual do calor específico entre os dados experimentais e os modelos da literatura para a polpa 9°Brix

Modelos	C_p teórico (kJ/kg°C)	C_p experimental (kJ/kg°C)	Erro percentual (%)
Produtos alimentícios Siebel, (1892 citado por CHOI & OKOS 1986)	3,78		1,88
Produtos alimentícios (Dickerson, 1968)	3,88	3,71	4,58
Produtos alimentícios Lamb, (1976 citado por CHOI & OKOS 1986)	3,86		4,04

Tabela 4.20. Valores do erro percentual do calor específico entre os dados experimentais e os modelos da literatura para a polpa peneirada

Modelos	C_p teórico (kJ/kg°C)	C_p experimental (kJ/kg°C)	Erro percentual (%)
Produtos alimentícios Siebel, (1892 citado por CHOI & OKOS 1986)	3,67		15,40
Produtos alimentícios (Dickerson, 1968)	3,80	3,18	19,49
Produtos alimentícios Lamb, (1976 citado por CHOI & OKOS 1986)	3,77		18,55

UNCG - BIBLIOTECA

4.2.4. Condutividade térmica

A condutividade térmica (k) da polpa de cupuaçu foi calculada através da Equação 2.8 de forma indireta, conforme descrita no item 3.4.4, utilizando os valores da massa específica determinada experimentalmente a 30°C, o valor do calor específico do item 4.2.3 e o valor de difusividade do item 4.2.2.

Na Tabela 4.21, são mostrados os valores de condutividade térmica calculados a partir dos dados experimentais.

Tabela 4.21. Valores da condutividade térmica da polpa do cupuaçu

Amostras	Condutividade Térmica (W/m°C)	Desvio Padrão	Coefficiente de variação (%)
Polpa Integral	0,4367 b	0,0189	4,3279
Polpa 9°Brix	0,4996 a	0,0100	2,0016
Polpa Peneirada	0,4210 b	0,0072	1,7102

CV = 2,8810%; MG = 0,4524 e DMS = 0,0320

MG-Média Geral; CV-Coefficiente de variação e DMS-Desvio mínimo significativo

Obs.: as médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade

A partir dos resultados obtidos para a condutividade térmica da polpa do cupuaçu, verifica-se que a redução da concentração dos sólidos solúveis provoca um aumento da condutividade térmica. Como se trata de uma determinação baseada nos valores de difusividade térmica, calor específico e massa específica, as condutividades térmicas determinadas refletem os valores obtidos para essas propriedades. O comportamento observado no calor específico dos três materiais se repetiu nos resultados encontrados para determinação da condutividade. Em contra partida o valor resultante adquirido a partir do material 9° Brix superou aos encontrados nas amostras integral e peneirada, uma vez que estas apresentaram valores aproximados.

Na Tabela 4.22, são mostrados os valores da condutividade térmica calculados a partir de parâmetros físico-químicos da polpa integral, 9ºBrix e peneirada, com alguns modelos da literatura.

Tabela 4.22. Valores de condutividade térmica determinados através dos modelos da literatura

Modelos	Condutividade térmica (W/m°C)		
	Polpa Integral	Polpa 9ºBrix	Polpa Peneirada
Sucos de frutas Riedel, (1949 citado por CHOI & OKOS 1986)	0,5499	0,5600	0,5495
Suco de Tomate (Choi & Okos, 1983)	0,5288	0,5449	0,5282
Margarina (Sweat & Parmellee 1978)	0,4908	0,5037	0,4903

Nas Tabelas 4.23, 4.24 e 4.25, encontram-se os erros percentuais dos resultados de condutividade térmica obtidos através dos modelos e dos resultados experimentais. Observa-se que os valores de erro percentual para as três amostras de polpa de cupuaçu variaram de 0,82% a 30,52%. O modelo de SWEAT & PARMELLEEE (1978), em todas as amostras, apresentou o melhor ajuste. O modelo de Riedel (1949 citado por CHOI & OKOS 1986) apresentou maior valor de erro percentual em todas as amostras de polpa de cupuaçu, não representou satisfatoriamente o comportamento dessa propriedade.

Tabela 4.23. Valores do erro percentual da condutividade térmica entre os dados experimentais e os modelos da literatura para a polpa integral

Modelos	$k_{teórico}$ (W/m°C)	$k_{experimental}$ (W/m°C)	Erro percentual (%)
Sucos de frutas Riedel, (1949 citado por CHOI & OKOS 1986)	0,5499		25,92
Suco de Tomate (Choi & Okos, 1983)	0,5288	0,4367	21,08
Margarina (Sweat & Parmellee 1978)	0,4908		12,38

Tabela 4.24. Valores do erro percentual da condutividade térmica entre os dados experimentais e os modelos da literatura para a polpa 9°Brix

Modelos	$k_{teórico}$ (W/m°C)	$k_{experimental}$ (W/m°C)	Erro percentual (%)
Sucos de frutas Riedel, (1949 citado por CHOI & OKOS 1986)	0,5600		12,08
Suco de Tomate (Choi & Okos, 1983)	0,5449	0,4996	9,06
Margarina (Sweat & Parmellee 1978)	0,5037		0,82

Tabela 4.25. Valores do erro percentual da condutividade térmica entre os dados experimentais e os modelos da literatura para a polpa peneirada

Modelos	$k_{teórico}$ (W/m°C)	$k_{experimental}$ (W/m°C)	Erro percentual (%)
Sucos de frutas Riedel, (1949 citado por CHOI & OKOS 1986)	0,5495		30,52
Suco de Tomate (Choi & Okos, 1983)	0,5282	0,4210	25,46
Margarina (Sweat & Parmellee 1978)	0,4903		16,46

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

- Os resultados obtidos na caracterização físico-química e química da polpa de cupuaçu integral estão de acordo com os valores recomendados pelo regulamento técnico geral de padrões de identidade e qualidade de polpa de fruta do Ministério da Agricultura e Abastecimento.
- A redução no teor de sólidos solúveis na polpa de cupuaçu acarretou diminuição na massa específica, enquanto que a redução no teor de sólidos insolúveis provocou aumento.
- Os valores médios de massa específica determinados para a polpa de cupuaçu, integral, 9ºBrix e peneirada, a temperaturas de 10 a 50°C variaram, respectivamente, entre 1034 e 1015, 1038 e 997 e 1047 e 1029 kg/m³. O modelo de ALVARADO & ROMERO (1989) representou satisfatoriamente os dados experimentais de massa específica, com erros percentuais variando de 0,04 a 2,96%.
- As diferenças nos teores de sólidos não influenciaram a difusividade térmica determinada nas amostras de polpa de cupuaçu integral, 9ºBrix e peneirada, cujas difusividades térmicas não diferiram estatisticamente, tendo como valor médio $1,30 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$. Os modelos de difusividade térmica de RIEDEL, MARTENS e de CHOI & OKOS ajustaram-se bem aos dados experimentais em todas as amostras, com erros percentuais variando de 1,51% a 4,72%.
- Os teores de umidade influenciaram os valores de calor específico em que as amostras a 9ºBrix, com maior umidade, apresentaram maior calor específico. Na redução do teor de sólidos insolúveis na amostra peneirada não influenciou o valor desta propriedade quando comparadas com a polpa integral.
- Os valores obtidos para o calor específico experimental da polpa de cupuaçu integral, 9ºBrix e peneirada foram; 3,2368 kJ/kg°C, 3,7135 kJ/kg°C e 3,1831 kJ/kg°C, respectivamente. Todos os modelos teóricos utilizados para calcular o calor específico resultaram em valores superiores aos encontrados experimentalmente, sendo que o modelo

de SIEBEL (1892 citado por CHOI & OKOS 1986), para produtos alimentícios, foi o que melhor representou os dados experimentais.

- A condutividade térmica experimental das amostras de polpa de cupuaçu integral, 9°Brix e peneirada apresentou os seguintes valores: 0,4367W/m°C, 0,4996W/m°C e 0,4210W/m°C, respectivamente. O modelo de SWEAT & PARMELLEEE (1978) representou o melhor ajuste aos dados experimentais de condutividade térmica nas três amostras de polpa de cupuaçu.

- **SUGESTÕES**

- Como sugestão para trabalhos futuros com polpa de cupuaçu, seria interessante que se fizessem medidas de massa específica com várias concentrações de sólidos solúveis (°Brix) e também com polpa despectinizada.
- Determinar a condutividade térmica da polpa do cupuaçu utilizando um Calorímetro Diferencial de Varredura (DSC). BUHRI & SINGH (1993), utilizaram esta técnica em alimentos sólidos, sendo interessante se fazer este estudo em polpa de cupuaçu.
- Sugere-se que em trabalhos futuro o uso do Calorímetro Diferencial de Varredura (DSC), seja possível para que se possa obter resultados mais conclusivos e relevantes.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADORNO, R. A. C. **Reologia de sucos de frutas tropicais manga, maracujá, mamão e goiaba**. 1997 Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

AGENDA CNPq. Estrangeiros querem cupuaçu. São Paulo: v. 7, n. 11, p. 8. 1985.

ALVARADO, J. D.; ROMERO, C. H. Physical properties of fruits-I-II. Density and viscosity of juices as functions of soluble solids and content and temperature. **Latin American Applied Research** . v. 19, p. 15-21, 1989.

ALVARADO, J. D. Propiedades físicas de frutas. IV. Difusividad y conductividad termica efectiva de pulpas. **Latin American Applied Research** . v. 24, p. 41-47, 1994

ANDRADE, J. S.; GALEAZE, M. A. M.; ARAGÃO, C. G.; CHAVES-FLORES, W. B. Valor nutricional do camu-camu [*Myrciaria dubia* (H. B. K.) Mc. Vaugh] cultivado em terra firme da Amazônia Central. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 13, n. 3, p. 307-311, 1991.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. A.O.A.C. **Official methods of analysis of AOAC international**, WILLIAMS, S. (Ed.) 14. ed. Arlington, 1984. 1141 p.

AWAD, M. **Fisiologia pós-colheita de frutos**. São Paulo: Nobel, 1993. 114 p.

BAGHE-KHANDAN, M. S.; CHOI, Y.; OKOS, M. R. Improved line heart source thermal conductivity probe. **Journal of Food Science**, 1981.

BARBOSA, W. C.; NAZARÉ, R. F. R.; NAGATA, I. Estudos físicos e químicos dos frutos: bacuri (*Platonia insignis*), cupuaçu (*Teobroma grandiflorum*) e murici (*Byrsonima crassifolia*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 1978, v.5, p.797-808.

BENASSI, M. T. **Análise dos efeitos de diferentes parâmetros na estabilidade de vitamina C em vegetais processados**. 1990. 159f. Dissertação (mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. Campinas.

BHOWMIK, S. R.; HAYAKAMA, K. I. A new method for determining the apparent thermal diffusivity of thermally conductive food. **Journal of Food Science**, v. 44, n. 2, 1979.

BLEINROTH, E. W. **Tecnologia de pós-colheita de frutos tropicais**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos., 1988. 200 p.

BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. **Introdução a química de alimentos**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 306 p.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos**. Campinas: Fundação Cargill, 1984. 232 p.

BRASIL. Instrução normativa nº1, de 7 de janeiro de 2000. Estabelece o Regulamento Técnico para a Fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade para a polpa de fruta. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília DF, 10 jan. 2000. Seção 1, n. 6, p. 54-58.

BRASIL, I. M.; GUIMARÃES, A. C. L. **Curso de tecnologia em processamento de sucos e polpas tropicais: química e bioquímica do processamento**. Brasília: ABEAS, 1998. v. 5. 109 p.

BUHRI, A. B.; SINGH, R. P. Measurement of food thermal conductivity using differential scanning calorimetry. **Journal of Food Science**, v. 58, n. 5, 1993.

CABRAL, L. M. C.; FURTADO, A. A. L. Polpas e suco de frutas. Brasília: In: **Curso de processamento de frutas**, EMBRAPA, 1997. p. 74-83.

CALZAVARA, B. B. G.; MULLER, C. H.; KAHWAGE, O. N. C. **Fruticultura tropical: cupuaçuzeiro cultivado, beneficiamento e utilização do fruto**. Belém: EMBRAPA/CPATU. 1984, n. 32, 101 p.

CASTRO, F. A. F.; AZEVEDO, R. M. C.; SILVEIRA, I. L. **Estudo experimental dos alimentos**. Viçosa, Ed. UFV, 7-17 p, 1998.

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análises de alimentos**. Campinas: Editora da UNICAMP, 1999. 212 p.

CHAAR, J. M. **Composição do cupuaçu (*Teobroma grandiflorum*) e conservação de seu néctar por meios físicos e químicos**. 1980. (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

CHAVES, J. B. P. **Análises sensorial: histórico e desenvolvimento**. Viçosa: Imprensa Universitária, 1992. 31. p.

CHITARRA, M. I. F. Colheita e qualidade de produtos vegetais. In: BOREM, F. M.;

CHITARRA, A. B. **Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas**. Poços de Caldas: UFLA/SBEA, 1998. cap. 1, p. 1-58.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1990. 320 p.

CHOI, Y.; OKOS, M. R. The properties of tomato juice concentrates. **Transactions of the ASAE**, v. 26, n. 1, p. 305-311, 1983.

CHOI, Y.; OKOS, M. R. Effects of temperature and composition on the thermal properties of foods. In: LEMAUGUER, M.; JELEN, M. **Food Engineering and process applications: transport phenomena**. London: Elsevier Applied Science Publishers, 1986. v. 1, Cap. 9, p. 93-101.

COUCEIRO, E. M. **Curso de extensão sobre a cultura da acerola**. Recife: UFRPE, 1985. 45 p.

CZYHRINCIW, N. Tropical fruit tecnology. **Advances in Food Research**, New York, v.17, p. 153-208, 1969.

DICKERSON, R. W. An apparatus for the measurement of thermal diffusivity of foods. **Food Technology**, v. 19, n. 5, 198-204 p. 1965.

DICKERSON, R. W. **Termal properties of foods: the freezing preservation of foods**. 4.ed. Westport: The AVI Publishing Company, 1968. v. 2.

FALCÃO, M. A. Aspectos fenológicos, ecológicos e de produtividade do cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* (Willd ex. Spreng.) Schum). **Acta Amazônia**, v. 13, p. 725-735, 1983.

FERREIRA, J. C. **Efeitos do congelamento ultra-rápido sobre as características físico-químicas e sensoriais de polpa de umbu (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara) durante a armazenagem frigorificada**. 2000. 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande.

FONSECA, H.; NOGUEIRA, J. N.; MARCONDES, A. M. S. Teor de ácido ascórbico e beta-caroteno em frutas e hortaliças brasileira. **Archivos Latinoamericano de Nutricion**, v. 19, n. 1, p. 9-16, 1969.

FRANCO, G. **Tabela de composição química dos alimentos**. 9ed. São Paulo: Atheneu, 1998. 307p.

GAVA, A. J. **Princípios de tecnologia de alimento**. 7 ed. São Paulo: Nobel, 1984. 284 p.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**, 10 ed. Piracicaba: Nobel, 1987. 430 p.

IBARZ, A.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. **Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos**. Lancaster, Pennsylvania: Technomic publishing company, 1999. 882 p.

INGERSOLL, L. R.; ZOBEL. O.J.; INGERSOLL, A. C. **Heat conduction with engineering, geological and other applications**. New york: Mc Graw-Hill Book Company, 1954. 284-290 p.

KEFFORD, J. F.; CHANDLER, B. V. **The chemical constituents of citrus fruits**. New York: Academic Press, 1970. 225 p.

LARA, A. B. W. H.; NAZÁRIO, G.; ALMEIDA, M. E. W.; PREGNOLATO, W. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análises de alimentos**. 2.ed. São Paulo: Melhoramentos, 1976. v.1, 371 p.

LAMB, J. Influence of water on thermal properties of foods. **Chemistry and Industry**, v. 24, p.1046-1048, 1976.

LAU, K. A.; MARCH, K. V. L.; CUMMING, D. B. Physical properties of celery juice. **Canadian Agricultural Engineering**, v. 34, n. 1, 1992.

LEWIS, M. J. **Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado**. Zaragoza: Acribia, 1993. 494 p.

LEDIN, R. B. **The Barbados or West Indian cherry**. Florida: agricultural experiment station, 1958, 28 p.

- LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUZA, T. P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equation. Part.I: fruit, vegetable and meat products. **Lebensm. Wiss. U. Technol.**, v. 18, p.111-117, 1985.
- MANOHAR, B.; RAMAKRISHNA, P.; UDAYASANKAR, K. Some physical properties of tamarind (*amarindus indical*) juice concentrates. **Journal Food Engineering**, v. 13, p. 241-258, 1990.
- MIRANDA, R. M. **Conservação da polpa do cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum.) com o uso do frio**. 1989. (Dissertação de Mestrado). Fundação Universidade do Amazonas, Manaus.
- MOHSENIN, N. N. **Thermal properties of food and agricultural materials**. New York: Gordon and Breach Sci. Publishers, 1980. 407 p.
- NAGY, S.; CHEN, C. S.; SHAW, P. E. **Fruit juice processing technology**. Florida: Agscience, Inc., Auburndale, 1993. 713p.
- NAZARÉ, R. F. R. de; BARBOSA, W.C.; VIÉGAS, R. M. F. **Processamento de sementes de cupuaçu para a obtenção de cupulate**. Belém: EMBRAPA/CPATU, 1990. n.108, 38p. (Boletim de Pesquisa)
- NIX, G. H.; LOWERY, G. W.; VACHON, R. I.; TANGER, G. E. Direct determination of thermal diffusivity and with a refined line-source technique. In: HELLER, G.G. (ed), **Progress in astronautics and aeronautics**. New York: Academic Press, 1967. cap.20, 865-878p.
- OLIVEIRA, M. L. S. **Contribuição ao aproveitamento industrial do cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum.)**. 1981 (Dissertação de Mestrado) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- OLIVEIRA, R. P. S. **Determinação das propriedades físicas e de transporte de suco de acerola**. 1997. 148f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. Campinas

PEARSON, D. **The chemical analysis of food**. 6. Ed. London: J. and A. CHURCHILL, 1970.

PELEG, M.; BAGLEY, E. B. **Physical properties of foods**. Westport: Avi Publishing Company, 1983. 532 p.

PHAM, Q. T.; WEE, H. K.; KEMP, R. M.; LINDSAY, D. T. Determination of the enthalpy of foods by and adiabatic calorimeter. **Journal of Food Engineering**, v. 21, p. 137-156, 1994.

PIETROBON, C. L. R.; PEREIRA, N. C. E.; FREIRE, J. T. **Determinação da condutividade térmica: I – análises experimental**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS, Anais do XV Encontro sobre Escoamentos em Meios Porosos- 87. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 1987. v.1, p. 150-161

RAO, M. A.; RIZVI, S. S. H. **Engineering properties of foods**. 2. ed. New York, 1994, 531 p

REIDY, G. A.; RIPPEN, A. L. Methods or determining thermal conductivity in foods. **Transaction of the ASAE**, v. 14, n. 2, p. 248-254, 1971.

RIEDEL, L. Measurements of termal diffusivity of foodstuffs rich in water. **Kalttechnik-Klimatisierung**, v. 21, n. 11, p. 315, 1969.

RODRIGUES, J. A. S.; PINHEIRO, R. V. R.; MANICA, I.; CASALI, V. W. D.; CONDÊS, A. R. Comportamento de dez variedades de manga (*Magifera indica*) em Viçosa e Visconde do Rio Branco. **Ceres**, v. 24, n. 136, p. 580-595, 1977.

SILVA, D. J. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. Viçosa: Imprensa Universitária, UFV, 1981. 166 p.

SILVA, R. R.; BOCCHI, N.; ROCHA FILHO, R. C. **Introdução a química experimental**. São Paulo: McGraw-Hill, 1990. 296 p.

SILVA, S. B. **Propriedades termofísicas da polpa do abacaxi**. 1997. 93f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. Campinas.

SILVA, A. P. V.; MAIA, G. A.; OLIVEIRA, G. S. F.; FIGUEIREDO, R. W.; BRASIL, I. M. Estudo da produção do suco clarificado de cajá (*Spondias lutea* L.). **Ciências e Tecnologia dos Alimentos** Campinas, v. 19, n. 1, jan/abril. 1999.

SILVA, F. de A. S. C. The ASSISTAT software: statistical assistance. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 6, Cancun, 1996. Anais. Cancun: American Society of Agricultural Engineers, 1996. p. 294-298.

SIMÕES, R. M. **Propriedades termofísicas da polpa de manga**. 1997. 73f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. Campinas

SINGH, P. Thermal diffusivity in food processing. **Food Technology**, v. 36, 87-91 p., 1982.

SOLER, M. P.; RADOMILLE, L. R.; TOCCHINI, R. P. Processamento. In: Industrialização de frutas. Campinas: ITAL, 1991, p. 53-113.

SOUSA, G.F.; GUIMARÃES, R. R. **Integrated agroforestry systems for migrant farmers of shifting cultivation**. Presidente Figueiredo-AM., Brazil. In: CONGREGATION MONDIAL DE SCIENCE DU SOL, 16, 1998, Montpellier, France, CIRAD, 1998. CD Rom

SPELLS, K. E. Thermal conductivity of some biological fluids. **Phys. in Medic. and Biol.**, v. 5, n. 7, p. 139-153, 1960.

SWEAT, V. E.; PARMELEE, C. E. Measurement of thermal conductivity of dairy product and margarines. **Journal of Food Process Eng.**, v. 2, p. 187-197, 1978.

SWEAT, V. E. Thermal properties of foods. In: RAO, M. A.; RIZVI, S. S. H. **Engineering properties of foods**. New York: Marcel Dekker, 1986. 397p.

TELIS, J. R. **Hidrodinâmica e transferência de calor do escoamento laminar de fluidos não-newtonianos em tubos**. 1992. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. Campinas

VIEIRA, J. A. G. **Propriedades termofísicas e convecção no escoamento laminar de suco de laranja em tubos**. 1996. 87f. Tese (Doutorado em engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. Campinas.

VENTURIERI, G. A.; VIEIRA, A. A. Quem são os integrantes do clube do cupuaçu. n. 1, p. 5-9, 1989. (Informativo do clube do cupuaçu)

ZIEGLER, G. R.; RIZVI, J. S. S. H. Thermal conductivity of liquids foods by the thermal comparator method. **Journal of Food Science**, v. 50, p. 1458, 1985.

ZADERNOWSKI, R.; MARKIEWICZ, K.; NESTEROWICZ, J.; PIERZYNOWSKA-KORNIAK, G. Physical and chemical characteristics of pulpy juices. **Fruit Processing**, Hachenburg. v. 7, n. 11, p. 441-447, 1997.

Apêndice A

Tabela A.1. Valores experimentais e teóricos da massa específica da polpa de cupuaçu integral calculados com o modelo de Kubota (1980 citado por CHOI & OKOS 1986) para solução de açúcar

T (°C)	$\rho_{\text{experimental}}$ (kg/m ³)	$\rho_{\text{teórico}}$ (kg/m ³)	Erro percentual (%)
10	1034,3	1062,8	2,75
20	1030,5	1059,3	2,79
30	1027,6	1055,8	2,74
40	1022,5	1052,4	2,92
50	1015,3	1048,9	3,30

Tabela A.2. Valores experimentais e teóricos da massa específica da polpa de cupuaçu integral calculados com o modelo de Alvarado & Romero (1989) polpas e sucos de frutas com T:0-80°C

T (°C)	$\rho_{\text{experimental}}$ (kg/m ³)	$\rho_{\text{teórico}}$ (kg/m ³)	Erro percentual (%)
10	1034,3	1053,3	1,83
20	1030,5	1050,8	1,96
30	1027,6	1047,3	1,91
40	1022,5	1044,2	2,12
50	1015,3	1040,3	2,46

Tabela A.3. Valores experimentais e teóricos da massa específica da polpa de cupuaçu integral calculados com o modelo de Alvarado & Romero (1989) para polpa de manga

T (°C)	$\rho_{\text{experimental}}$ (kg/m ³)	$\rho_{\text{teórico}}$ (kg/m ³)	Erro percentual (%)
10	1034,3	1078,2	4,22
20	1030,5	1072,3	4,05
30	1027,6	1067,7	3,90
40	1022,5	1062,7	3,93
50	1015,3	1055,8	4,18

Tabela A.4. Valores experimentais e teóricos da massa específica da polpa de cupuaçu integral calculados com o modelo de Alvarado & Romero (1989) para suco de abacaxi

T (°C)	$\rho_{\text{experimental}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$\rho_{\text{teórico}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	Erro percentual (%)
10	1034,3	1055,6	2,05
20	1030,5	1052,7	2,15
30	1027,6	1048,9	2,07
40	1022,5	1045,0	2,20
50	1015,3	1040,4	2,47

Tabela A.5. Valores experimentais e teóricos da massa específica da polpa de cupuaçu integral calculados com o modelo de Choi & Okos (1983) para suco de tomate

T (°C)	$\rho_{\text{experimental}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$\rho_{\text{teórico}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	Erro percentual (%)
10	1034,3	1068,5	3,30
20	1030,5	1067,5	3,59
30	1027,6	1065,7	3,70
40	1022,5	1063,1	3,97
50	1015,3	1059,7	4,37

Tabela A.6. Valores experimentais e teóricos da massa específica da polpa de cupuaçu 9°Brix calculados com o modelo de Kubota (1980 citado por CHOI & OKOS 1986) para solução de açúcar

T (°C)	$\rho_{\text{experimental}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$\rho_{\text{teórico}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	Erro percentual (%)
10	1038,9	1050,1	1,07
20	1028,3	1046,6	1,77
30	1017,1	1043,1	2,55
40	1005,6	1039,6	3,38
50	996,9	1036,1	3,93

Tabela A.7. Valores experimentais e teóricos da massa específica da polpa de cupuaçu 9°Brix calculados com o modelo de Alvarado & Romero (1989) para polpas e sucos de frutas com T:0-80°C

T (°C)	$\rho_{\text{experimental}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$\rho_{\text{teórico}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	Erro percentual (%)
10	1038,9	1039,4	0,04
20	1028,3	1037,0	0,84
30	1017,1	1033,5	1,61
40	1005,6	1030,4	2,46
50	996,9	1026,5	2,96

Tabela A.8. Valores experimentais e teóricos da massa específica da polpa de cupuaçu 9°Brix calculados com o modelo de Alvarado & Romero (1989) para polpa de manga

T (°C)	$\rho_{\text{experimental}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$\rho_{\text{teórico}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	Erro percentual (%)
10	1038,9	1078,2	3,78
20	1028,3	1072,3	4,27
30	1017,1	1067,7	4,97
40	1005,6	1062,7	5,67
50	996,9	1055,8	5,90

Tabela A.9. Valores experimentais e teóricos da massa específica da polpa de cupuaçu 9°Brix calculados com o modelo de Alvarado & Romero (1989) para suco de abacaxi

T (°C)	$\rho_{\text{experimental}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$\rho_{\text{teórico}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	Erro percentual (%)
10	1038,9	1055,6	1,60
20	1028,3	1052,7	2,37
30	1017,1	1048,9	3,12
40	1005,6	1045,0	3,91
50	996,9	1040,4	4,36

Tabela A.10. Valores experimentais e teóricos da massa específica da polpa de cupuaçu 9°Brix calculados com o modelo de Choi & Okos (1983) para suco de tomate

T (°C)	$\rho_{\text{experimental}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$\rho_{\text{teórico}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	Erro percentual (%)
10	1038,9	1055,7	1,61
20	1028,3	1054,5	2,55
30	1017,1	1052,6	3,49
40	1005,6	1049,9	4,40
50	996,9	1046,4	5,16

Tabela A.11. Valores experimentais e teóricos da massa específica da polpa de cupuaçu peneirada calculados com o modelo de Kubota (1980 citado por CHOI & OKOS 1986) para solução de açúcar

T (°C)	$\rho_{\text{experimental}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$\rho_{\text{teórico}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	Erro percentual (%)
10	1047,8	1064,0	1,54
20	1044,4	1060,5	1,54
30	1039,0	1057,0	1,73
40	1035,1	1053,5	1,77
50	1029,2	1050,0	2,02

Tabela A.12. Valores experimentais e teóricos da massa específica da polpa de cupuaçu peneirada calculados com o modelo de Alvarado & Romero (1989) para polpas e sucos de frutas com T:0-80°C

T (°C)	$\rho_{\text{experimental}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$\rho_{\text{teórico}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	Erro percentual (%)
10	1047,8	1053,3	0,52
20	1044,4	1050,8	0,61
30	1039,0	1047,3	0,79
40	1035,1	1044,2	0,87
50	1029,2	1040,3	1,07

Tabela A.13. Valores experimentais e teóricos da massa específica da polpa de cupuaçu peneirada calculados com o modelo de Alvarado & Romero (1989) para polpa de manga

T (°C)	$\rho_{\text{experimental}}$ (kg/m ³)	$\rho_{\text{teórico}}$ (kg/m ³)	Erro percentual (%)
10	1047,8	1078,2	2,90
20	1044,4	1072,3	2,67
30	1039,0	1067,7	2,76
40	1035,1	1062,7	2,66
50	1029,2	1055,8	2,58

Tabela A.14. Valores experimentais e teóricos da massa específica da polpa de cupuaçu a peneirada calculados com o modelo de Alvarado & Romero (1989) para suco de abacaxi

T (°C)	$\rho_{\text{experimental}}$	$\rho_{\text{teórico}}$	Erro percentual (%)
10	1047,8	1055,6	0,74
20	1044,4	1052,7	0,79
30	1039,0	1048,9	0,95
40	1035,1	1045,0	0,95
50	1029,2	1040,4	1,08

Tabela A.15. Valores experimentais e teóricos da massa específica da polpa de cupuaçu peneirada calculados com o modelo de Choi & Okos (1983) para suco de tomate

T (°C)	$\rho_{\text{experimental}}$	$\rho_{\text{teórico}}$	Erro percentual (%)
10	1047,8	1071,1	2,22
20	1044,4	1070,2	2,47
30	1039,0	1068,4	2,82
40	1035,1	1065,8	2,96
50	1029,2	1062,4	3,22

Apêndice B

UFCC - BIBLIOTECA

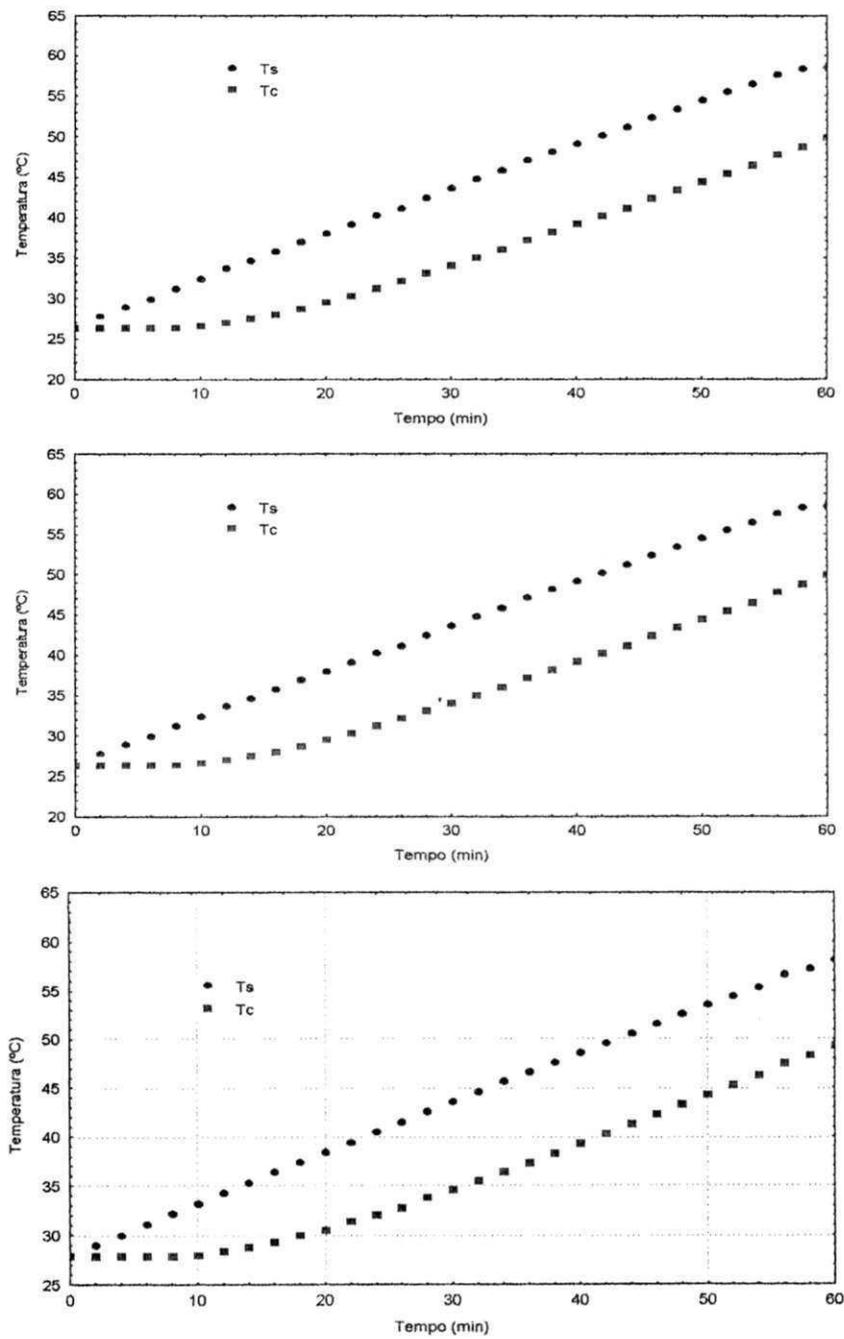


Figura B.1. Diagrama tempo-temperatura das três repetições para a determinação da difusividade térmica da polpa integral do cupuaçu

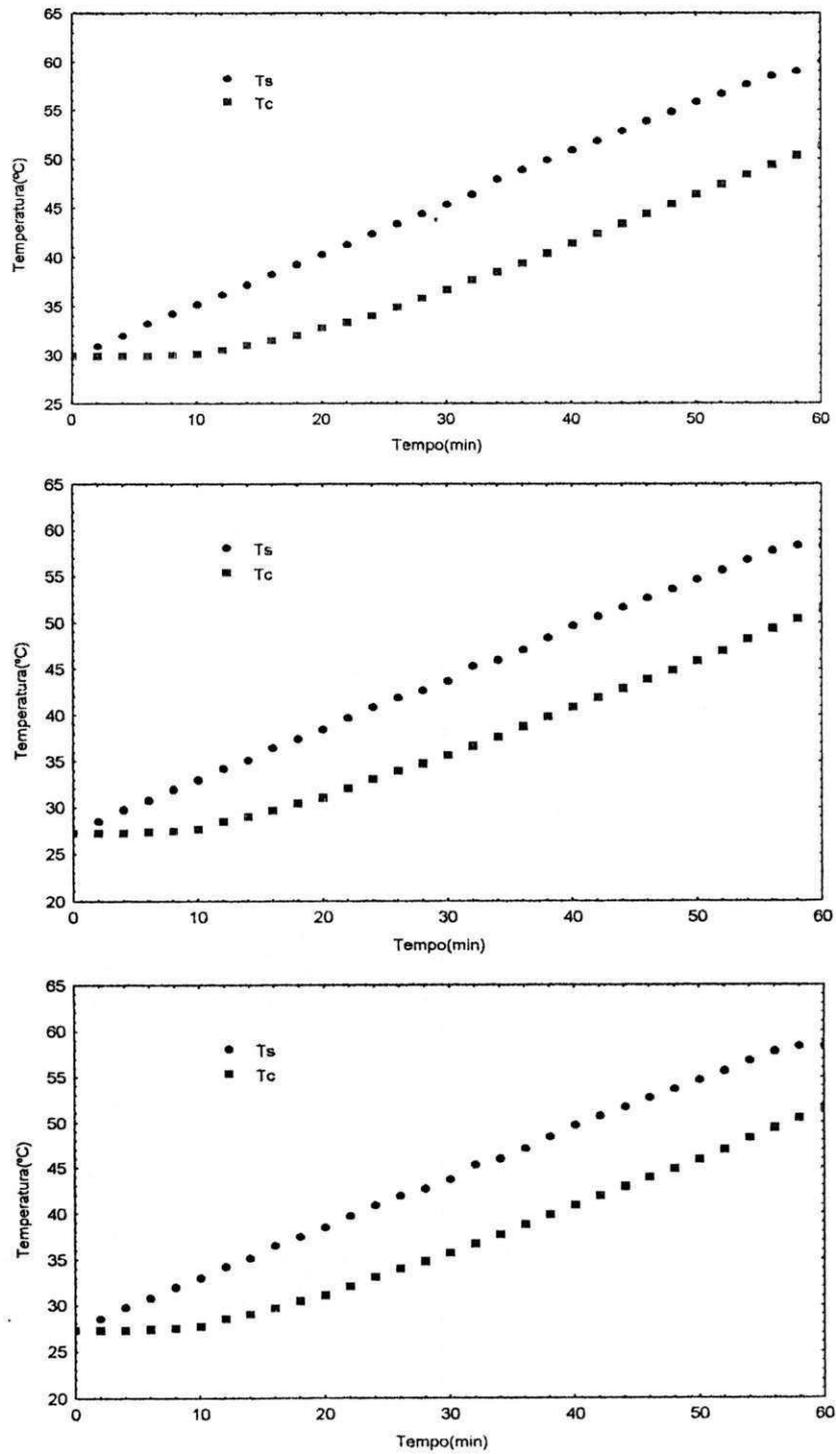


Figura B.2. Diagrama tempo-temperatura das três repetições para a determinação da difusividade térmica da polpa a 9°Brix do cupuaçu

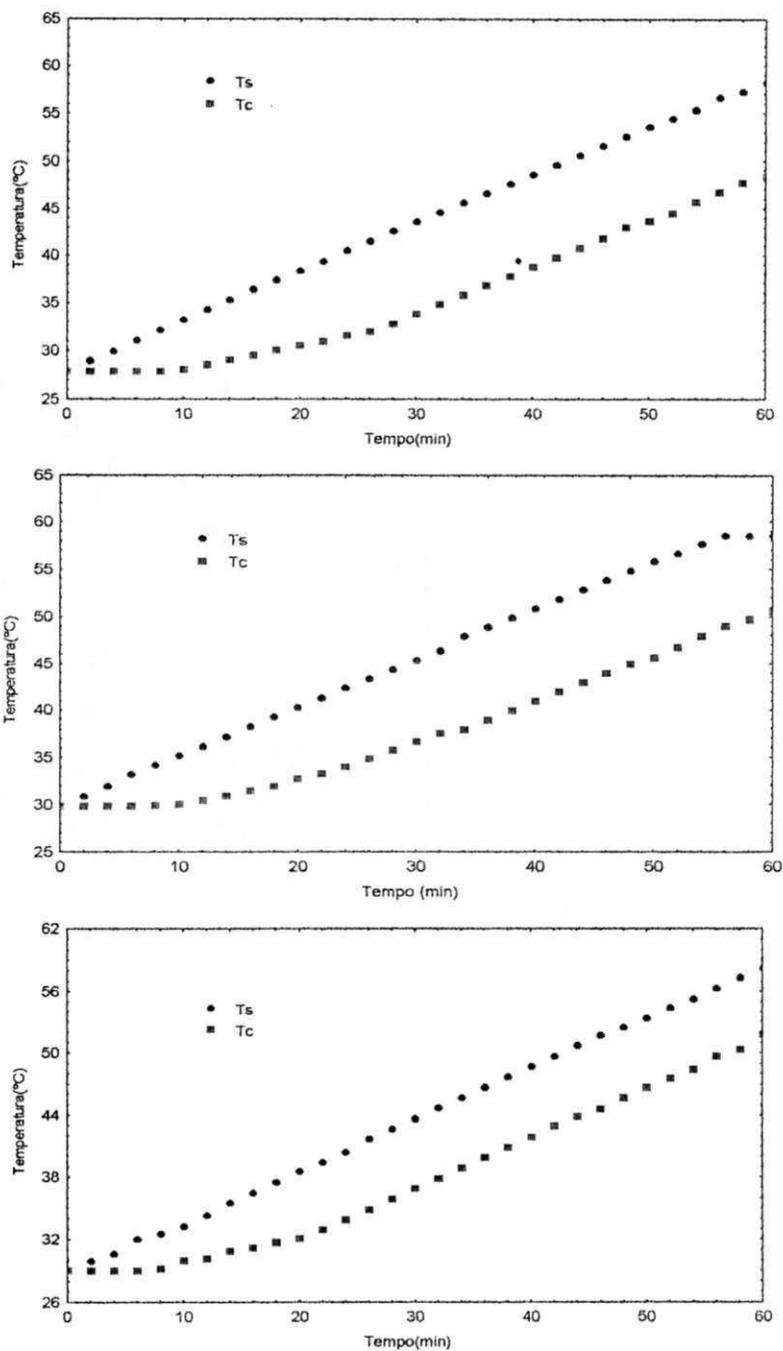


Figura B.3. Diagrama tempo-temperatura das três repetições para a determinação da difusividade térmica da polpa peneirada do cupuaçu