



**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**



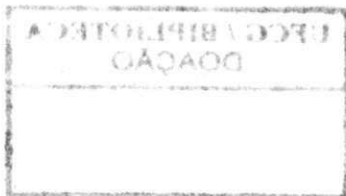
Centro de Ciências  
e Tecnologia

**DISSERTAÇÃO**  
**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM ARMAZENAMENTO E**  
**PROCESSAMENTO DE PRODUTOS AGRÍCOLAS**

**PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DE POLPA DE AÇAÍ**  
**(*Euterpe oleracea* Mart.)**

**EDIMIR ANDRADE PEREIRA**

**Campina Grande - Paraíba**  
**SETEMBRO - 2001**



FICHA CATALOGRÁFICA

P436p Pereira, Edimir Andrade.

Propriedades termofísicas de polpa de açaí  
(*Euterpe Oleracea* Mart.) / Edimir Andrade  
Pereira – Campina Grande: UFPB/ CCT, 2001.

84p.: il

Dissertação (Mestrado) UFPB/Deag.

Inclui Bibliografia

- 1 – Termofísica
- 2 – Polpa de açaí

I. Título

CDU: 536.6:53.096

**PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DE POLPA DE AÇAÍ**  
**(*Euterpe oleracea* Mart.)**

**EDIMIR ANDRADE PEREIRA**

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: Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas

Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz

Profa. Dra. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo

(Orientadores)

Campina Grande – PB

SETEMBRO – 2001





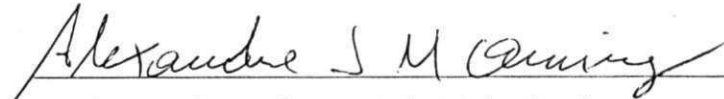
PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRADO

EDIMIR ANDRADE PEREIRA

Título: Propriedades termofísicas de polpa de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.)

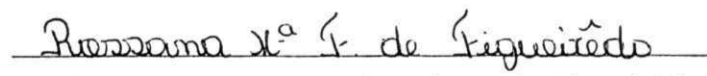
BANCA EXAMINADORA

PARECER

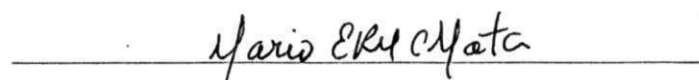


Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz  
(Orientador)

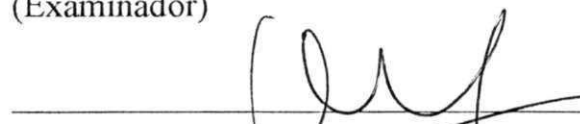
APROVADO

  
Prof. Dra. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo  
(Orientadora)

Aprovado

  
Prof. Dr. Mário Eduardo R. M. Cavalcanti Mata  
(Examinador)

A PROVADO

  
Prof. Dra. Odelsia Leonor S. de Alsina  
(Examinadora)

Aprovado

Campina Grande, 26 de setembro de 2001

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais João Andrade Pereira e Marisa da Costa Pereira, pelo exemplo de vida e pela educação que recebi.

Aos meus irmãos Edvaldo Andrade Pereira e João Andrade Filho e aos meus familiares, pelo apoio e incentivo em todas as etapas de minha vida.

Ao professor Dr. Alexandre José de Melo Queiroz, pela oportunidade, orientação, sensatez, confiança e amizade, sem as quais não seria possível a realização deste trabalho.

A professora Dra. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo, pela co-orientação, dedicação e paciência.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo suporte financeiro.

A todos os professores, funcionários e alunos do mestrado, pelas importantes contribuições.

Aos professores da banca examinadora, professor Dr. Mário Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata e professora Dra. Odelsia Lennor Sánchez de Alsina, pelas valiosas sugestões.

A professora Terezinha de Jesus, pelas correções que ajudaram no aprimoramento deste trabalho.

Ao amigo Robson Silvestre e aos professores da Universidade Estadual da Paraíba – UEPB, Ângela Maria Santiago e Maria do Socorro Marquês, pelo incentivo para o ingresso no mestrado.

A Audye Murph e Claudécia Silva, pela ajuda na aquisição da polpa em Belém do Pará.

Aos amigos que fiz ao longo do curso Robert, Claudécia, Patrícia, Eliana, Jucilene, Fábria, Josalice, Milene, Cláudio, Aécio, Raimundo, Gilvanete, Edênia, Sheylla, Lílian e Nayara, pelo companheirismo e troca de informações.

## ÍNDICE

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	iv
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	v
<b>NOMENCLATURA</b> .....	vii
<b>RESUMO</b> .....	ix
<b>ABSTRACT</b> .....	x
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	3
2.1. O açaí .....	3
2.2. Caracterização físico-química .....	6
2.3. Propriedades termofísicas .....	10
2.3.1. Massa específica .....	10
2.3.1.1. Massa específica de sólidos .....	11
2.3.1.2. Massa específica de líquidos .....	12
2.3.1.3. Modelos de predição da massa específica .....	13
2.3.2. Difusividade térmica .....	16
2.3.2.1. Método do cilindro infinito para a determinação da difusividade térmica em alimentos (DICKERSON, 1965). .....	17
2.3.2.2. Modelos de predição da difusividade térmica .....	19
2.3.3. Calor específico .....	21
2.3.3.1. Métodos de determinação .....	22
2.3.3.2. Modelos de predição do calor específico .....	23
2.3.4. Condutividade térmica .....	26
2.3.4.1. Métodos de determinação .....	26
2.3.4.2. Modelos de predição da condutividade térmica .....	27
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	30
3.1. Matéria-prima .....	30
3.1.1. Processamento da matéria-prima .....	31





3.1.1.1. Beneficiamento.....	31
3.1.1.2. Lavagem.....	31
3.2.1.3. Amolecimento.....	31
3.2.1.4. Despulpamento.....	31
3.2.1.5. Acondicionamento.....	32
3.2.1.6. Congelamento.....	32
3.2.1.7. Transporte.....	32
3.2.1.8. Armazenamento.....	32
3.2. Caracterização físico-química e química da polpa de açaí.....	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. Lipídios.....	33
3.2.6. Proteínas.....	33
3.2.7. Antocianinas.....	34
3.2.8. Sólidos totais e umidade.....	34
3.2.9. Sólidos solúveis e insolúveis.....	34
3.3. Preparação das amostras.....	34
3.4. Determinação das propriedades termofísicas.....	35
3.4.1. Massa específica.....	35
3.4.2. Difusividade térmica.....	36
3.4.2.1. O aparato de medida da difusividade térmica.....	36
3.4.2.2. A medida da temperatura.....	36
3.4.2.3. Procedimento experimental.....	37
3.4.3. Calor específico.....	38
3.4.4. Condutividade térmica.....	41
3.5. Análise estatística.....	41
3.6. Erros experimentais.....	42
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>43</b>
4.1. Caracterização físico-química e químicas.....	43

4.2. Determinação das propriedades termofísicas.....	45
4.2.1. Massa específica.....	45
4.2.2. Difusividade térmica.....	54
4.2.3. Calor específico.....	60
4.2.4. Condutividade térmica.....	64
<b>5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....</b>	<b>70</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>72</b>
<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>79</b>
<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>81</b>



## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Visualização de touceiras do açazeiro.....	3
Figura 2.2. Frutos maduros de açazeiros (variedade Preto).....	4
Figura 3.1. Fluxograma do processamento da polpa de açai e das análises efetuadas.....	30
Figura 3.2. Apresentação de uma despoldadeira dos frutos do açazeiro.....	32
Figura 3.3. Aparato utilizado para determinar a difusividade térmica.....	36
Figura 3.4. Teste de difusividade térmica.....	37
Figura 3.5. Aparato utilizado para a determinação do calor específico.....	39
Figura 4.1. Massa específica experimental das amostras de açai em relação à temperatura..	46
Figura 4.2. Massa específica experimental das amostras de açai em relação à temperatura e ao teor de umidade.....	46
Figura 4.3. Valores experimentais e teóricos da massa específica do açai Tipo A.....	52
Figura 4.4. Valores experimentais e teóricos da massa específica do açai Tipo B.....	52
Figura 4.5. Valores experimentais e teóricos da massa específica do açai Tipo C.....	53
Figura 4.6. Valores médios da difusividade térmica da polpa de açai em função do teor de umidade.....	56
Figura 4.7. Valores médios da difusividade térmica da polpa de açai em função da concentração dos sólidos solúveis.....	56
Figura 4.8. Valores experimentais e teóricos da difusividade térmica do açai.....	59
Figura 4.9. Dados experimentais do calor específico da polpa de açai em função do teor de umidade.....	61
Figura 4.10. Dados experimentais do calor específico da polpa de açai em função da concentração de sólidos solúveis.....	62
Figura 4.11. Valores experimentais e teóricos do calor específico da polpa de açai.....	63
Figura 4.12. Condutividade térmica da polpa de açai em função do teor de umidade.....	65
Figura 4.13. Condutividade térmica da polpa de açai em função da concentração de sólidos solúveis.....	66
Figura 4.14. Valores experimentais e teóricos da condutividade térmica da polpa de açai em função do teor de umidade.....	68

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Composição físico-química da polpa de açaí.....	6
Tabela 2.2. Caracterização físico-química de polpas de frutas.....	7
Tabela 3.1. Modelos da literatura para predizer a massa específica dos alimentos.....	35
Tabela 3.2. Modelos da literatura para difusividade térmica.....	38
Tabela 3.3. Modelos da literatura para o calor específico de alimentos.....	40
Tabela 3.4. Modelos da literatura para a condutividade térmica.....	41
Tabela 4.1. Caracterização físico-química e química da polpa de açaí (12,57% de teor de sólidos totais).....	43
Tabela 4.2. Composição físico química da polpa de açaí.....	44
Tabela 4.3. Teores de sólidos solúveis da polpa de açaí.....	44
Tabela 4.4. Valores experimentais da massa específica em diferentes concentrações e temperaturas das polpas de açaí.....	45
Tabela 4.5. Análise de variância dos valores médios da massa específica da polpa de açaí..	47
Tabela 4.6. Comparação entre os valores médios de massa específica para o fator temperatura.....	48
Tabela 4.7. Comparação entre os valores médios de massa específica para o fator concentração.....	48
Tabela 4.8. Comparação entre médias dos valores de massa específica da polpa de açaí....	49
Tabela 4.9. Valores teóricos de massa específica para o açaí Tipo A e erro percentual.....	50
Tabela 4.10. Valores teóricos de massa específica para o açaí Tipo B e erro percentual.....	50
Tabela 4.11. Valores teóricos de massa específica para o açaí Tipo C e erro percentual.....	51
Tabela 4.12. Modelos propostos para o cálculo da massa específica da polpa de açaí.....	54
Tabela 4.13. Valores da difusividade térmica da polpa de açaí.....	55
Tabela 4.14. Valores teóricos da difusividade térmica da polpa de açaí e erro percentual...	58
Tabela 4.15. Modelos propostos para o cálculo da difusividade térmica da polpa de açaí...	60
Tabela 4.16. Calor específico da polpa de açaí.....	61
Tabela 4.17. Valores teóricos do calor específico e erro percentual da polpa de açaí.....	63
Tabela 4.18 Modelos propostos para o cálculo do calor específico.....	64



Tabela 4.19. Valores de condutividade térmica calculados através do conhecimento das propriedades termofísicas.....	65
Tabela 4.20. Valores teóricos e erro percentual da condutividade térmica da polpa de açaí.	67
Tabela 4.21. Modelos de equações propostos para o cálculo da condutividade térmica da polpa de açaí.....	69
Tabela A.1. Análise de variância dos valores médios da difusividade térmica da polpa de açaí.....	80
Tabela A.1. Análise de variância dos valores médios da difusividade térmica da polpa de açaí.....	80



## NOMENCLATURA

A	Taxa constante de aquecimento	(°C/s)
B	Concentração	(°Brix)
C <sub>p</sub>	Calor específico	(kJ/kg°C)
k	Condutividade térmica	(W/m°C)
m	Massa	(kg)
M	Umidade (base úmida)	(%)
P	Pressão	(kgf/m <sup>2</sup> )
P	Nível de significância	
q	Densidade de fluxo de calor	(kJ/s)
Q	Quantidade de calor	(J)
R	Raio do termopar até a fonte de calor	(m)
R	Coefficiente de correlação	
R <sub>c</sub>	Raio do cilindro	(m)
s	Desvio padrão	
S	Sólidos totais	(%)
t	Tempo	(min)
T	Temperatura	(°C)
T <sub>0</sub>	Temperatura central	(°C)
T <sub>R</sub>	Temperatura da superfície	(°C)
V	Volume	(m <sup>3</sup> )
X	Fração mássica	
<b>Gregas</b>		
α	Difusividade Térmica	(m <sup>2</sup> /s)
ρ	Densidade	(kg/m <sup>3</sup> )



## Subscritos

- a Amostra
- c Calorímetro
- e Equilíbrio
- i Inicial
- s Produto
- s Sólidos totais
- w Água

## RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo caracterizar a polpa de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) quanto às propriedades físico-químicas, determinar as principais propriedades termofísicas em temperaturas acima do ponto de congelamento, utilizar modelos da literatura para prever estas propriedades e propor modelos de predição como função da concentração, do teor de umidade e da temperatura a partir dos dados experimentais. Foram produzidos três tipos de amostras em função do teor de sólidos totais: açaí Tipo A (15,2%), Tipo B (12,5%) e Tipo C (9,7%). A caracterização físico-química e química do açaí Tipo A foi feita através da determinação do pH, acidez total, lipídios, proteínas, teor de sólidos solúveis e insolúveis, umidade, cinzas e antocianinas. Os valores da massa específica, difusividade térmica, calor específico e condutividade térmica foram determinados pelos métodos: picnométrico, cilindro infinito (DICKERSON, 1965), das misturas e por método indireto, respectivamente. A massa específica variou entre 1.024,93 e 1.007,17 kg/m<sup>3</sup>, a difusividade térmica média determinada num intervalo de temperatura entre 23°C e 60°C teve valor de  $1,432 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{°C}$ , o valor médio obtido para o calor específico foi de 3,684 kJ/kg°C e para a condutividade térmica de 0,54 W/m°C. Dos modelos propostos em literatura os de CONSTENLA et al. (1989), RIEDEL (1969), SIEBEL (1892) e TELIS-ROMERO et al. (1998), predisseram melhor os valores de massa específica, difusividade térmica, calor específico e condutividade térmica, respectivamente, com diferenças percentuais máximas de 0,41%, 0,90%, 3,20% e 3,46%, em relação aos valores experimentais.

UFCC - BIBLIOTECA



## ABSTRACT

The present work had as objective to characterize the açai pulp (*Euterpe oleracea* Mart.) in relation to the physical-chemical and chemical properties, to determine the main thermophysical properties in temperatures above the freezing point, to use models of the literature to predict these properties and to propose prediction models as function of the concentration, of the moisture and of the temperature starting from the experimental data. Three types of samples were produced in function of the total solids: açai Type A (15.2%), Type B (12.5%) and Type C (9.7%). The physical-chemical and chemical characterization of the açai Type A was made through the determination of the pH, total acidity, lipids, proteins, soluble and insoluble solids, moisture, ashes and anthocyanins. The values of the density was determined using pycnometers, thermal diffusivity using the cylindrical object method proposed by DICKERSON (1965), specific heat by the method of mixtures and thermal conductivity by indirect method. Density varied from 1,024.93 to 1,007.17 kg/m<sup>3</sup>, the average thermal diffusivity certain in the temperature interval between 23°C and 60°C had value of  $1.432 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{°C}$ , the medium value obtained for specific heat it was of 3.684 kJ/kg°C and the thermal conductivity of 0.54 W/m°C. Among models proposed in literature the one of CONSTENLA et al. (1989), RIEDEL (1969), SIEBEL (1892) and TELIS-ROMERO et al. (1998) predicted better the values of density, thermal diffusivity, specific heat and thermal conductivity, respectively, with differences percentile maxims of 0.41%, 0.90%, 3.20% and 3.46%, in relation to the experimental values.



## 1. INTRODUÇÃO

O açaizeiro (*Euterpe oleracea*, Mart.), típico do trópico brasileiro, é parte indissociável da paisagem florestal amazônica, sendo muito abundante nas regiões de várzea e próximo dos rios e igarapés. É uma espécie que apresenta multiplicidade de usos. No sistema extrativo, atualmente o mais utilizado, o palmito destina-se a exportação, e os frutos ocupam um papel básico na alimentação diária das populações locais.

Por ser uma fonte energética de altíssima qualidade nutritiva, vem ganhando mercado, desde os anos 90, em diversas regiões do Brasil, despertando o interesse nas áreas de nutrição e saúde. Na composição dos frutos de açai estão presentes carboidratos, proteínas, açúcares, lipídios, vitaminas, antocianinas e sais minerais. A polpa pode ser utilizada para o preparo de sucos, sorvetes, vinhos, licores e doces, apresentando amplas possibilidades de consumo nos mercados interno e externo. Uma outra forma de aproveitamento desse produto é através de sua incorporação em vários alimentos com o objetivo de enriquecê-los em valores nutricionais.

A produção de frutos no Pará, maior produtor brasileiro, é estimada em 480.000 t, das quais 300.000 t são comercializadas. Os frutos se destinam principalmente ao mercado local e constituem a base da renda de dezenas de milhares de famílias. O aumento da demanda sobre o mercado provoca a passagem progressiva de um fruto de açai naturalmente “extraído” para um outro “processado”, racionalmente explorado e enriquecido (ROGEZ, 2000).

Muitos alimentos estão sujeitos a processos de aquecimento, não somente para melhorar ou obter características de aroma, sabor e textura, mas também eliminar microrganismos contaminantes do produto. Outras vezes, o alimento não é consumido de imediato, devendo ser resfriado ou congelado com o objetivo de conservar suas propriedades e procurando-se evitar o desenvolvimento de microrganismos indesejáveis. Em todos esses processos térmicos, os fenômenos de transferência de calor são determinados, em grande parte, pelas propriedades termofísicas do produto.

O conhecimento dessas propriedades torna possível o projeto de equipamentos e a otimização de operações que envolvam transferência de calor, além de promover o uso eficiente de plantas industriais e equipamentos, já existentes. As propriedades termofísicas de maior interesse são a massa específica, a condutividade térmica, o calor específico e a difusividade térmica, pois são as mais comumente usadas nos projetos de sistemas de resfriamento ou aquecimento de alimentos.

Soluções exatas para problemas práticos de transferência de calor são muito difíceis, senão impossíveis de se obter. Assim, a necessidade de soluções aproximadas para explicar esses fenômenos tem motivado um considerável esforço para o desenvolvimento de métodos capazes de dar respostas aos diferentes problemas. O conhecimento dessas propriedades e de seu comportamento durante o processo, é um fator limitante para a exatidão dos cálculos das taxas de transferência de calor. As propriedades termofísicas dos alimentos têm sido, por esta razão, amplamente estudadas. Modelos de predição e novos métodos de determinação são propostos, revisões são realizadas e um grande número de produtos tem suas propriedades determinadas. No entanto, existem poucos dados relativos as propriedades termofísicas de sucos e polpas de frutas tropicais.

### 1.1. Objetivos

Diante do potencial de industrialização e de consumo da polpa de açaí e da inexistência de informações a respeito das propriedades termofísicas do produto, é que o presente trabalho foi proposto, o qual teve como objetivos:

- Caracterizar química e físico-quimicamente a polpa de açaí;
- Determinar as principais propriedades termofísicas, quais sejam a massa específica, calor específico, difusividade térmica e condutividade térmica.
- Comparar os valores das propriedades termofísicas determinadas experimentalmente com os valores obtidos através da aplicação de modelos propostos em literatura.
- Originar modelos matemáticos de predição das propriedades termofísicas em função da concentração ou umidade e da temperatura.



## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. O açaí

O açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) é uma das espécies naturalmente abundantes no estuário do rio Amazonas, em terrenos de várzea, igapós e terra firme. O estado do Pará possui as maiores reservas naturais (CAVALCANTE, 1991; NOGUEIRA, 1995). Esta palmeira (Figura 2.1) pode atingir altura de até 25 m, possui caule de 15 a 25 cm de diâmetro e ocorre geralmente formando touceiras com vários estipes (Lorenzi citado por CALBO, 2000). Produzem frutos a partir do terceiro ano, e têm uma produtividade máxima entre 5 e 6 anos de idade (ROGEZ, 2000).



**Figura 2.1.** Visualização de touceiras de açaizeiros.



Os frutos do açaí (Figura 2.2) possuem forma arredondada de 1 a 2 cm de diâmetro e peso médio de 1,5 g. As variedades deste fruto são: o Açaí Preto (99%) de cor violácea, tornando-se quase negros quando atingem a maturação e o Açaí Branco (1%) com frutos de coloração verde, mesmo quando maduros. A proporção da polpa representa apenas 5 a 15% do volume do fruto, com esta porcentagem, flutuando segundo a variedade e o grau de maturidade do fruto. Cada fruto possui um caroço envolvido por fibras recobertas de uma fina cutícula oleosa. A produção anual média em frutos por estipe é de 8,6 kg. O peso médio em frutos por cacho é de 2,2 kg, com uma grande variação entre o início e o final da safra (LOPES et al., 1982; Lorenzi citado por CALBO, 2000); NOGUEIRA, 1995; ROGEZ et al., 1998; ROGEZ, 2000).



UFCC - BIBLIOTECA

**Figura 2.2.** Frutos maduros de açaizeiros (variedade Preto)

Segundo JARDIM & ANDERSON (1987), o açaizeiro floresce durante todos os meses do ano com pico de floração entre os meses de fevereiro e junho (safra de inverno), conduzindo a um período de colheita intensiva entre agosto e dezembro (safra de verão).

O despulpamento mecânico do fruto consiste no esmagamento e conseqüente filtração através de uma peneira fina. Esse processo envolve a adição de água em quantidades variadas, dependendo do produto que se quer obter, o que faz com que o açaí saia da despulpadeira sob a forma de suco concentrado (CARNEIRO, 2000).

O regulamento técnico geral para fixação dos padrões de identidade e qualidade para polpa de fruta do Ministério da Agricultura e Abastecimento (BRASIL, 2000) estabelece a seguinte normatização:

1 - A polpa de açaí é o produto extraído da parte comestível do fruto do açaizeiro após o amolecimento através de processos tecnológicos adequados.

2 - De acordo com a adição ou não de água e seus quantitativos, o produto será classificado em:

**a) Polpa de açaí:** é a polpa extraída do açaí, sem adição de água, por meios mecânicos e sem filtração, podendo ser submetido a processo físico de conservação.

**b) Açaí grosso ou especial (Tipo A):** é a polpa extraída com adição de água e filtração, apresentando valores acima de 14% de sólidos totais e uma aparência muito densa.

**c) Açaí médio ou regular (Tipo B):** é a polpa extraída com adição de água e filtração, apresentando valores entre 11 e 14% de sólidos totais e uma aparência densa.

**d) Açaí fino ou popular (Tipo C):** é a polpa extraída com adição de água e filtração, apresentando valores entre 8 e 11% de sólidos totais e uma aparência pouco densa.



3 - O açaí (grosso, médio e fino) deverá obedecer às características apresentadas na Tabela 2.1:

**Tabela 2.1.** Composição físico-química e química da polpa de açaí

Análise	Mínimo	Máximo
pH	4,00	6,20
	-	0,27 (fino)
Acidez total, em ácido cítrico (g/100g)	-	0,40 (médio)
	-	0,45 (grosso)
Lipídios totais (g/100gms)	20,0	60,0
Proteínas (g/100gms)	6,0	-
Açúcares totais (g/100gms)	-	40,0

gms = gramas de matéria seca

No Pará, a bebida açaí é o principal alimento depois da farinha de mandioca. É um alimento popular, que deve ser consumido fresco nas horas que se seguem ao despulpamento. Na região sul do Brasil, o consumo é recente e crescente por ser um alimento exótico e energético. A polpa de açaí é comercializada sob a forma congelada, frequentemente muito diluída. A demanda crescente provocou uma tendência de aumento dos preços ao longo de toda a cadeia de comercialização, tanto local como nacional. É um produto que poderia também encontrar uma abertura no mercado internacional em condições de garantir uma qualidade boa e constante (ROGEZ, 2000).

## 2.2. Caracterização físico-química

Os frutos têm importante papel na alimentação humana, principalmente por serem importantes fontes de vitaminas, minerais e fibra dietética. Os componentes mais abundantes em frutos e hortaliças são a água e os carboidratos. Do ponto de vista nutricional, as vitaminas e os minerais, como também os sólidos solúveis e polissacarídeos (amido em alguns frutos e hortaliças), são considerados como fontes energéticas. Outros polissacarídeos (celulose, hemicelulose e lignina) têm importância por constituírem as fibras dietéticas. Os frutos e hortaliças não são em geral boas fontes de lipídeos nem proteínas (CHITARRA & CHITARRA, 1990).

Na Tabela 2.2 é apresentada a composição físico-química e química de polpas de frutas. Pode-se observar que o açaí apresenta um elevado teor de gordura (altamente calórico), de proteínas e de fibras e um baixo teor de açúcares quando comparado com as outras frutas.

**Tabela 2.2.** Composição físico-química e química de polpas de frutas

Análise	Polpa de açaí (CARNEIRO, 2000)	Polpa de manga (GUIMARÃES, 2000 )	Polpa de abacaxi (SILVA, 1997)	Polpa de cupuaçu (BARBOSA et al., 1978)
pH	5,1	4,06	-	3,30
Sólidos solúveis (°Brix)	3,5	17,90	15,00	10,80
Acidez total (g de ácido cítrico/100g)	0,332	0,32	-	2,15
Umidade em base úmida (%)	85,03	80,47	84,64	89,00
Sólidos totais (%)	14,97	19,53	15,36	11,00
Lipídios totais (%)	7,19	-	-	0,53
Fibras (%)	2,38	-	0,458	-
Proteínas (%)	1,40	0,79	-	-
Açúcares totais (%)	3,58 <sup>1</sup>	15,26	12,80	-
Cinzas (%)	0,42	0,43	-	0,67

<sup>1</sup> Valor calculado por diferença

ROGEZ (2000) fez uma revisão completa sobre o açaí e concluiu que a polpa constitui uma excelente fonte (superior a 65% do valor nutritivo recomendada para um homem adulto de 25 a 45 anos de peso médio) em matéria graxa,  $\alpha$ -tocoferol (vitamina E), fibras, manganês, cobre, boro e cromo. Entre 25 e 65% das quantidades recomendadas de proteínas, cálcio, magnésio, potássio e níquel e pobre (inferior a 25% do valor recomendado) em açúcares totais, fósforo, sódio, zinco e ferro. O açaí pode ser classificado como um dos frutos mais nutritivos da Amazônia.

A acidez dos produtos alimentícios é usualmente calculada com base no principal ácido presente, expressando-se o resultado com percentagem de acidez titulável e nunca da total, devido aos componentes ácidos voláteis não serem detectados (CHITARRA & CHITARRA, 1990). O açaí, por ser uma bebida pouco ácida, é favorável ao crescimento de microrganismos. Segundo EVANGELISTA (1994), o pH abaixo de 4,6 em alimentos, lhes confere reação ácida, que constitui um mecanismo natural de proteção contra a proliferação de várias espécies microrgânicas. PONTES et al. (1998) estudaram o aproveitamento da bebida açaí como néctar e constataram que a adição de ácido cítrico para um pH inferior a 4,5 é o mais recomendado por razões microbiológicas.

Os lipídios formam, juntamente com os carboidratos e as proteínas, o grupo de compostos mais importantes em alimentos e mais frequentemente encontrado na natureza, tanto em vegetais como em animais. As principais fontes de energia encontram-se entre os lipídios. Enquanto, as proteínas de origem animal são formadas por aminoácidos em proporção e qualidade ótimas para a nutrição humana, as proteínas de origem vegetal e também aquelas de microrganismos nunca são, por si só, completas em sua composição. Entretanto, considerando os diferentes tipos de dieta no mundo, tais proteínas são importantes por serem, em muitos casos, a principal e a única fonte de aminoácidos na alimentação (BOBBIO & BOBBIO, 1985).

O teor de açúcares assimiláveis em frutas é geralmente elevado. Segundo CHITARRA & CHITARRA (1990) os sólidos solúveis indicam a quantidade, em gramas, dos sólidos que se encontram dissolvidos no suco ou polpa. O teor de açúcares é normalmente 65 a 85% do teor de sólidos solúveis totais.

As fibras podem ser classificadas, quanto ao seu efeito fisiológico, em fibras solúveis e insolúveis. As fibras solúveis em água são representadas pela pectina, gomas e algumas hemiceluloses; as fibras insolúveis são constituídas pela celulose, hemicelulose e lignina. Entre os alimentos mais ricos em fibras insolúveis são citadas as verduras e a maioria dos grãos de cereais; já com as fibras solúveis, se destacam, principalmente, o feijão, frutos, aveia e cevada. Frutos frescos, hortaliças e legumes contribuem bastante para a dieta em

fibras. As fibras têm papel importante nos distúrbios do aparelho digestivo e estudos têm sido realizados para explicar o papel exercido pelas fibras na prevenção do câncer do cólon (FRANCO, 1998).

Cinzas, em alimentos, se refere ao resíduo inorgânico remanescente da queima da matéria orgânica, sem resíduo de carvão (ANGELUCCI et al., 1987). Frutas, vegetais e seus derivados, como qualquer outro alimento, contêm material orgânico que deve ser destruído antes da estimativa dos minerais. A escolha do procedimento usado para a destruição do material orgânico depende da sua natureza, dos constituintes inorgânicos presentes, do metal a ser determinado e sensibilidade do método (RANGANNA, 1977). Diversos minerais encontram-se presentes em frutos e hortaliças, notadamente o cálcio, o ferro, o potássio e o magnésio, porém têm pequena contribuição nos requerimentos dietários do homem, mas em alguns casos, os níveis encontrados são elevados (CHITARRA & CHITARRA, 1990).

A cor roxa dos frutos de açaí se deve à presença de pigmentos naturais chamados de antocianinas. Devido ao elevado teor de antocianinas o açaí pode ser considerado uma matéria-prima viável e promissora para uso como corante natural (GHIRALDINI, 1996; BOBBIO et al., 2000; ROGEZ, 2000). As antocianinas favorecem uma melhor circulação sanguínea e protegem o organismo contra a arteriosclerose (Satué-Gracia et al., Ghiselli et al. e Heinonen et al. citados por ROGEZ, 2000).

O teor de água presente em alimentos é uma das determinações de difícil execução, visto que os métodos usuais para a quantificação envolvem a destilação da água presente no alimento e, com isto, outros compostos voláteis também são evaporados. Em suma, na determinação do teor de água de um produto alimentício, o termo umidade refere-se à somatória da água volatilizada nas condições do método analítico e dos demais componentes também volatilizados ou decompostos pelo calor. Assim, o teor de sólidos totais de um produto representa, teoricamente, valor igual ou inferior ao valor real (ANGELUCCI et al., 1987).



### 2.3. Propriedades termofísicas

Na indústria de alimentos, muitos processos envolvem operações de transferência de calor e massa, tais como aquecimento, evaporação, desidratação, congelamento, resfriamento, etc. O conhecimento das propriedades termofísicas dos materiais envolvidos e seu comportamento durante o processamento, bem como a predição e o controle das mudanças ocorridas nos produtos são de grande importância para uma variedade de pesquisas e projetos no campo da engenharia de alimentos.

Alguns dados básicos de propriedades físicas estão disponíveis na literatura para diversos produtos e para alimentos, mas quase todos dizem respeito a medidas em condições específicas e particulares (SWEAT, 1974; MOHSENIN, 1980; CHOI & OKOS, 1986; ALVARADO, 1994).

As propriedades termofísicas de alimentos podem ser determinadas experimentalmente ou através do uso de modelos matemáticos que expressam estas propriedades geralmente em função da umidade, concentração dos sólidos solúveis, sólidos totais e temperatura. Para valores mais exatos também existem modelos mais completos os quais utilizam todos os parâmetros da composição química.

#### 2.3.1. Massa específica

A massa específica é definida como a relação de massa por unidade de volume de uma substância. Expressa, portanto, a quantidade de matéria contida em uma dada unidade de volume. É uma das propriedades que servem para caracterizar uma substância.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.1)$$

Onde:

$\rho$  = Massa específica (kg/m<sup>3</sup>)

$m$  = Massa (kg)

$V$  = Volume (m<sup>3</sup>)

Segundo MOHSENIN (1980) em cálculos de transferência de calor é comumente utilizado o conceito de massa específica. Existem três tipos de massa específica relacionada com materiais biológicos:

**1 - Massa específica volumétrica** - recorre-se à massa de unidades individuais intactas do material, colocadas em um determinado volume por um método especificado. Este tipo de massa específica inclui o espaço poroso da massa do material.

**2 - Massa específica aparente** - refere-se ao peso de cada unidade intacta do material dividido pelo volume da unidade. Este tipo de determinação inclui o espaço poroso dentro de cada unidade do material.

**3 - Massa específica real** - é dada através da relação entre a massa e a unidade de volume dos sólidos dentro de cada unidade do material, com o espaço poroso do volume ocupado pela amostra determinado pelo método do picnômetro de comparação a ar e deduzido do volume total.

### 2.3.1.1. Massa específica de sólidos

A massa específica de partículas sólidas de alimentos pode ser medida por métodos de deslocamento de líquido ou ar (CHOI & OKOS, 1986).

O Método de deslocamento de líquido é uma técnica simples que é comumente usada com produtos grandes tais como frutas, vegetais e grãos. A amostra é primeiro pesada ao ar e então fixada em um suporte, depois é feita a pesagem com a amostra submersa menos o peso do recipiente com água, então o peso da água deslocada será usada na Equação 2.2 para o cálculo do volume:

$$V = \frac{m_w}{\rho_w} \quad (2.2)$$



Onde:

$m_w$  = Massa de água deslocada (kg)

$\rho_w$  = Massa específica da água ( $\text{kg/m}^3$ )

Com o conhecimento da massa da amostra ao ar e do volume a massa específica é então obtida através da Equação 2.1.

No método do picnômetro de comparação de ar o aparato consiste basicamente de duas câmaras com uma válvula conectando-as e um indicador diferencial de pressão. O volume real da amostra é calculado através da Equação 2.3, sendo em seguida calculada a massa específica pela Equação 2.1.

$$V = V_1 - V_2 \left( \frac{P_1}{P_2} - 1 \right) \quad (2.3)$$

Onde:

$V$  = Volume real da amostra ( $\text{m}^3$ )

$V_1$  e  $V_2$  = Volumes das câmaras 1 e 2 ( $\text{m}^3$ )

$P_1$  = Pressão na câmara 1 ( $\text{kgf/m}^2$ )

$P_2$  = Pressão final depois de aberta a válvula conectada entre as câmaras 1 e 2. ( $\text{kgf/m}^2$ )



UFCC - BIBLIOTECA

### 2.3.1.2. Massa específica de líquidos

Dentre os métodos utilizados para a determinação da massa específica de alimentos líquidos o método do picnômetro é o mais utilizado. Baseia-se no princípio de que um picnômetro de volume conhecido é preenchido com a amostra e pesado, mas esta técnica deve ser usada com cautela em temperaturas elevadas, porque erros podem resultar da evaporação da amostra.

### 2.3.1.3. Modelos de predição da massa específica

Existe na literatura uma grande quantidade de modelos para a predição da massa específica de alimentos que são abrangentes, rápidos e de precisão razoável, sendo, portanto, muito úteis na ausência de dados experimentais.

Segundo RAMOS & IBARZ (1998), dados de massa específica e sua variação com a concentração e a temperatura são muito importantes para a indústria de alimentos em geral, e em particular, para derivados de frutas, visto que são necessários para projetos e otimização de várias operações de processos (bombeamento, evaporação, transferência de calor, etc).

Para sucos de frutas em geral, num intervalo de temperaturas de 0 a 80°C e com uma faixa de concentração de 5 a 30 °Brix, ALVARADO & ROMERO (1989), desenvolveram a seguinte equação para o cálculo da massa específica:

$$\rho = 1002 + 4,61.B - 0,460.T + 7,001.10^{-3} \cdot T^2 - 9,175.10^{-5}.T^3 \quad (2.4)$$

Onde:

$\rho$  = Massa específica (kg/m<sup>3</sup>)

B = Concentração (°Brix)

T = Temperatura (°C)

CONSTENLA et al. (1989) analisando o efeito da concentração e da temperatura do suco clarificado de maçã, propuseram a Equação 2.5 aplicável no intervalo de temperatura de 20 a 80°C e faixa de concentração de 12 a 68,5 °Brix, com coeficiente de determinação de 0,9978 e desvio padrão de 0,0040.

$$\rho = 0,82780 + 0,34708.\exp.(0,01.B) - 5,479.10^{-4}.T \quad (2.5)$$

Onde:

$\rho$  = Massa específica (g/cm<sup>3</sup>)

B = Concentração (°Brix)

T = Temperatura (K)

Ainda segundo estes mesmos autores a massa específica em função da concentração e da massa específica da água ( $\rho_w$ ) podem ser expressas através da Equação 2.6.

$$\rho = \rho_w / (0,992417 - 3,7391 \cdot 10^{-3} \cdot B) \quad (R^2 = 0,9989, s = 0,0021) \quad (2.6)$$

Onde:

$\rho$  = Massa específica (g/cm<sup>3</sup>)

$\rho_w$  = Massa específica da água (g/cm<sup>3</sup>)

B = Concentração (°Brix)

A Equação 2.7 foi desenvolvida por IBARZ & MIGUELSANZ (1989), para sucos clarificados de pêra, num intervalo de 5 a 70°C e concentrações entre 10 e 71°Brix, onde a massa específica varia linearmente com a temperatura e de forma polinomial com a concentração.

$$\rho = 1,0113 - 5,4764 \cdot 10^{-4} \cdot T + 5,1709 \cdot 10^{-3} \cdot B + 0,0308 \cdot 10^{-5} \cdot B^2 \quad (2.7)$$

Onde:

$\rho$  = Massa específica (kg/m<sup>3</sup>)

B = Concentração (°Brix)

T = Temperatura (°C)



Estudando o efeito da temperatura e da concentração dos sólidos solúveis na massa específica do suco de pêsego despectinizado e clarificado, RAMOS & IBARZ (1998)

desenvolveram a Equação (2.8) com coeficiente de correlação, significativo em nível de 99% de probabilidade.

$$\rho = 1006,56 - 0,5155.T + 4,1951.B + 0,0135.B^2 \quad (2.8)$$

Onde:

$\rho$  = Massa específica (kg/m<sup>3</sup>)

B = Concentração (°Brix)

T = Temperatura (°C)

ZAINAL et al. (2000) investigaram o efeito das temperaturas de pasteurização (65 a 85°C) nas características físicas do suco de goiaba, variedade Beaumont B-30, com duas diferentes concentrações de sólidos solúveis (9°Brix e 11°Brix). Equações lineares (Eqs. 2.9 e 2.10) baseadas apenas na temperatura foram sugeridas com coeficiente de correlação de 0,8312 e 0,8979, respectivamente.

$$\rho = 1047 - 0,5293.T \quad (2.9)$$

$$\rho = 1047 - 0,45.T \quad (2.10)$$

Onde:

$\rho$  = Massa específica (kg/m<sup>3</sup>)

T = Temperatura (°C)

CEPEDA & VILLARÁN (1999) determinaram a massa específica do suco de maçã silvestre turvo e despectinizado a 25°C para as concentrações variando de 18 a 70 °Brix e desenvolveram uma Equação (2.11) baseada na concentração.

$$\rho = 0,0054.B + 0,9671 \quad (R^2 = 0,9949) \quad (2.11)$$

Onde:

$\rho$  = Massa específica (g/cm<sup>3</sup>)

B = Concentração (°Brix)

A variação da massa específica do suco de uva com a concentração e temperatura (Equação 2.12) foi proposta por BAYINDIRLI (1993), apresentando um coeficiente de correlação ( $R^2$ ) de 0,9973 e desvio padrão de 0,0068.

$$\rho = 0,74 + 0,43 \cdot \exp.(0,01 \cdot B) - 0,000555 \cdot T \quad (2.12)$$

Onde:

$\rho$  = Massa específica (g/cm<sup>3</sup>)

B = Concentração (°Brix)

T = Temperatura (°C)

### 2.3.2. Difusividade térmica

A difusividade térmica é uma importante propriedade em situações onde a transferência de calor ocorre em regime transiente, pois estabelece a velocidade com que o calor se difunde no alimento e a relação entre o tempo e a temperatura. É expressa como:

$$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot C_p} \quad (2.13)$$

Onde:

$\alpha$  = Difusividade térmica (m<sup>2</sup>/s)

k = Condutividade térmica (w/m°C)

C<sub>p</sub> = Calor específico (kJ/kg°C)

$\rho$  = Massa específica (kg/ m<sup>3</sup>)

Os métodos para determinação da difusividade térmica encontrados na literatura em sua maioria são indiretos, onde se faz necessário o conhecimento da massa específica, da condutividade térmica e do calor específico e a utilização da Equação 2.13 (MOHSENIN, 1980).

### 2.3.2.1. Método do cilindro infinito para a determinação da difusividade térmica em alimentos (DICKERSON, 1965)

DICKERSON (1965) construiu um aparato que utiliza condições de transferência de calor em regime transiente, requerendo apenas dados de temperatura da amostra que aumentam linearmente com o tempo. Coincidentemente, a diferença de temperatura que indica a difusividade térmica é invariável com o respectivo tempo, facilitando a análise e interpretação dos resultados. O método produz dados aplicáveis sobre um intervalo de tempo através do qual a amostra é aquecida permitindo o cálculo da difusividade térmica através de um único experimento. As condições necessárias são satisfeitas quando o termo  $\partial T / \partial t$ , na equação de transferência de calor é constante. A equação de transferência de energia térmica, considerando que não se tem transporte convectivo e dissipação viscosa, resulta:

$$\rho \cdot Cp \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = k \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (2.14)$$

De acordo com a Equação 2.13 temos:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (2.15)$$

Para coordenadas cilíndricas, a Equação 2.15 transforma-se em:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left( \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (2.16)$$

Ignorando os gradientes de temperatura paralelos ao eixo do cilindro, a derivada  $\partial^2 T / \partial z^2$  é zero. Semelhantemente, na ausência de uma diferença de temperatura ao redor da circunferência,  $\partial^2 T / \partial \theta^2$  também é zero, que conduz a:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left( \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right) \quad (2.17)$$

Considerando  $\partial T / \partial t$  constante = A, temos:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = A = \alpha \left( \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right) \quad (2.18)$$

$$\frac{A}{\alpha} = \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \quad (2.19)$$

Visto que  $\partial T / \partial r$  não é mais dependente do tempo, a solução da Equação (2.19) é:

$$\frac{A}{\alpha} = \frac{d^2 T}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{dT}{dr} \quad (2.20)$$

e a solução, resulta:

$$T = \frac{A \cdot r^2}{4 \cdot \alpha} + C_1 \ln(r) + C_2 \quad (2.21)$$

As condições limites são:

$$T = A t = T_R \quad (t > 0, r = R) \quad (2.22)$$

$$\frac{\partial T}{\partial r} = 0 \quad (t > 0; r = 0) \quad (2.23)$$

Portanto:

$$(T_R - T) = \frac{A}{4\alpha}(R^2 - r^2) \quad (2.24)$$

No centro do cilindro  $r = 0$ , temos:

$$T_R - T_0 = \frac{A.R^2}{4\alpha} \quad (2.25)$$

Onde:

$\alpha$  = Difusividade térmica ( $m^2/s$ )

A = Taxa constante de aquecimento em todos os pontos do cilindro ( $^{\circ}C/s$ )

R = raio do cilindro (cm)

$T_R$  = Temperatura da superfície do cilindro de raio R ( $^{\circ}C$ )

$T_0$  = Temperatura no centro do cilindro ( $^{\circ}C$ )

### 2.3.2.2. Modelos de predição da difusividade térmica

A difusividade térmica de alimentos depende da sua composição (incluindo o teor de umidade), estrutura e temperatura. Em processos de pasteurização ou esterilização, bem como em processos de congelamento uma mudança na composição global não é esperada, mas uma mudança na temperatura e, às vezes, na estrutura, com certeza acontecerá, afetando o valor da difusividade térmica (JARAMILLO-FLORES & HERNANDEZ-SANCHEZ, 2000).

TELIS-ROMERO et al. (1998) determinaram a difusividade térmica do suco de laranja com teores de umidade variando entre 34 e 73% e temperaturas de 0,5 a 62 $^{\circ}C$ , utilizando a técnica desenvolvida por DICKERSON (1965), a qual é estimada através da determinação experimental da condutividade térmica, calor específico e massa específica. Estes pesquisadores propuseram equações polinomiais para estimar a difusividade térmica

UFCG - BIBLIOTECA



(Equações 2.26 e 2.27) em função da temperatura e da umidade, apresentando erros relativos para os valores calculados entre 3,1 e 13,9% abaixo dos valores experimentais.

$$\alpha_{\text{exp.}} = 7,9683 \cdot 10^{-8} + 5,9839 \cdot 10^{-8} \cdot X_w + 0,02510 \cdot 10^{-8} \cdot T \quad (2.26)$$

$$\alpha_{\text{cal.}} = 5,5382 \cdot 10^{-8} + 9,50003 \cdot 10^{-8} \cdot X_w + 0,00999 \cdot 10^{-8} \cdot T \quad (2.27)$$

Onde:

$X_w$  = Fração mássica da água (Adimensional)

$\alpha_{\text{exp}}$  = Difusividade térmica experimental ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

$\alpha_{\text{cal.}}$  = Difusividade térmica calculada ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

VIEIRA (1996) trabalhando com suco de laranja no intervalo de concentração de 11 a 65°B observou que a difusividade térmica diminui com a concentração e propôs um modelo (Equação 2.28) com coeficiente de determinação 0,9731 e desvio padrão de 0,0047.

$$\alpha = (1,4199 - 1,2637 \cdot 10^{-3} \cdot B + 5,2620 \cdot 10^{-5} \cdot B^2 - 1,4864 \cdot 10^{-6} \cdot B^3) \cdot 10^{-7} \quad (2.28)$$

Onde:

$\alpha$  = Difusividade térmica ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

B = Concentração (°Brix)

A Equação 2.29 desenvolvida para produtos alimentícios por RIEDEL (1969) relaciona a difusividade térmica com a umidade.

$$\alpha = 0,088 \cdot 10^{-6} + (\alpha_w - 0,088 \cdot 10^{-6}) \cdot X_w \quad (2.29)$$

$\alpha$  = Difusividade térmica ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

$\alpha_w$  = Difusividade térmica da água ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

$X_w$  = Fração mássica da água (Adimensional)

Investigando a influência na difusividade térmica do teor de umidade, gordura, proteínas, carboidratos e temperatura Martens, citado por CHOI & OKOS (1986), verificou que a água e a temperatura são os fatores que mais afetam esta propriedade. Propôs um modelo (Equação 2.30) baseado nestas duas variáveis após realizar múltiplas análises de regressão com 246 valores de difusividade térmica publicados para alimentos em geral.

$$\alpha = [0,057363 \cdot X_w + 0,000288 \cdot T] \cdot 10^{-6} \quad (2.30)$$

$\alpha$  = Difusividade térmica ( $m^2/s$ )

$X_w$  = Fração mássica da água (Adimensional)

T = Temperatura (K)

### 2.3.3. Calor específico

O calor específico é definido como a quantidade de calor necessária para mudar a temperatura de uma unidade de massa em um grau.

$$C_p = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \quad (2.31)$$

Onde:

$C_p$  = Calor específico ( $kJ/kg^\circ C$ )

Q = Quantidade de calor (kJ)

m = Massa (kg)

$\Delta T$  = Variação da temperatura ( $^\circ C$ )



A variação da pressão em problemas de transferência de calor de materiais biológicos é muito pequena, portanto, normalmente é usado o conceito de calor específico à pressão constante (MOHSENIN, 1980).

### 2.3.3.1. Métodos de determinação

Vários métodos são utilizados para a determinação experimental do calor específico de produtos agrícolas:

**1. Método das misturas** – neste método, a amostra com massa e temperatura conhecida é colocada em um calorímetro, com capacidade calorífica previamente determinada, contendo água cuja massa e temperatura são também conhecidas. O calor específico da amostra é calculado através da equação do balanço de calor (Equação 2.32) entre o calor ganho ou perdido pelo calorímetro e aquele absorvido ou perdido pela amostra.

$$C_{pa} \cdot M_a (T_i - T_e) = (Cp_w \cdot M_w \cdot (T_e - T_w) - Cp_c \cdot M_c (T_i - T_e)) \quad (2.32)$$

$$Cp_a = \frac{Cp_w \cdot M_w (T_e - T_w) - Cp_c \cdot M_c (T_i - T_e)}{M_a (T_i - T_e)} \quad (2.33)$$

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)

$T_e$  = 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)

**2. Método das placas** – neste método a amostra é envolvida por placas térmicas aquecidas eletricamente, sendo mantidas a mesma temperatura da amostra, que também é aquecida eletricamente. Desta forma, teoricamente não existem perdas de calor, então o calor cedido pelo produto em um dado tempo é igual ao calor ganho pelo mesmo.

**3. Método do calorímetro diferencial de varredura (DSC)** – este método é baseado na proporcionalidade entre o fluxo de calor da amostra e o calor específico instantâneo, quando sujeito a um programa linear com o aumento da temperatura. Através do registro deste fluxo de calor em função da temperatura, e comparando-se com o fluxo de calor de referência submetido às mesmas condições, o calor específico pode ser obtido em função da temperatura. A quantidade de energia necessária para mudar a temperatura da amostra é comparada com a energia necessária para a mudança da temperatura de um material de referência, a mesma taxa de aquecimento (O'NEILL, 1966).

### 2.3.3.2. Modelos de predição do calor específico

Siebel citado por MOHSENIN (1980) propôs que o calor específico de produtos alimentícios tais como ovos, carne, frutas e vegetais pode ser tomado como a soma do calor específico da água e dos sólidos em combinação com a água. Embora o método pareça dar uma estimativa razoável do calor específico para materiais com alto conteúdo de umidade, alguns pesquisadores acham que não são suficientemente precisos para materiais de baixa umidade. A Equação 2.34 aplica-se a produtos alimentícios de alta umidade.

$$C_p = 0,837 + 3,349.X_w \quad (2.34)$$

Onde:

$C_p$  = Calor específico (kJ/kg°C)

$X_w$  = Fração mássica da água (Adimensional)

DICKERSON (1968) desenvolveu um modelo (Equação 2.35) que tem sido aplicado a sucos de frutas com teor de umidade superior a 50%.

$$C_p = 1,675 + 2,512.X_w \quad (2.35)$$

Onde:

$C_p$  = Calor específico (kJ/kg°C)

$X_w$  = Fração mássica da água (Adimensional)

Os calores específicos do suco concentrado de tamarindo e de soluções de sacarose foram estudados por MANOHAR et al. (1991) nas concentrações de 7 a 62 °Brix e nas temperaturas entre 25 e 70°C, utilizando o calorímetro diferencial de varredura, verificou-se que o calor específico do suco é menor do que soluções de sacarose em todas as concentrações. O modelo proposto por estes pesquisadores para o suco de tamarindo, nestas condições, apresentou um coeficiente de correlação de 0,993 e um nível de significância de  $P < 0,01$ .

$$C_p = 4,18 + [6,839 \cdot 10^{-5} \cdot T - 5,03 \cdot 10^{-2}] \cdot S \quad (2.36)$$

Onde:

$C_p$  = Calor específico (kJ/kg°C)

$T$  = Temperatura (K)

$S$  = Sólidos totais (%)

Lamb citado por SIMÕES (1997), desenvolveu um modelo baseado apenas no teor de umidade (Equação 2.37).

$$C_p = 1,465 + 2,721 \cdot X_w \quad (2.37)$$

Onde:

$C_p$  = Calor específico (kJ/kg°C)

$X_w$  = Fração mássica da água (Adimensional)

VIEIRA (1996) utilizando o método das misturas proposto por HWANG & HAYAKAWA (1979), onde não há contato direto da amostra com o líquido de calor específico conhecido, verificou que o calor específico varia linearmente com a

concentração do suco de laranja, de acordo com a Equação 2.38. O valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) obtido foi de 0,9937 e o desvio padrão de 0,03878.

$$C_p = 4,1713 - 0,02779.B \quad (2.38)$$

Onde:

$C_p$  = Calor específico (kJ/kg°C)

$B$  = Concentração (°Brix)

O calor específico do suco de maçã determinado por CONSTENLA et al. (1989) através do calorímetro diferencial de varredura, resultou em uma função linear para valores de sólidos solúveis entre 6 e 75 °Brix e temperatura entre 30 e 90°C ( $R^2 = 0,9900$  e  $s = 0,0098$ )

$$C_p = 0,80839 - 4,341.10^{-3}.B + 5,6063.10^{-4}.T \quad (2.39)$$

Onde:

$C_p$  = Calor específico (kcal/g°C)

$B$  = Concentração (°Brix)

$T$  = Temperatura (°C)

Resultado similar foi relatado por ZAINAL et al. (2000) para o suco de goiaba utilizando a mesma metodologia (DSC), com coeficientes de determinação acima de 0,95 expressa pelas Equações 2.40 e 2.41 para concentrações de 9 e 11°B, respectivamente.

$$C_p = 3366,1 + 2,5536.T \quad (2.40)$$

$$C_p = 3473,2 + 0,807.T \quad (2.41)$$

Onde:

$C_p$  = Calor específico (kcal/g°C)

$T$  = Temperatura (°C)

### 2.3.4. Condutividade térmica

A condutividade térmica ( $k$ ) de qualquer elemento está definida como a quantidade de calor por unidade de tempo que passa através de uma placa de espessura e área unitária, tendo uma diferença de temperatura entre as faces, ou ainda, é a constante de proporcionalidade entre o fluxo de calor ( $q$ ) e o gradiente. Para o caso da condução unidimensional de calor através de um sistema, tem-se a equação fundamental da Transferência de calor, ou lei de Fourier:

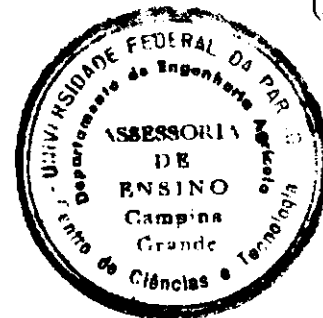
$$q = -k \cdot \frac{dT}{dx} \quad (2.42)$$

Onde:

$q$  = densidade de fluxo de calor (kJ/s)

$k$  = condutividade térmica (W/m°C)

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



O sinal negativo indica que o fluxo está escoando na direção da diminuição do gradiente de temperatura.

A condutividade térmica pode ser calculada através do conhecimento da difusividade térmica, calor específico e densidade do material (Equação 2.13).

#### 2.3.4.1. Métodos de determinação

Existem dois métodos que podem ser usados na determinação experimental da condutividade térmica que são classificados genericamente como:

**1. Método estacionário** – consiste em resolver a equação de condução de calor para o regime estacionário, (métodos da placa plana, cilindricos concêntricos e esferas concêntricas). Segundo Fortes & Okos e Reidy & Rippen citados por VIEIRA (1996) as placas, em diferentes temperaturas, ficam sob um gradiente de temperatura que é função apenas da espessura da amostra. O uso deste método é limitado pelo longo tempo que



demanda e as diferentes formas geométricas da amostra, podendo causar a perda de umidade da amostra e migração da umidade no seu interior.

**2. Método transiente** – este método é baseado na solução da equação geral de condução de calor (método da fonte linear, método da sonda e liofilização). SWEAT (1973) afirma que o método transiente apresenta vantagens para a determinação da condutividade térmica dos materiais biológicos em particular aos que possuem altas concentrações de umidade.

O método da sonda tem sido amplamente utilizado para determinação experimental da difusividade térmica por DELGADO et al. (1997) para morango e espinafre numa faixa de temperatura entre - 21 e 28°C, RAO et al. (1975) para batatas e abóbora acima do ponto de congelamento, VIEIRA (1996) para suco de laranja, CHOI & OKOS (1983) para suco concentrado de tomate e LOZANO et al. (1979) para maçã.

#### **2.3.4.2. Modelos de predição da condutividade térmica**

Segundo QASHOU et al. (1972), muitos fatores podem afetar a condutividade térmica dos alimentos e dos produtos alimentícios, tais como: composição, massa específica, porosidade, tamanho, tratamento térmico, etc.

Kolarov & Gromov citados por SWEAT (1994), apresentaram um modelo para estimar a condutividade térmica de sucos de frutas com teores de umidade superiores a 60% (Equação 2.43).

$$k = 0,140 + 0,42.X_w \quad (2.43)$$

Onde:

k = Condutividade térmica (W/m°C)

X<sub>w</sub> = Fração mássica da água (Adimensional)



Utilizando o método da sonda para a determinação da condutividade térmica CONSTENLA et al. (1989) propuseram um modelo linear dependente da concentração e da temperatura para o suco de maçã ( $R^2 = 0,9988$  e  $s = 0,0077$ ).

$$k = 0,27928 - 3,5722 \cdot 10^{-3} \cdot B + 1,1357 \cdot 10^{-3} \cdot T \quad (2.44)$$

Onde:

k = Condutividade térmica (W/m°C)

B = Concentração (°B)

T = temperatura (K)

Ziegler et al. citados por SIMÕES (1986), apresentaram a Equação 2.45 para o cálculo da condutividade térmica suco de maçã baseada apenas no teor de sólidos ( $X_s$ ) do produto.

$$k = (60,97 - 0,1542 \cdot X_s + 0,0028 \cdot X_s^2) \cdot 10^{-2} \quad (2.45)$$

Onde:

k = Condutividade térmica (W/m°C)

$X_s$  = Fração mássica dos sólidos totais (Adimensional)

NJIE et al. (1998) utilizando a sonda da fonte de calor encontraram a condutividade térmica para banana variando entre 0,13 e 0,45 W/m°C para valores de umidade entre 14 e 57% e sugerindo o seguinte modelo (Equação 2.46):

$$k = 0,901 - 0,967 \cdot \exp(-0,014 \cdot M) \quad (2.46)$$

Onde:

k = Condutividade térmica (W/m°C)

M = Teor de umidade em base úmida (%)



A condutividade térmica em várias temperaturas e conteúdos de umidade foi medida por TELIS-ROMERO et al. (1998), usando o método descrito por Bellet et al. obtendo a função apresentada na Equação 2.47.

$$k = 0,0797 + 0,5238.X_w + 0,000580.T \quad (2.47)$$

Onde:

$k$  = Condutividade térmica (W/m°C)

$X_w$  = Fração mássica da água (adimensional)

$T$  = Temperatura (°C)

DONSI et al. (1996) mediram a condutividade térmica da batata e da maçã por meio de um aparato baseado no método de Fich, em vários conteúdos de umidade na temperatura de 30°C, propondo as Equações 2.48 e 2.49. A condutividade térmica dos produtos frescos foi de 0,52 e 0,43 W/m°C para a batata e maçã, respectivamente.

$$k = 0,389.X_w + 0,1445 \quad (R^2 = 0,970) \quad (2.48)$$

$$k = 0,322.X_w + 0,1263 \quad (R^2 = 0,971) \quad (2.49)$$

Onde:

$k$  = Condutividade térmica (W/m°C)

$X_w$  = Fração mássica da água (adimensional)

A condutividade térmica de várias frutas e vegetais foi estudada por SWEAT (1974) que verificou que existe uma forte correlação entre a condutividade térmica e o teor de umidade, exceto para aqueles consideravelmente menos densos que a água. Apresentou uma equação linear para frutas e vegetais com conteúdos de umidade superiores a 60%.

$$k = 0,148 + (0,00493.X_w) \quad (2.50)$$

Onde:

$k$  = Condutividade térmica (W/m°C)

$X_w$  = Fração mássica da água (adimensional)

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

A etapa experimental foi conduzida no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola, no período de janeiro a junho de 2001.

#### 3.1. Matéria-prima

Os frutos do açaí, variedade Preto, provenientes do município de Abactuba, foram transferidos para a capital Belém-PA, onde foram beneficiados, despolidos, congelados e transportados via aérea para a cidade de Campina Grande-PB. A Figura 3.1 apresenta o fluxograma geral do processo de extração da polpa de açaí, caracterização e determinação das propriedades termofísicas.

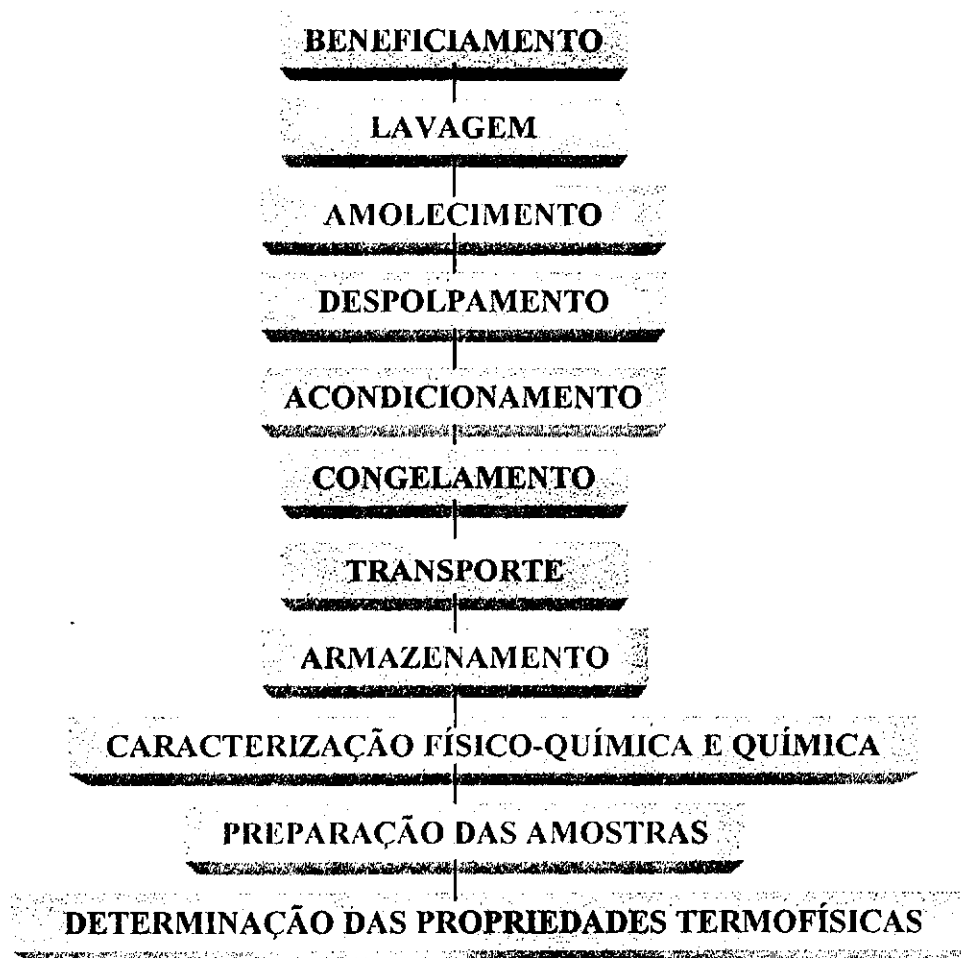


Figura 3.1. Fluxograma do processamento da polpa de açaí e das análises efetuadas

### **3.1.1. Processamento da matéria-prima**

#### **3.1.1.1. Beneficiamento**

O beneficiamento consistiu em selecionar o material manualmente, eliminando-se os frutos imaturos e deteriorados.

#### **3.1.1.2. Lavagem**

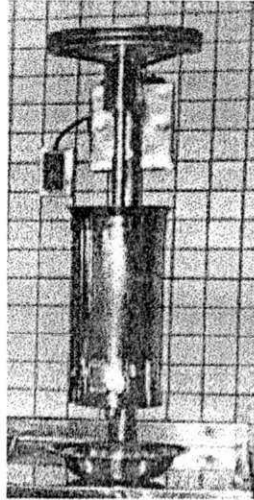
Foi feita por imersão dos frutos em solução de hipoclorito de sódio a uma concentração de 20 ppm, com posterior lavagem em água corrente.

#### **3.1.1.3. Amolecimento**

A fim de otimizar o processo de despulpamento procedeu-se o amolecimento dos frutos que foi efetuado em água a uma temperatura de 30°C por 30 minutos. Logo após, os frutos foram escorridos em peneira.

#### **3.1.1.4. Despulpamento**

Foi utilizada uma despulpadeira mecânica acoplada a um motor de indução monofásico de 1.725 rpm (Figura 3.2). Colocavam-se os frutos manualmente na parte superior do cilindro, adicionando-se pequenas quantidades de água destilada para facilitar o escoamento da polpa que, depois de passar por uma peneira com crivos de cerca de 0,5 mm, fluía como um líquido viscoso por um dreno situado na parte inferior do cilindro.



**Figura 3.2.** Apresentação de uma despulpadeira dos frutos do açazeiro.

#### **3.1.1.5. Acondicionamento**

A polpa de açai foi acondicionada em embalagens de polietileno de alta densidade com capacidade para 500 gramas.

#### **3.1.1.6. Congelamento**

A polpa de açai foi congelada em câmara frigorífica a  $-20^{\circ}\text{C}$ .

#### **3.1.1.7. Transporte**

A polpa de açai congelada foi colocada em caixas de isopor e transportada por aeronave para Campina Grande.

#### **3.1.1.8. Armazenamento**

A polpa de açai foi armazenada em freezer horizontal a  $-20^{\circ}\text{C}$  até a realização das análises.

## **3.2. Caracterização físico-química e química da polpa de açaí**

### **3.2.1. pH**

A determinação do pH foi realizada pelo método potenciométrico, utilizando pHmetro modelo pH300 M de marca ANALYSER.

### **3.2.2. Sólidos Solúveis ("Brix)**

O °Brix foi determinado através da leitura direta em refratômetro digital automático, marca ACATEC modelo RDA 8600.

### **3.2.3. Acidez total titulável**

A acidez total foi determinada pelo método acidimétrico n.º 942.15b da AOAC (1998).

### **3.2.4. Cinzas**

Foi determinada segundo Método Oficial n.º 940.26 da AOAC (1998).

### **3.2.5. Lipídios**

A dosagem dos lipídios foi realizada por extração contínua a 60°C com éter de petróleo, durante 4 horas, num extrator tipo Soxhlet, de acordo com o método descrito pelo INSTITUTO ADOLFO LUTZ (LARA et al., 1976).

### **3.2.6. Proteínas**

Foi determinada utilizando-se o método KJELDAHL segundo a metodologia do INSTITUTO ADOLFO LUTZ (LARA et al., 1976).

### 3.2.7. Antocianinas

A determinação das antocianinas se baseou no método de ASKAR & TREPTOW (1993).

### 3.2.8. Sólidos totais e umidade

Foram determinados através do método descrito pelo INSTITUTO ADOLFO LUTZ (LARA et al., 1976).

### 3.2.9. Sólidos solúveis e insolúveis

Os sólidos solúveis e insolúveis foram determinados pelo método descrito pelo INSTITUTO ADOLFO LUTZ (LARA et al., 1976).

### 3.3. Preparação das amostras

A polpa de açaí foi diluída em água destilada até obter o teor de sólidos totais desejado (15,2, 12,5 e 9,7%).



### 3.4. Determinação das propriedades termofísicas

#### 3.4.1. Massa específica

A massa específica da polpa de açaí em diferentes temperaturas (10°C, 20°C, 30°C, 40°C e 50°C) e conteúdos de umidade (84,8, 87,5 e 90,2% b.u.) foi determinada em triplicata, por pesagem em balança analítica com precisão de 0,0001g, utilizando um picnômetro. As temperaturas das amostras foram equilibradas em banho termostático. O picnômetro com volume de 25 ml foi previamente calibrado com água destilada a cada temperatura. Para completa eliminação das bolhas de ar presentes na amostra foi utilizado um banho ultrasônico modelo T-5 da marca AROTEC.

Para determinação da massa específica teórica da polpa de açaí foram utilizados modelos da literatura apresentados na Tabela 3.1.

**Tabela 3.1.** Modelos da literatura para prever a massa específica de alimentos

Produto	Fórmula	Autor
Polpas e sucos de frutas (geral)	$\rho = 1002 + 4,61.B - 0,460.T + 7,001 \cdot 10^{-3} \cdot T^2 - 9,175 \cdot 10^{-5} \cdot T^3$	ALVARADO & ROMERO (1989)
Sucos clarificados de maçã	$\rho = (\rho_w / 0,992417 - 3,7391 \cdot 10^{-3} \cdot B)$	CONSTENLA et al. (1989)
Suco de pêssego	$\rho = 1006,56 \cdot 0,5155 T + 4,1951 B + 0,0135 B^2$	RAMOS & IBARZ (1998)
Suco clarificado de pêra	$\rho = 1,0113 - 5,4764 \cdot 10^{-4} \cdot T + 5,1709 \cdot 10^{-3} \cdot B + 0,0308 \cdot 10^{-5} \cdot B^2$	IBARZ & MIGUELSANZ (1989)

UFCC - BIBLIOTECA

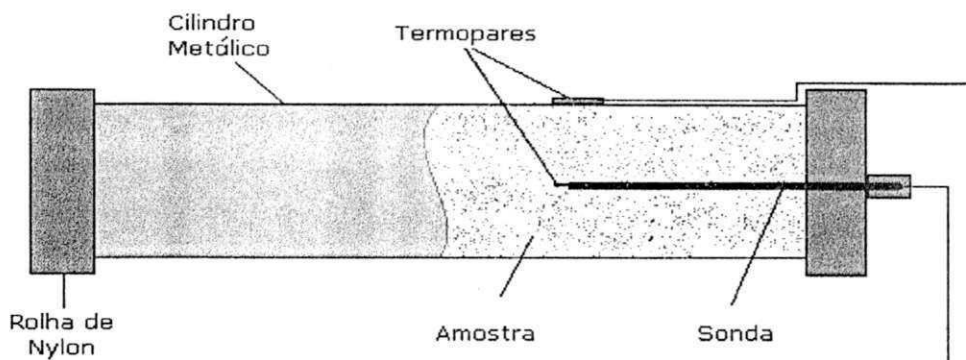


### 3.4.2. Difusividade térmica

A difusividade térmica foi determinada usando a metodologia desenvolvida por DICKERSON (1965).

#### 3.4.2.1. O aparato de medida de difusividade térmica

O aparato experimental (Figura 3.3) consiste em um cilindro metálico (2,45 cm de raio interno e 23,0 cm em comprimento interno útil), com rolhas de “nylon”, que possuem uma difusividade térmica de  $1,09 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ , que se aproxima daquelas dos alimentos a serem determinados. O cilindro é ideal porque permite a inserção de termopares paralelos ao eixo.



**Figura 3.3.** Aparato utilizado para determinar a difusividade térmica

#### 3.4.2.2. A medida da temperatura

Um termopar, soldado na superfície exterior do cilindro, fornecia a temperatura da amostra na posição de raio máximo ( $r = R$ ), enquanto uma sonda com um termopar no eixo do cilindro indicava a temperatura no centro da amostra ( $r = 0$ ), fornecendo assim, dados para o acompanhamento da temperatura durante o experimento.

### 3.4.2.3. Procedimento experimental

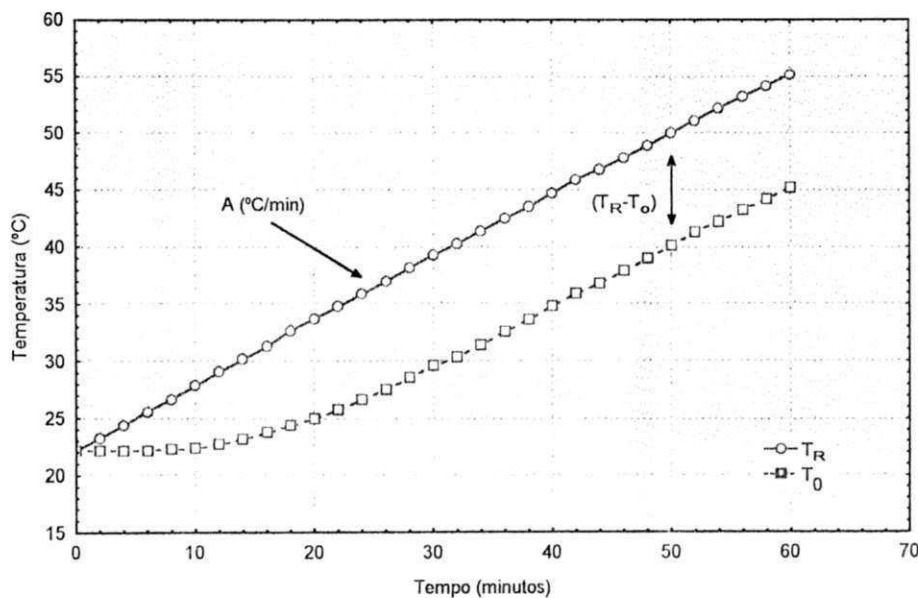
Em cada experimento a cápsula era preenchida com a amostra de polpa de açaí adicionada de cerca de 1 % de ágar utilizada para evitar a convecção natural.

O conjunto era colocado em um banho termostático com agitador mecânico que era aquecido a uma taxa constante de 0,5 °C/min, o que satisfaz ao requisito de  $\partial T/\partial t$  ser constante.

Eram anotadas as leituras no tempo zero para as temperaturas na superfície ( $T_R$ ) e no centro do cilindro ( $T_0$ ) e simultaneamente eram ligados o aquecimento e o cronômetro. As leituras para  $T_R$  e  $T_0$  eram tomadas em intervalos de 2 minutos, até aproximadamente 60 minutos. As temperaturas das amostras e do banho no início do experimento eram de aproximadamente 23 °C sendo aquecidas até 60 °C.

Para cada experimento se obteve os valores da taxa de aquecimento do banho (A) através da inclinação da reta do gráfico da temperatura externa ( $T_R$ ) versus tempo após esta reta atingir inclinação constante (Figura 3.4), o que foi determinado pela diferença entre as curvas  $T_R$  e  $T_0$  quando estas se tornavam paralelas, o que acontecia quando:

$$[(T_R - T_0)_i - (T_R - T_0)_{i+1}] \leq 0,1^\circ\text{C} \quad (3.1)$$



**Figura 3.4.** Diagrama do tempo-temperatura para a determinação da difusividade térmica

Os cálculos de difusividade térmica foram baseados na solução da Equação 2.22 proposta por DICKERSON (1965).

Para a determinação da difusividade térmica teórica foram utilizadas as equações de ajuste mostradas na Tabela 3.2.

**Tabela 3.2.** Modelos da literatura para difusividade térmica de alimentos

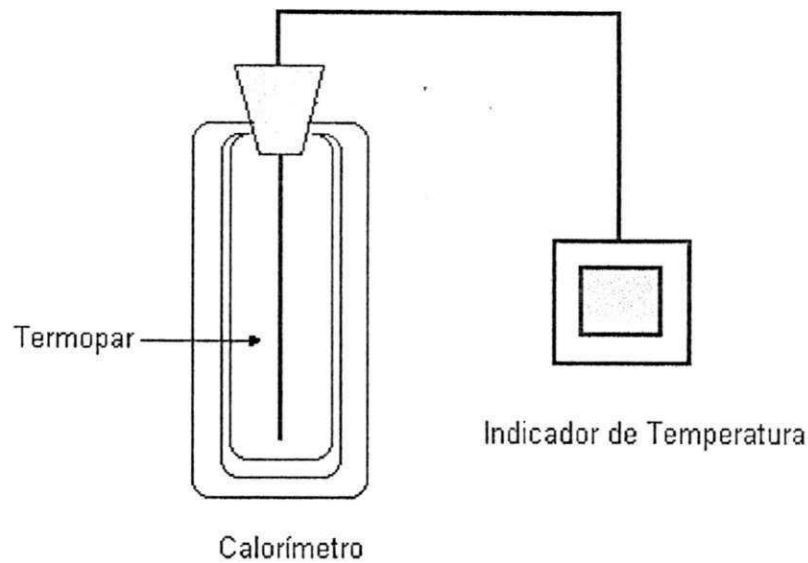
Produto	Fórmula	Autor
Alimentos em geral	$\alpha = 0,088 \cdot 10^{-6} + (\alpha_w - 0,088 \cdot 10^{-6}) \cdot X_w$	RIEDEL (1969)
Alimentos em geral	$\alpha = (0,057363 X_w + 0,000288 \cdot T) \cdot 10^{-6}$	MARTENS (1980)
Suco de Laranja	$\alpha = 7,9683 \cdot 10^{-8} + 5,9839 \cdot 10^{-8} \cdot X_w + 0,02510 \cdot 10^{-8} \cdot T$	TELIS – ROMERO et al. (1998)

### 3.4.3. Calor específico

O calor específico da polpa de açaí em diferentes conteúdos de umidade foi determinado pelo método calorimétrico das misturas.

O calorímetro utilizado consistia de uma garrafa térmica (frasco Dewar) com capacidade para 1.000 ml, envolvido por uma camada de 5 cm de isolante térmico (lã de vidro) e tendo como invólucro um cilindro de PVC. Foi inserido um termopar através de um orifício na região central de uma rolha de borracha. O termopar foi conectado a um indicador de temperatura de marca BRASTERMO. Na Figura 3.5 é mostrado o desenho esquemático do aparato utilizado.

UFCC - BIBLIOTECA



**Figura 3.5.** Aparato utilizado para determinação do calor específico

As amostras foram embaladas em sacos (20 cm x 7 cm) de polietileno de baixa densidade, termoseladas e imersas em banho termostático a uma temperatura de 26°C por um período de 1 hora, suficiente para atingir o equilíbrio e a obtenção da temperatura desejada.

Inicialmente, foi determinada a capacidade calorífica do calorímetro da seguinte maneira:

- Com o calorímetro seco e pesado, colocavam-se cerca de 100 gramas de água;
- Fechava-se o aparelho e media-se a temperatura inicial da água ( $T_1$ );
- Acrescentava-se mais cerca de 100 gramas de água a uma temperatura em torno de 2°C ( $T_2$ );
- Agitava-se o calorímetro até que a temperatura interna atingisse o equilíbrio ( $T_3$ );
- Utilizou-se o balanço de calor descrito abaixo:

$$C_1 \cdot m_1 \cdot (T_1 - T_2) + C_{\text{cal}} \cdot (T_1 - T_3) = C_2 \cdot m_2 \cdot (T_3 - T_2) \quad (3.2)$$

Onde:

$C_1$  e  $C_2$  = Calor específico da água (cal / g °C);

$m_1$  = Massa da água a temperatura ambiente (g);

$m_2$  = Massa da água resfriada (g);

$C_{cal}$  = Capacidade calorífica do calorímetro (cal / °C).

Determinou-se o calor específico do produto partindo do item (d) e acrescentando-se cerca de 100 gramas da amostra à temperatura  $T_4$ . Agitou-se e mediu-se a temperatura de equilíbrio ( $T_5$ ). Usou-se então a equação:

$$m_p \cdot C_p \cdot (T_4 - T_5) = C_1 \cdot m_3 \cdot (T_5 - T_3) + C_{cal} \cdot (T_5 - T_3) \quad (3.3)$$

Onde:

$m_p$  = Massa do produto (g);

$C_p$  = Calor específico do produto (cal / g °C)

A Tabela 3.3 apresenta os modelos de ajuste para o cálculo do calor específico teórico.

**Tabela 3.3.** Modelos da literatura para o calor específico de alimentos

Produto	Fórmula	Autor
Sucos de frutas	$C_p = 1,675 + 2,512 \cdot X_w$	DICKERSON (1968)
Geral	$C_p = 0,837 + 3,349 \cdot X_w$	SIEBEL (1982)
Suco de tamarindo	$C_p = 4,18 + (6,839 \cdot 10^{-5} \cdot T - 0,0503) \cdot S$	MANOHAR et al. (1991)
Suco de laranja	$C_p = 4,1713 - 0,02779 \cdot B$	VIEIRA (1996)

#### 3.4.4. Condutividade térmica

A condutividade térmica da polpa de açaí foi calculada indiretamente através da Equação 2.13, após serem determinadas experimentalmente as propriedades: difusividade térmica, calor específico e massa específica.

A Tabela 3.4. mostra as expressões desenvolvidas para estimar a condutividade térmica de alimentos.

**Tabela 3.4.** Modelos da literatura para a condutividade térmica de alimentos

Produto	Fórmula	Autor
Sucos de frutas	$k = 0,140 + 0,42 X_w$	KOLAROV & GROMOV (1974)
Suco de maçã	$k = 0,27928 - 3,5722 \cdot 10^{-3} \cdot B + 1,1357 \cdot 10^{-3} \cdot T$	CONSTENLA (1989)
Banana	$k = 0,901 - 0,967 \exp(-0,014 \cdot M)$	NJIE et al. (1998)
Suco de Laranja	$k = 0,0797 + 0,5238 \cdot X_w + 0,000580 \cdot T$	TELIS-ROMERO et al. (1998)

#### 3.5. Análise estatística

A análise de variância dos dados foi realizada com o auxílio do software ASSISTAT versão 6.2 beta (SILVA, 1996), utilizando-se o delineamento inteiramente casualizado, para os dados de difusividade térmica, calor específico e condutividade térmica com esquema fatorial 3 x 5 (três amostras e cinco temperaturas) para densidade.

A comparação entre as médias foi analisada pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade, quando o teste F da análise de variância se revelou significativo.

As equações de regressão não linear foram obtidas, utilizando o programa STATISTICA versão 5.0.

### 3.6. Erros percentuais

A determinação do erro percentual foi utilizada para avaliar o ajuste das equações encontradas na literatura aos dados experimentais das propriedades da polpa de açaí.

$$\text{Erro (\%)} = \left| \frac{(V_{\text{cal}} - V_{\text{exp}})}{V_{\text{exp}}} \right| \cdot 100 \quad (3.4)$$

Onde:

$V_{\text{exp}}$  = Valor experimental

$V_{\text{cal}}$  = Valor calculado



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Caracterização físico-química e química

De maneira geral, fatores genéticos, climáticos e práticas culturais exercem influências marcantes sobre a composição e a qualidade nutricional das frutas. Portanto, o conhecimento da composição físico-química e química é de fundamental importância quando se deseja comparar dados termofísicos.

Os resultados da análise físico-química e química da polpa de açaí são apresentados na Tabela 4.1.

**Tabela 4.1.** Caracterização físico-química e química da polpa de açaí (15,27% de teor de sólidos totais)

Composição	Valores Obtidos
pH	5,23 ± 0,01
Sólidos Solúveis (°Brix)	4,80 ± 0,02
Acidez total titulável (% ácido cítrico)	0,21 ± 0,00
Sólidos totais (%)	15,27 ± 0,04
Sólidos insolúveis (%)	10,41 ± 0,10
Sólidos solúveis (%)	4,86 ± 0,14
Umidade (% base úmida)	84,73 ± 0,04
Cinzas (%)	0,64 ± 0,01
Proteínas (%)	1,63 ± 0,01
Lípidios (%)	6,49 ± 0,03
Antocianinas (mg/kg açaí)	133,00 ± 0,02

Os valores experimentais estão de acordo com os padrões de identidade e qualidade para o açaí Tipo A, estabelecidas pelo Ministério da Agricultura e Abastecimento (BRASIL, 2000). Mediante estes resultados, comprova-se o elevado teor nutricional do açaí.



Na Tabela 4.2 tem-se alguns dados da composição físico-química e química do açaí Tipo A determinada experimentalmente, assim como valores encontrados na literatura. O conjunto de dados é expresso em base de sólidos totais, uma vez que, a variação do teor de umidade é muito elevada segundo os diversos pesquisadores. Observa-se que os valores experimentais em relação aos obtidos por estes autores encontram-se: na mesma faixa de pH; o teor de sólidos totais é praticamente igual ao determinado por ROGEZ et al. (1996b) e CARNEIRO (2000); os valores encontram-se entre os apresentados por PONTES et al. (1998) e CARNEIRO (2000), para o teor de proteínas; o conteúdo de lipídios está abaixo dos obtidos por PONTES et al. (1998) e CARNEIRO (2000), apresentando uma diferença significativa quando comparado ao valor encontrado por ROGEZ et al. (1996b) e por fim o teor de cinzas está próximo aos obtidos por ROGEZ et al. (1996b) e PONTES et al. (1998) e baixos quando comparados os valores encontrados em CARNEIRO (2000).

**Tabela 4.2.** Composição físico-química da polpa de açaí

Composição	Experimental	ROGEZ et al. (1996b)	PONTES et al. (1998)	CARNEIRO (2000)
pH	5,2	5,8	5,0	5,1
Sólidos totais (%)	15,2	15,0	12,0	14,97
Proteínas (1)	10,75	13,00	11,54	9,37
Lipídeos (1)	42,72	48,00	64,08	48,05
Cinzas (%)	4,21	3,50	4,16	2,55

(1) g / 100 g matéria seca

Na Tabela 4.3 têm-se os valores obtidos experimentalmente para os teores de sólidos solúveis (°Brix) das polpas de açaí em diferentes concentrações de sólidos totais. Observa-se que o teor de sólidos solúveis diminui com a redução do teor dos sólidos totais.

**Tabela 4.3.** Teores de sólidos solúveis da polpa de açaí

Amostra	Sólidos totais (%)	Sólidos solúveis (°Brix)
Tipo A	15,2	4,8
Tipo B	12,5	3,9
Tipo C	9,7	3,0

UFCC - BIBLIOTECA

## 4.2. Determinação das propriedades termofísicas

### 4.2.1. Massa específica

Os resultados experimentais obtidos para massa específica da polpa de açaí em três concentrações e cinco temperaturas são apresentados na Tabela 4.4. Estes valores representam a média de três repetições e encontram-se em concordância com os valores obtidos para a polpa de manga (SIMÕES, 1997), suco e purê de pêssego e laranja (RAMOS & IBARZ, 1998), suco de maçã (CEPEDA & VILLARÁN, 1999) e suco de goiaba (ZAINAL et al., 2000). Observa-se o decréscimo da massa específica com a diminuição no teor de sólidos totais e com o aumento da temperatura em todos os casos.

**Tabela 4.4.** Valores experimentais da massa específica em diferentes concentrações e temperaturas das polpas de açaí

Temperatura (°C)	Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )		
	Tipo A	Tipo B	Tipo C
10	1024,93 ± 0,15	1023,67 ± 0,21	1022,33 ± 0,71
20	1023,00 ± 0,53	1021,70 ± 0,20	1020,33 ± 0,76
30	1019,37 ± 0,64	1018,23 ± 0,21	1016,43 ± 0,49
40	1014,43 ± 0,12	1013,10 ± 0,45	1012,00 ± 0,70
50	1009,80 ± 0,10	1008,53 ± 0,15	1007,17 ± 0,72

Na Figura 4.1 tem-se a representação gráfica dos dados experimentais da massa específica em função da temperatura para os três materiais. Pode-se observar a dependência da massa específica em relação à concentração dos sólidos totais e o seu decréscimo com o aumento da temperatura. Esse comportamento está coerente com o mencionado por CONSTENLA et al. (1989) para suco de maçã clarificado, BAYINDIRLI (1993) para o suco de uva e TELIS-ROMERO et al. (1998) para o suco de laranja.

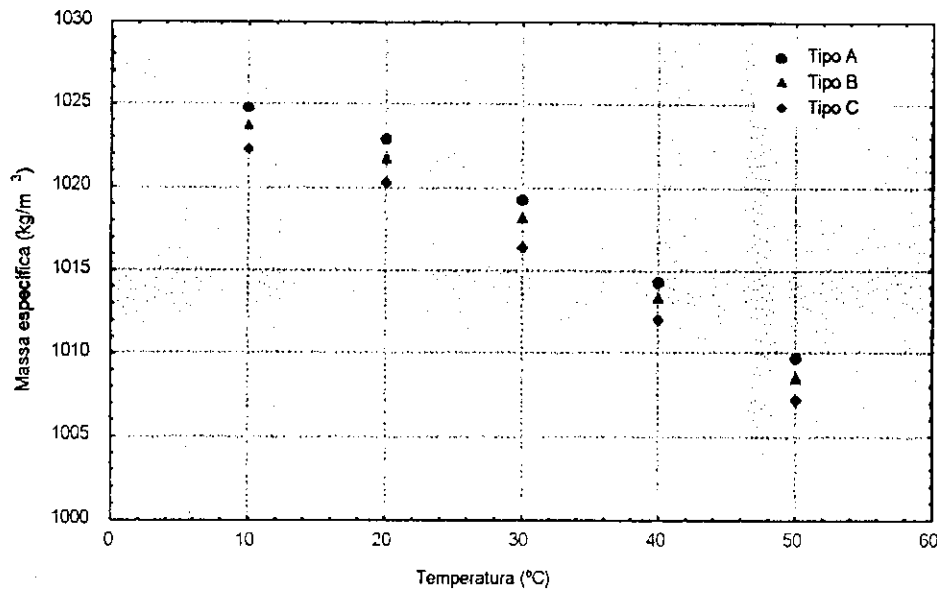


Figura 4.1. Massa específica experimental das amostras de açaí em relação a temperatura.

Na Figura 4.2 tem-se a representação gráfica simultânea da relação da massa específica com a temperatura e umidade, onde se vê a relação direta da massa específica com a umidade e inversa com a temperatura.

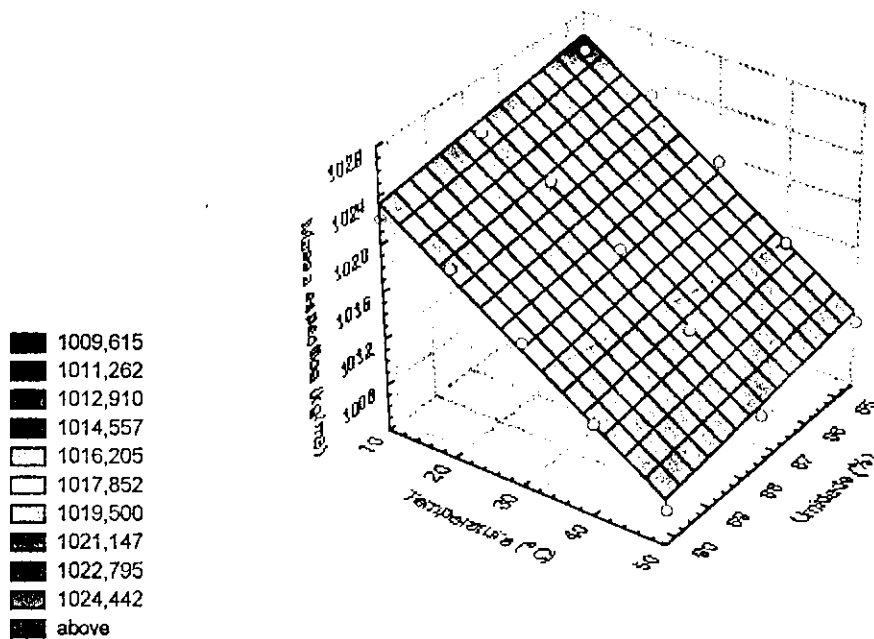


Figura 4.2. Massa específica experimental das amostras de açaí em função da temperatura e umidade.

Na Tabela 4.5 tem-se os resultados da análise de variância dos valores da massa específica. Observa-se que existe diferença significativa entre os tratamentos ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F para os fatores temperatura, concentração e para a interação dos destes fatores, ou seja, mais de 99% de probabilidade de existir pelo menos um contraste entre médias de tratamento que difere de zero.

**Tabela 4.5.** Análise de variância dos valores médios da massa específica da polpa de açaí

Fonte de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Temperatura	4	1386,22217	346,55554	1559,4999**
Concentração	2	62,13334	31,06667	139,8000**
Temperatura x Concentração	8	7,02210	0,87770	3,9500**
Resíduo	30	6,66667	0,22222	
Total	44	1448,00000		

G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio; F – Variável do teste F;  
 \*\* - Significativo a nível de 1% de probabilidade.

Analisando a Tabela 4.6 constata-se que a média aritmética das massas específicas dos três materiais diminui com o aumento da temperatura entre 10°C e 20°C em 0,19%, 20°C e 30°C em 0,36%, 30°C e 40°C em 0,46% e 40°C e 50°C em 0,47%. Com relação à concentração (Tabela 4.7), observa-se que a massa específica diminui com a redução do teor de sólidos solúveis entre as amostras de açaí Tipo A e B e entre B e C em torno de 0,12% e 0,14%, respectivamente.

**Tabela 4.6.** Comparação entre os valores médios de massa específica para o fator temperatura

Temperatura (°C)	Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )
10	1023,64 a
20	1021,68 b
30	1018,01 c
40	1013,18 d
50	1008,50 e
DMS	0,64582

DMS – Desvio mínimo significativo

Obs: As médias seguidas pela mesma uma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

**Tabela 4.7.** Comparação entre os valores médios de massa específica para o fator concentração

Amostra	Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )
Tipo A	1018,31 a
Tipo B	1017,05 b
Tipo C	1015,65 c
DMS	0,42357

DMS – Desvio mínimo significativo

Obs.: As médias seguidas pela mesma uma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Na Tabela 4.8 tem-se os valores médios da interação dos fatores temperatura e concentração, os coeficientes de variação e as diferenças mínimas significativas. As amostras de açaí Tipo A, B e C diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade e para uma mesma amostra diferem entre as temperaturas, confirmando a observação feita a partir da Tabela 4.4. O coeficiente de variação em torno de 0,04%, indica boa precisão experimental.

**Tabela 4.8.** Comparação entre médias dos valores de massa específica para a polpa de açaí

Temperatura (°C)	Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )		
	Tipo A	Tipo B	Tipo C
10	1024,93 aA	1023,67 aB	1022,33 aC
20	1023,00 bA	1021,70 bB	1020,33 bC
30	1019,37 cA	1018,23 cB	1016,43 cC
40	1014,43 dA	1013,10 dB	1012,00 dC
50	1009,80 eA	1008,53 eB	1007,17 eC

MG = 1017,00 CV(%) = 0,04635 DMS (colunas) = 1,1186 DMS (linhas) = 0,9471

MG – Média geral; CV (%) – Coeficiente de variação e DMS – Diferença mínima significativa

Obs.: As médias seguidas de pelo menos uma letra minúscula nas colunas e nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade.

Nas Tabelas 4.9, 4.10 e 4.11 tem-se os valores de massa específica calculados a partir de modelos propostos em literatura para os três materiais nas cinco temperaturas estudadas, assim como os erros percentuais dos valores calculados em relação aos valores obtidos experimentalmente. Observando estas tabelas verifica-se que o ajuste obtido a partir do modelo de CONSTENLA et al. (1989) apresentou os menores erros percentuais, podendo ser usado para prever adequadamente os valores de massa específica da polpa de açaí. Verifica-se também que os valores obtidos com modelos de IBARZ–MIGUELSANZ (1989) e RAMOS & IBARZ (1998) apresentam uma tendência de aumento do erro percentual em ordem crescente com a temperatura. A mesma tendência se verifica no modelo de CONSTENLA et al. (1989), mas apenas em se tratando do açaí Tipo A. O inverso se verificou com os valores obtidos a partir do modelo de ALVARADO & ROMERO (1989), onde, de maneira geral, os erros diminuíram com o aumento da temperatura para todas as amostras. Os valores do erro percentual para os diferentes modelos são inferiores a 2%, indicando a possibilidade do uso desse conjunto de equações para a predição da massa específica do açaí.

**Tabela 4.9.** Valores teóricos da massa específica ( $\text{kg/m}^3$ ) para o açaí Tipo A e erro percentual

Modelos	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )				
	10	20	30	40	50
Polpas e sucos (ALVARADO & ROMERO, 1989)	1020,14	1016,99	1014,15	1011,06	1007,16
Erro (%)	0,46	0,59	0,52	0,33	0,26
Suco de maçã (CONSTENLA et al., 1989)	1025,92	1024,38	1021,77	1018,25	1013,96
Erro (%)	0,10	0,14	0,23	0,38	0,41
Suco de pêssego (RAMOS & IBARZ, 1998)	1021,85	1016,70	1011,54	1006,39	1001,23
Erro (%)	0,30	0,62	0,77	0,79	0,85
Suco de pêra (IBARZ-MIGUELSANZ, 1989)	1024,05	1018,57	1013,10	1007,62	1002,14
Erro (%)	0,08	0,43	0,62	0,67	0,76

**Tabela 4.10.** Valores teóricos da massa específica ( $\text{kg/m}^3$ ) para o açaí Tipo B e erro percentual

Modelos	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )				
	10	20	30	40	50
Polpas e sucos (ALVARADO & ROMERO, 1989)	1015,99	1012,85	1010,00	1006,91	1003,01
Erro (%)	0,75	0,87	0,81	0,64	0,54
Suco de maçã (CONSTENLA et al., 1989)	1022,39	1020,86	1018,25	1014,74	1010,47
Erro (%)	0,13	0,08	0,00	0,13	0,20
Suco de pêssego (RAMOS & IBARZ, 1998)	1017,97	1012,82	1007,66	1002,51	997,35
Erro (%)	0,56	0,87	1,04	1,07	1,11
Suco de pêra (IBARZ-MIGUELSANZ, 1989)	1020,57	1015,09	1009,62	1004,14	998,66
Erro (%)	0,31	0,65	0,84	0,91	0,98

**Tabela 4.11.** Valores teóricos da massa específica ( $\text{kg/m}^3$ ) para o açaí Tipo C e erro percentual

Modelos	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )				
	10	20	30	40	50
Polpas e sucos (ALVARADO & ROMERO, 1989)	1011,84	1008,70	1005,85	1002,76	998,86
Erro (%)	1,02	1,14	1,04	0,91	0,83
Suco de maçã (CONSTENLA et al., 1989)	1018,89	1017,36	1014,76	1011,26	1007,00
Erro (%)	0,33	0,29	0,16	0,07	0,02
Suco de pêssego (RAMOS & IBARZ, 1998)	1014,11	1008,96	1003,80	998,65	993,49
Erro (%)	0,80	1,11	1,24	1,32	1,36
Suco de pêra (IBARZ-MIGUELSANZ, 1989)	1017,12	1011,64	1006,17	1000,69	995,21
Erro (%)	0,51	0,85	1,01	1,12	1,19

Nas Figuras 4.3, 4.4 e 4.5 tem-se a representação gráfica das massas específicas das diferentes polpas de açaí calculadas a partir de diferentes modelos, bem como a representação dos pontos experimentais. Verifica-se nestas figuras que os modelos de RAMOS & IBARZ (1998), IBARZ & MIGUELSANZ (1989) e ALVARADO & ROMERO (1989) subestimam a massa específica das amostras, sendo que este último tende a convergir para os valores experimentais com o aumento da temperatura. Nas Figuras 4.3 e 4.4, observa-se que o modelo de CONSTENLA et al. (1989), superestima a massa específica em relação aos dados experimentais. Na Figura 4.4 (polpa Tipo B), o valor teórico se aproxima do valor experimental, na temperatura de  $50^{\circ}\text{C}$ , na curva que representa o modelo de CONSTENLA et al. (1989); e na Figura 4.5 (açaí Tipo C), à  $30^{\circ}\text{C}$  o ponto teórico coincide com o experimental.

UFCG - BIBLIOTECA





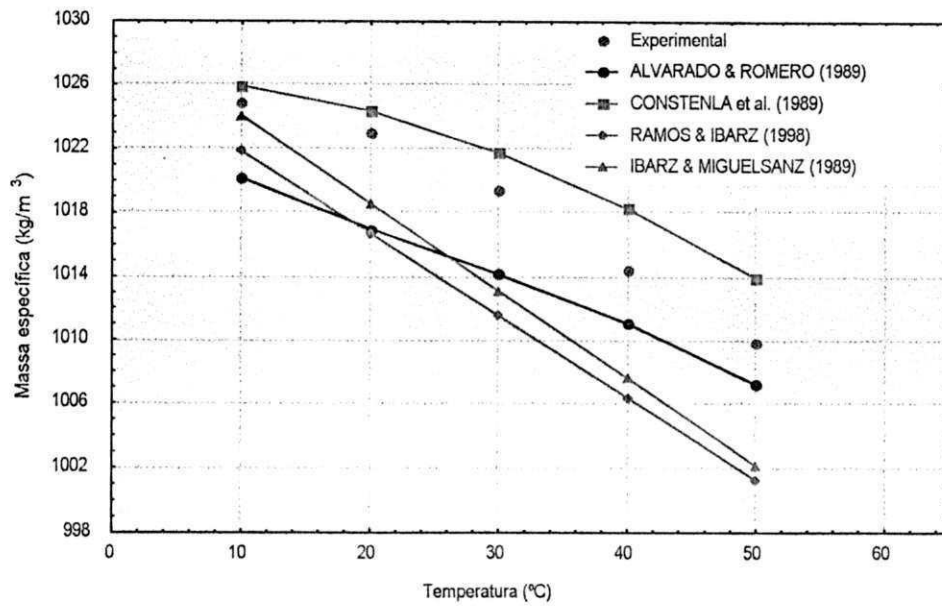


Figura 4.3. Valores experimentais e teóricos da massa específica do açai Tipo A.

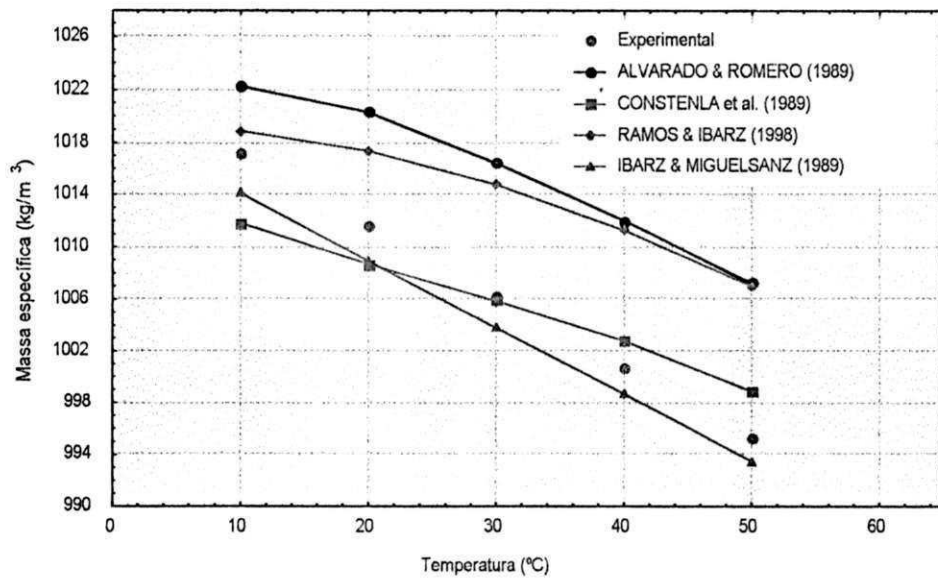
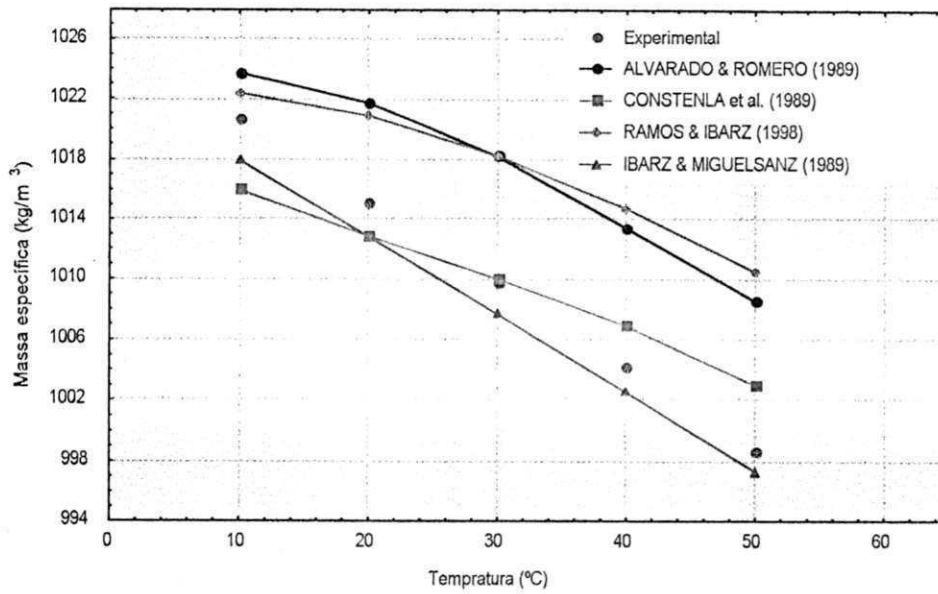


Figura 4.4. Valores experimentais e teóricos da massa específica do açai Tipo B



**Figura 4.5.** Valores experimentais e teóricos da massa específica do açaí Tipo C

A fim de verificar a dependência da massa específica da polpa de açaí com a temperatura e com a umidade foram feitos ajustes (Tabela 4.12) a partir de equações representadas por uma relação linear com a temperatura, linear quadrática com a temperatura e linear com a umidade e a temperatura. Observa-se que o modelo incluindo o termo quadrático com a temperatura resultou nos melhores coeficientes de determinação ( $R^2$ ), superando o modelo que inclui o fator umidade. Contudo, todas as equações podem ser usadas para descrever o comportamento da massa específica da polpa de açaí por apresentarem valores de  $R^2$  superiores a 0,97. Equações linear e linear quadrática foram obtidas, respectivamente, para maçã silvestre por CEPEDA & VILLARÁN (1999) e para sucos e purês de frutas por RAMOS & IBARZ (1998).



**Tabela 4.12.** Modelos propostos para o cálculo da massa específica da polpa de açaí

Amostra	Modelo			R <sup>2</sup>
	$\rho = a + bT$			
	a	b	c	
Tipo A	1029,94	-0,388	-	0,9755
Tipo B	1028,71	-0,387	-	0,9752
Tipo C	1027,19	-0,385	-	0,9808
	$\rho = a + bT + cT^2$			
	a	b	c	
Tipo A	1026,54	-0,0966	-0,0049	0,9969
Tipo B	1025,16	-0,0827	-0,0051	0,9986
Tipo C	1024,14	-0,1236	-0,0044	0,9984
	$\rho = a + bX_w + cT$			
	a	b	c	
Geral	1068,65	-0,4579	-0,3867	0,9778

$\rho$  (kg/m<sup>3</sup>); T (°C); X<sub>w</sub> (adimensional)

#### 4.2.2. Difusividade térmica

Na Tabela 4.13 vê-se os valores médios obtidos da difusividade térmica para a polpa de açaí no intervalo de temperatura entre 23 e 60°C, calculados a partir dos parâmetros A,  $T_R - T_0$  e  $R_c$ . Observa-se que o valor da difusividade aumentou da amostra Tipo A até a amostra Tipo C, ou seja, acompanhou diretamente o aumento da umidade. No Apêndice A (Tabela A.1) encontra-se a análise de variância dos valores médios de difusividade térmica das polpas de açaí, que expressa uma diferença significativa a nível de 1% de probabilidade pelo teste F. Verifica-se que as médias obtidas para a difusividade térmica diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Estes valores encontram-se na mesma faixa dos determinados por ALVARADO (1994), ao estudar a difusividade térmica de polpas de trinta frutas, GAFFNEY et al. (1980) para frutas e vegetais, BHOWMIK & HAYAKAWA (1979) para polpas de tomate cereja e maçã, MAGEE & BRANSBURG (1995) para batata e CHOI & OKOS (1986) para sucos de frutas.

**Tabela 4.13.** Valores da difusividade térmica da polpa de açaí.

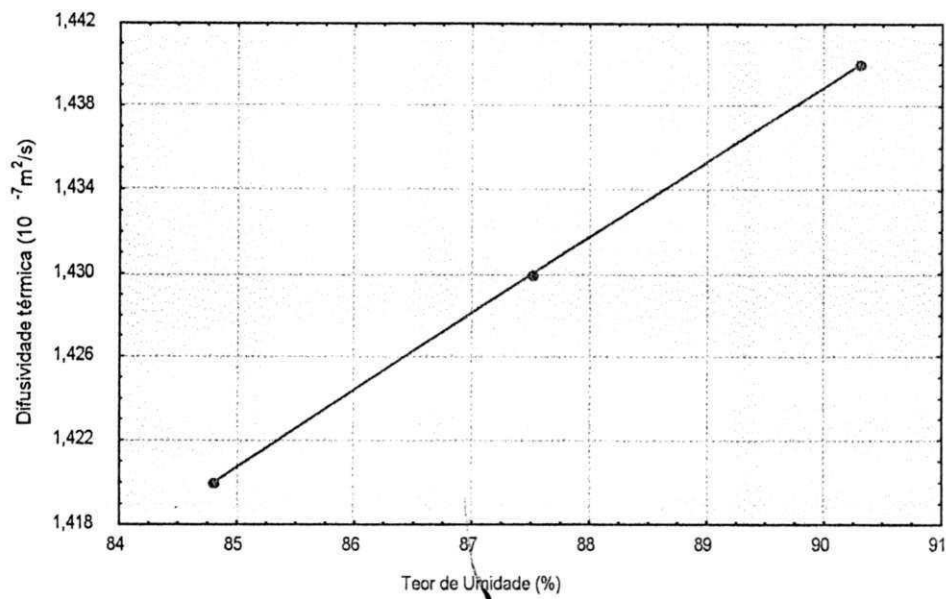
Amostra	A (°C/min)	T <sub>R</sub> - T <sub>0</sub> (°C)	Difusividade térmica (10 <sup>7</sup> m <sup>2</sup> /s)
Tipo A	0,54	9,5	1,423 c ± 0,002
Tipo B	0,53	9,3	1,430 b ± 0,001
Tipo C	0,52	9,0	1,441 a ± 0,010
MG = 1,432.10 <sup>-7</sup> m <sup>2</sup> /s		DMS = 0,00294	CV (%) = 0,08199

MG – Média geral, CV (%) – Coeficiente de variação e DMS – Diferença mínima significativa

Obs.: As médias seguidas pela letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

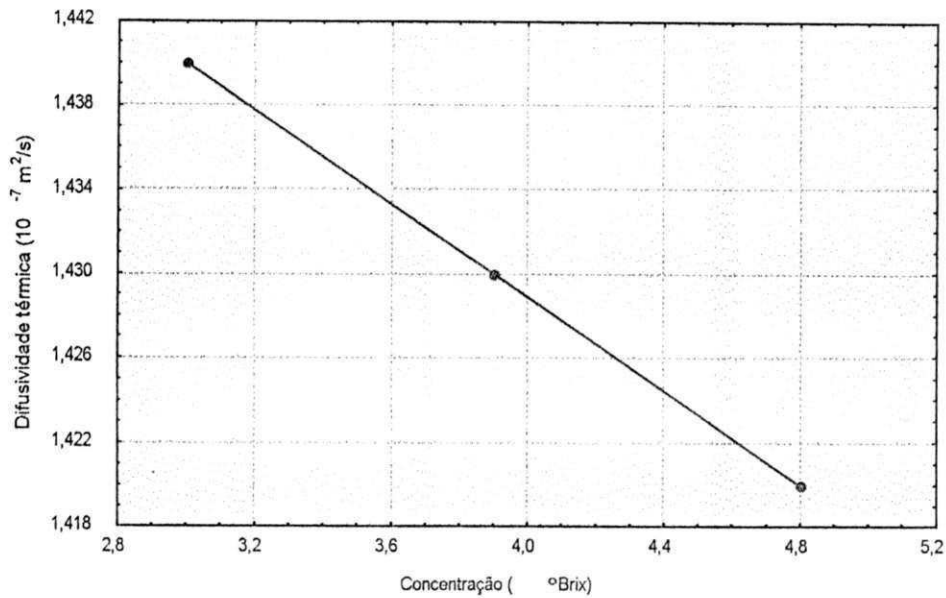
Os diagramas tempo-temperatura das três repetições para a determinação da difusividade térmica das polpas de açaí encontram-se no Apêndice B.

Na Figura 4.6 tem-se a representação gráfica dos valores de difusividade térmica em função do teor de umidade, observa-se um aumento no valor deste parâmetro com o aumento da umidade. A relação entre a difusividade térmica e o teor de umidade tem sido estudado por outros autores. OLIVEIRA (1997) trabalhando com suco de acerola encontrou o valor da difusividade térmica  $1,653 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  (Ubu = 92%) e de  $1,605 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  (Ubu = 78,81%), enquanto NJIE et al. (1998), trabalhando com banana, encontrou a difusividade de  $1,61 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  (Ubu = 57%) e de  $1,32 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  (Ubu = 31%), demonstrando que o conteúdo de umidade exerce uma grande influência na determinação desta propriedade.



**Figura 4.6.** Valores médios da difusividade térmica da polpa de açaí em função do teor de umidade.

Na Figura 4.7 tem-se a representação gráfica dos valores de difusividade térmica em função do teor de sólidos solúveis. Observa-se que a difusividade térmica apresenta uma relação linear para faixa de valores estudada, reduzindo-se com o aumento da concentração. SIMÕES (1997) trabalhando com polpa de manga a 12,7 °Brix encontrou uma difusividade térmica de  $1,41 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ . VIEIRA (1996) cita o valor de  $1,401 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  para o suco de laranja à 11 °Brix.



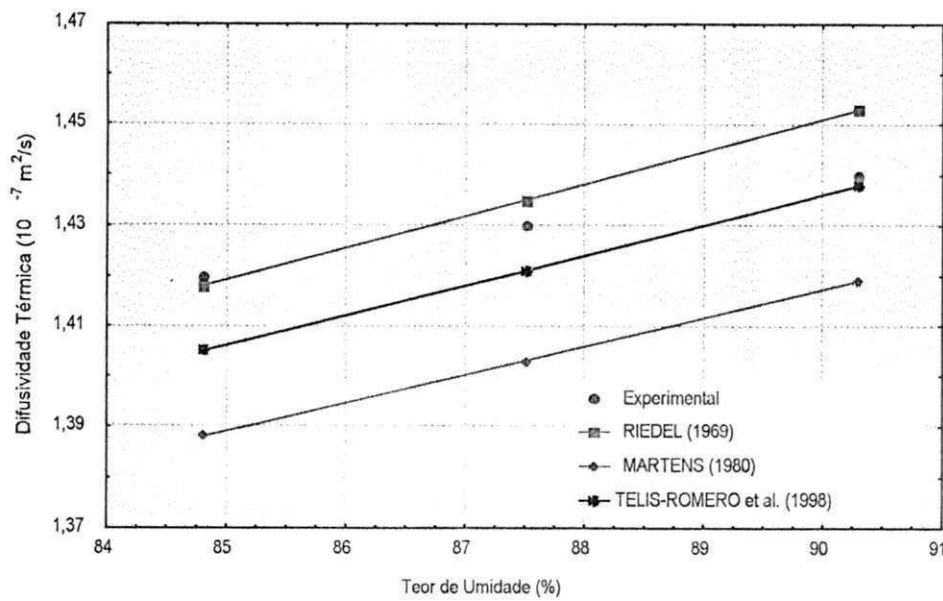
**Figura 4.7.** Valores médios da difusividade térmica da polpa de açaí em função da concentração dos sólidos solúveis

Na Tabela 4.14 tem-se os valores da difusividade térmica para os três diferentes materiais, calculados a partir de modelos propostos em literatura que relacionam a difusividade com o teor de umidade e a temperatura. Nos modelos de Martens citado por SIGH (1982) e TELIS-ROMERO et al. (1998), os erros percentuais em relação às determinações experimentais decrescem com o aumento da umidade das amostras, inversamente no modelo de RIEDEL (1969) o erro percentual aumenta com o aumento da umidade. Dos modelos estudados a equação desenvolvida por RIEDEL (1969) apresenta menor erro percentual em relação a todas amostras.

**Tabela 4.14.** Valores teóricos da difusividade térmica para polpa de açaí e erro percentual.

Modelo	Difusividade térmica ( $10^7 \text{ m}^2/\text{s}$ )		
	Tipo A	Tipo B	Tipo C
Alimentos em geral (RIEDEL, 1969)	1,418	1,435	1,453
Erro (%)	0,141	0,350	0,903
Alimentos em geral (MARTENS, 1980)	1,388	1,403	1,419
Erro (%)	2,254	0,1888	1,458
Suco de Laranja (TELIS-ROMERO et al., 1998)	1,405	1,421	1,438
Erro(%)	1,056	0,629	0,139

Na Figura 4.8 tem-se uma a representação gráfica da difusividade térmica experimental comparativamente com a difusividade obtida a partir dos modelos citados. Verifica-se que apesar dos modelos de Martens citado por SIGH (1982) e TELIS-ROMERO et al. (1998) subestimarem os valores em relação aos dados experimentais e tendem a convergir com o aumento do teor de umidade.



**Figura 4.8.** Valores experimentais e teóricos da difusividade térmica da polpa de açaí

Na Tabela 4.15 são propostas equações de regressão linear relacionando a difusividade térmica com a umidade, a qual resultou em um bom ajuste, e a equação que considera o teor de sólidos solúveis atinge um coeficiente de determinação igual a 1, demonstrando uma perfeita correlação, embora a qualidade destes ajustes tenha sua confiabilidade reduzida devido ao pequeno número de pontos utilizados a relação linear é usada pela maioria dos autores que propuseram equações para cálculos de difusividade térmica como função dos sólidos solúveis ou, inversamente, como função da umidade: TELIS-ROMERO et al. (1998) para o suco de laranja, Martens citado por SIGH (1982), para alimentos em geral, RAPUSAS & DRISCOLL (1995) para cebola, DESHPANDE et al. (1995) para a soja e HAN & LONCIN (1985) para pescados. Não obstante, VIEIRA (1996) para o suco de laranja propôs uma equação onde o cálculo da difusividade térmica foi deduzido como função da concentração (°Brix) segundo uma relação cúbica.



**Tabela 4.15.** Modelos propostos para o cálculo da difusividade térmica da polpa da açaí

Modelo		R <sup>2</sup>
$\alpha = a + b X_w$		
a	b	
$1,11173 \times 10^{-7}$	$3,63596 \times 10^{-10}$	0,9999
$\alpha = a + b B$		
a	b	
$1,4733 \times 10^{-7}$	$-1,1111 \times 10^{-9}$	1,0000

$\alpha$  (m<sup>2</sup>/s);  $X_w$  (adimensional); B (°Brix)

### 4.2.3 - Calor específico

Os resultados obtidos na determinação do calor específico são mostrados na Tabela 4.16. A análise de variância dos resultados do calor específico encontram-se no Apêndice A (Tabela A.2), verifica-se que para a concentração houve efeito significativo a nível de 1 % de probabilidade pelo teste F. A comparação entre médias dos valores médios de calor específico para a polpa de açaí evidencia a influência da redução do teor de sólidos solúveis, provocando uma diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Tukey. Estes resultados encontram-se na mesma faixa de valores apresentada por outros autores para derivados de frutas. TURRELL & PERRY (1957) utilizando o método das misturas verificaram que não existem diferenças significativas no valor do calor específico das frutas cítricas pesquisadas (toranja, limão e duas variedades de laranjas), obtendo valores entre 0,840 e 0,892 cal/g°C. Calores específicos para trinta polpas de frutas determinados por ALVARADO (1994) situam-se entre 2,962 e 3,925 kJ/kg K. Valores entre 3,185 e 4,079 kJ/kg K foram apresentados para sucos de frutas por CHOI & OKOS (1986).



Tabela 4.16. Calor específico para a polpa de açaí

Amostra de polpa de açaí	Calor específico (kJ/kg°C)		
Tipo A	3,563	c	± 0,022
Tipo B	3,685	b	± 0,039
Tipo C	3,804	a	± 0,021
MG = 3,684	DMS = 0,07109	CV (%) = 0,77018	

MG – Média geral, CV (%) – Coeficiente de variação e DMS – Diferença mínima significativa

Obs.: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Na Figura 4.9 é mostrado o comportamento do calor específico com a umidade, onde se vê o aumento nos valores desta propriedade com o aumento no conteúdo de água das amostras. Inversamente, na Figura 4.10, onde se tem a relação do calor específico com o teor de sólidos solúveis, ocorre diminuição com o aumento no teor destes sólidos.

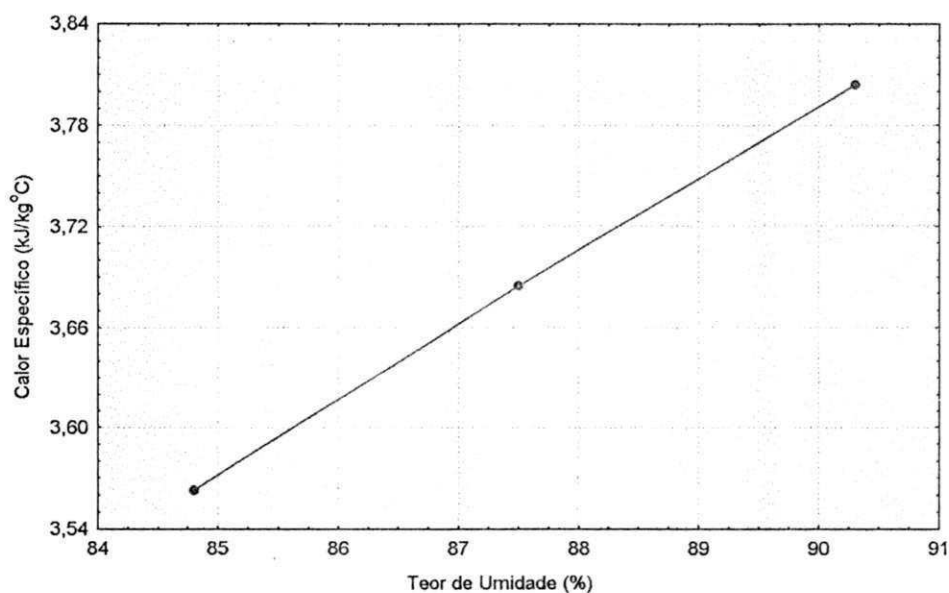
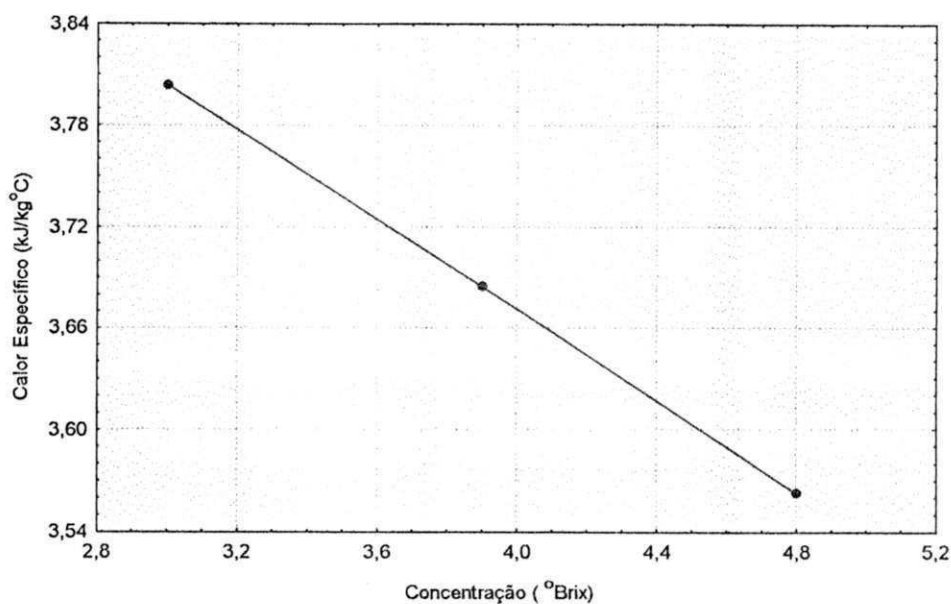


Figura 4.9. Dados experimentais do calor específico da polpa de açaí em função do teor de umidade.

UFCC - BIBLIOTECA



**Figura 4.10.** Dados experimentais do calor específico da polpa de açaí em função da concentração.

Na Tabela 4.17 tem-se os calor específico determinado a partir de modelos propostos em literatura, assim como o erro percentual em relação aos valores experimentais. Observando esta tabela pode-se verificar que o melhor ajuste foi com o modelo de Siebel citado por MOHSENIN (1980) para alimentos em geral, onde o erro encontrado foi no máximo de 3,20%. O modelo de VIEIRA (1996) para o suco de foi o que resultou em maiores erros percentuais, sendo que ambos fornecem valores praticamente iguais. Também se constata que todos os calores específicos calculados a partir dos modelos superam as determinações experimentais e, assim como ocorreu com as difusividades térmicas calculadas através de modelos apresentados em literatura, o aumento do teor de umidade das amostras é acompanhado por um erro gradativamente menor.

Tabela 4.17. Valores teóricos do calor específico e erro percentual para a polpa de açaí

Modelo	Calor específico (kJ/kg°C)		
	Tipo A	Tipo B	Tipo C
Geral (DICKERSON, 1968)	3,805	3,873	3,943
Erro (%)	6,792	5,102	3,654
Geral (SIEBEL, 1892)	3,677	3,767	3,861
Erro (%)	3,200	2,225	1,498
Suco de Tamarindo (MANOHAR et al., 1991)	3,726	3,807	3,890
Erro (%)	4,582	3,307	2,272
Suco de Laranja (VIEIRA, 1996)	4,038	4,063	4,088
Erro (%)	13,331	10,258	7,466

Na Figura 4.11 foram plotados os valores experimentais e teóricos do calor específico das amostras de açaí em função do teor de umidade. Em todos os casos se constata a convergência em relação à curva dos dados experimentais acompanhando o aumento da umidade.

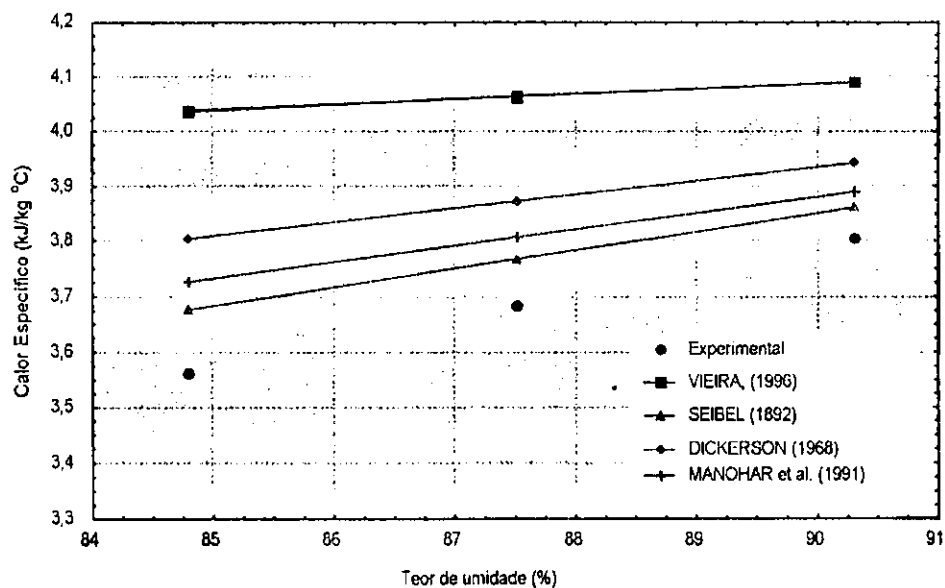


Figura 4.11. Valores experimentais e teóricos do calor específico da polpa de açaí

Na Tabela 4.18 são propostos modelos para o cálculo do calor específico em função do teor de umidade e da concentração dos sólidos solúveis. Da mesma forma como ocorrido com a difusividade térmica o modelo proposto como função da umidade resultou em bom coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o modelo relacionando esta propriedade com o teor de sólidos solúveis ( $^{\circ}$ Brix) resultou em  $R^2$  ainda melhor. Uma relação linear relacionando a temperatura, ou sólidos solúveis e o calor específico é sugerida por alguns pesquisadores: TELIS-ROMERO et al. (1998) para o suco de laranja, RAPUSAS & DRISCOLL (1995) para cebola, ZAINAL et al. (2000) para o suco de goiaba e CONSTENLA et al. (1989) para suco de maçã.

**Tabela 4.18.** Modelos propostos para o cálculo do calor específico da polpa de açaí.

Modelo		$R^2$
$C_p = a + b X_w$		
a	b	
-0,15084	0,04381	0,9998
$C_p = a + b B$		
a	b	
4,20617	-0,13389	0,9999

$C_p$  (kJ/kg $^{\circ}$ C);  $X_w$  (adimensional); B ( $^{\circ}$ Brix)

#### 4.2.4. Condutividade térmica

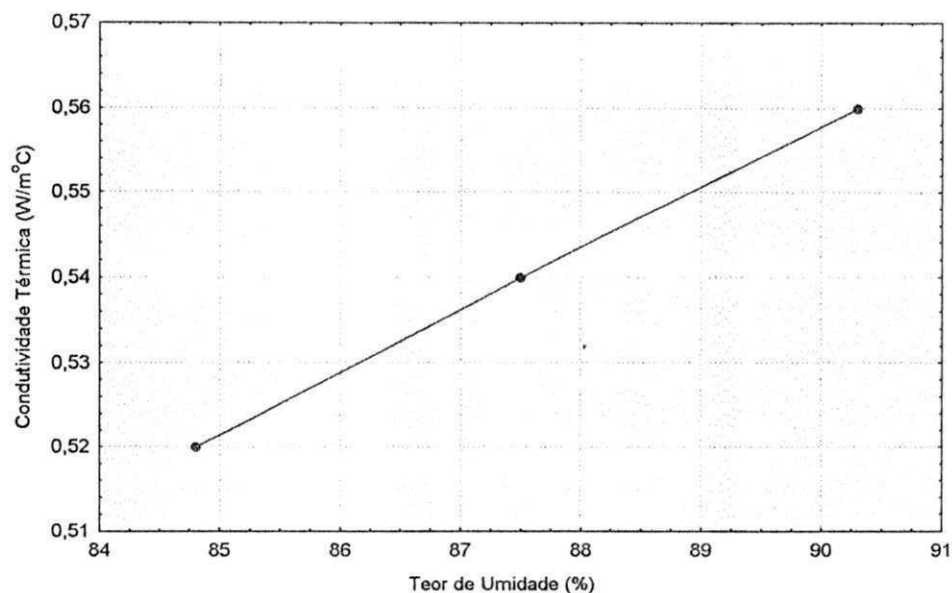
A condutividade térmica das amostras da polpa de açaí foi calculada indiretamente através da Equação 2.13, utilizando a massa específica determinada experimentalmente a 40 $^{\circ}$ C (item 4.2.1), o valor da difusividade térmica utilizada foi determinada no item 4.2.2 e o calor específico obtido do item 4.2.3.

Na Tabela 4.19 tem-se os valores de condutividade térmica calculados a partir dos dados experimentais. Os resultados obtidos para a condutividade térmica estão coerentes com os obtidos por CHOI & OKOS (1983) e BHUMBLA et al. (1989) para sucos de frutas e SWEAT (1974) para frutas e vegetais.

**Tabela 4.19.** Valores de condutividade térmica calculados através das propriedades termofísicas.

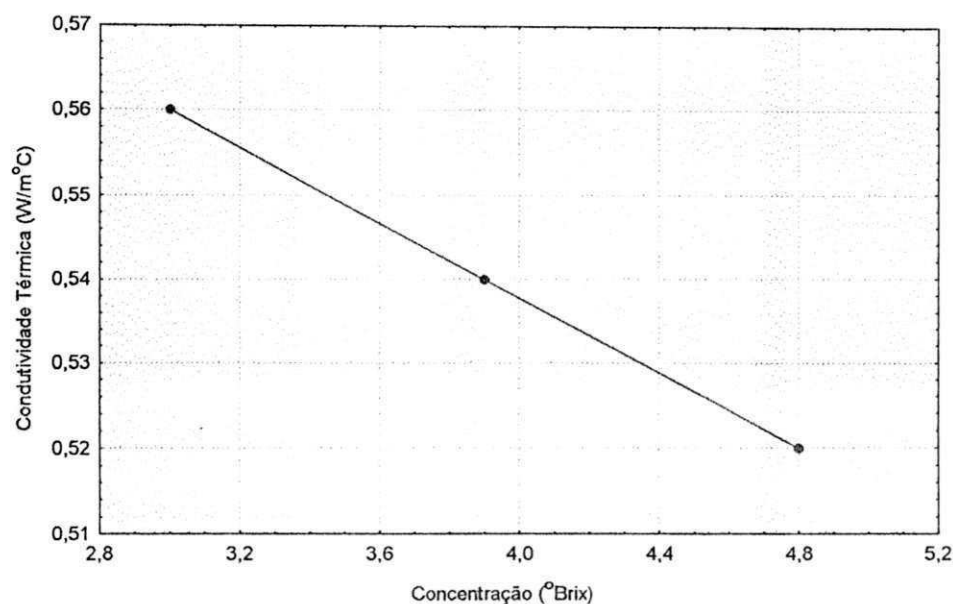
Polpa de açaí	Condutividade térmica (W/m°C)
Tipo A	0,52
Tipo B	0,54
Tipo C	0,56

A Figura 4.12 mostra a forma como a condutividade térmica é afetada pelo teor de umidade, ou seja, à medida que se reduz a concentração de sólidos solúveis há um aumento na condutividade.



**Figura 4.12.** Condutividade térmica da polpa de açaí em função do teor de umidade.

Na Figura 4.13 está representada a relação entre a condutividade térmica e o teor de sólidos solúveis (°Brix). OLIVEIRA (1997) e SIMÕES (1997) também observaram o comportamento de decréscimo nos valores de condutividade com aumento dos sólidos solúveis.



**Figura 4.13.** Condutividade térmica da polpa de açaí em função da concentração de sólidos solúveis.

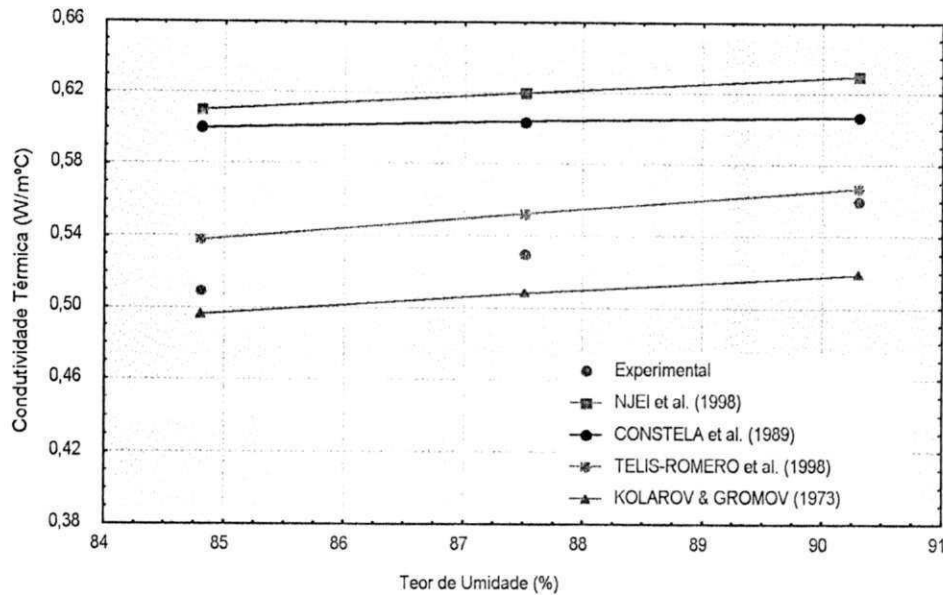
Na Tabela 4.20 são apresentados valores de condutividade térmica calculados a partir de modelos apresentados em literatura e o erro em relação às determinações indiretas. O modelo de TELIS-ROMERO et al. (1986) apresentou os menores erros, seguido do modelo de Kolarov & Gromov citados por SWEAT (1994), este último modelo teve como peculiaridade, em relação aos demais, o fato de apresentar erros maiores com o aumento do teor de umidade das amostras. Os demais modelos apresentam erros mais elevados, em alguns casos superiores a 15%.

**Tabela 4.20.** Valores teóricos e erro percentual da condutividade térmica para a polpa de açaí.

Modelo	Condutividade Térmica (W/m°C)		
	Tipo A	Tipo B	Tipo C
Sucos de frutas (Kolarov & Gromov, citados por SWEAT, 1994)	0,50	0,51	0,52
Erro (%)	2,72	4,49	6,31
Suco de maçã (CONSTENLA, 1989)	0,60	0,60	0,61
Erro (%)	16,73	12,36	9,91
Suco de maçã (ZIEGLER et al., 1985)	0,59	0,60	0,60
Erro (%)	14,79	12,36	8,11
Banana (NJEI et al., 1998)	0,61	0,62	0,63
Erro (%)	18,68	16,10	13,51
Suco de laranja (TELIS-ROMERO et al., 1998)	0,54	0,55	0,57
Erro (%)	5,06	3,00	2,70

Na Figura 4.14 foram plotados os valores experimentais e teóricos de condutividade térmica das amostras de açaí em função do teor de umidade. Tem-se a visualização do melhor ajuste aos valores da condutividade térmica experimental pelo modelo de TELIS-ROMERO et al. (1998) que tende a convergir em relação aos dados experimentais com o aumento do teor de umidade. Este comportamento também pode ser observado nos demais modelos, exceto para o de Kolarov & Gromov citado por SWEAT (1994)





**Figura 4.14.** Valores experimentais e teóricos da condutividade térmica da polpa de açaí em função do teor de umidade.

A relação entre a condutividade térmica, o teor de umidade e a concentração de sólidos solúveis podem ser representados por equações lineares (Tabela 4.21). Os coeficientes de determinação apresentaram bons ajustes, sendo o que relaciona a condutividade térmica e a concentração apresentou uma perfeita correlação,  $R^2 = 1$ . Relações lineares entre a condutividade térmica e o teor de umidade obtida para maçã e batata, foram citadas por DONSI et al. (1996), para o suco de laranja por TELIS-ROMERO et al. (1998) e para cebola por RAPUSAS & DRISCOLL (1995). Uma relação exponencial foi obtida por LOZANO et al. (1979), para maçã. VIEIRA (1996) observou que a condutividade térmica diminui segundo uma relação cúbica com o aumento da concentração do suco de laranja.

**Tabela 4.21.** Modelos de equações propostos para o cálculo da condutividade térmica da polpa de açaí.

Modelo		R <sup>2</sup>
$k = a + b X_w$		
a	b	
-0,09654	0,72719	0,9999
$k = a + b B$		
a	b	
0,62667	-0,02222	1,0000

k (W/m°C); X<sub>w</sub> (adimensional); B (°Brix)



## 5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

- Os valores médios gerais da massa específica das polpas de açaí com teores de sólidos totais de 15,2%, 12,5% e 9,7% na faixa de temperatura de 10°C a 50°C foram respectivamente 1.018,31 kg/m<sup>3</sup>, 1.017,05 kg/m<sup>3</sup> e 1.015,65 kg/m<sup>3</sup>.
- A massa específica da polpa de açaí decresceu com o aumento do teor de umidade e da temperatura, segundo uma relação quadrática com coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) acima de 0,99.
- Dos modelos utilizados para o cálculo teórico da massa específica das polpas de açaí, o de CONSTENLA et al. (1989) mostrou-se adequado em todas as concentrações estudadas, com um erro percentual máximo de 0,41%, em relação aos valores determinados experimentalmente.
- A difusividade térmica média das polpas de açaí situou-se em 1,43.10<sup>-7</sup> m<sup>2</sup>/s. Este resultado indica a adequação do método de DICKERSON (1965) para medida de difusividade térmica de polpas de frutas.
- Os valores de difusividade térmica da polpa de açaí foram afetados pela variação do teor de sólidos totais.
- O modelo de predição proposto por TELIS-ROMERO et al. (1998), para o cálculo da difusividade térmica, ajustou-se bem as polpas de açaí com valor médio de erro inferior a 4%.
- Os valores experimentais do calor específico das polpas de açaí com teores de sólidos totais de 15,2%, 12,5% e 9,7% foram 3,563 kJ/kg°C, 3,685 kJ/kg°C e 3,804 kJ/kg°C, respectivamente.

- O modelo proposto por SIEBEL (1892) pode ser utilizado na estimativa do calor específico da polpa de açaí, com erros percentuais variando de 1,50 a 3,20%.
- A condutividade térmica para as polpas de açaí estudadas apresentou valores entre 0,51 W/m°C e 0,56 W/m°C. Os teores de sólidos totais demonstraram influenciar na determinação desta propriedade termofísica.
- O modelo de condutividade térmica de TELIS-ROMERO et al. (1998), para suco de laranja, pode ser usado satisfatoriamente para prever os dados experimentais da polpa de açaí, apresentando um erro percentual máximo de 5,06%.
- Como sugestões, fazer a determinação das propriedades termofísicas com várias temperaturas e concentrações de sólidos solúveis.

UFCC - BIBLIOTECA

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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, n.15, p.15-21, 1989.

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

ANGELUCCI, E. et al., Análise Química de alimentos, **Coordenadoria da Pesquisa Agropecuária – Instituto de Tecnologia de Alimentos**, Campinas, 1987

ASKAR, A.; THEPTOW, H. **Quality assurance in tropical fruit processing**. Ed. Springer-Verlang, 1993. 238p.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. AOAC. **Official Methods of Analysis**, 1998. 16 ed., Gaithersburg, 1141p.

BARBOSA, W.C.; NAZARÉ, R.F.R.; NAGATA, I. Estudo tecnológico de frutas da Amazônia. Belém, CPATU, 1978. 19p. (Comunicado Técnico 3).

BAYINDIRLI, L. Density and viscosity of grape juice as a function of concentration and temperature. **Journal of Food Processing & Preservation**, v.17, p.147-151, 1993.

BHOWMIK, S.R.; HAYAKAWA, K. A new method for determining the apparent thermal diffusivity of thermally conductive food. **Journal of Food Science**, v.44, n.2, p.469-474, 1979.

BHUMBLA, V. K; SINGH, A. K.; SINGH, Y. Prediction of thermal conductivity of fruit juices by thermal resistance model, **Journal of Food Science**, v.54 n.4, p.1007-1012, 1989.

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

BOBBIO, F.O.; DRUZIAN, J.I.; ABRÃO, P.A.; BOBBIO, P.A.; FADELLI, S. Identificação e Quantificação das antocianinas do fruto do açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.20, n.3, 2000.

BRASIL. Instrução normativa n.º 1, 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]**, Brasília - DF, 10 jan. 2000 Seção 1, n.6, p.54-58.

CALBO, M.E.R.; MORAES, J.A.P.V. de Efeitos da deficiência de água em plantas de *Euterpe Olerácea* (açai). **Revista Brasileira de Botânica**, v.23, n.3, p.225-230, 2000.

CARNEIRO, F.R.B.D. **Uso da tecnologia de barreiras na obtenção da polpa de açaí e sua caracterização reológica**, 2000. 135f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

CAVALCANTE, P.B. **Frutas comestíveis da amazônia**, Coleção Adolpho Ducke, Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, 5.ed. CEJUP, 1991. 279 p.

CEPEDA, E.; VILLARÁN, M.C. Density and viscosity of *Malus Floribunda* juice as a function of concentration and temperature. **Journal of Food Engineering**, v.41, p.103-107, 1999.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 1 ed. Lavras: ESAL/FAEPE, 1990. 320p.

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, p.93-101.

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

- CONSTENLA, D.T.; LOZANO, J.E.; CRAPISTE, G.H. Thermophysical properties of clarified apple juice as a function of concentration and temperature. **Journal of Food Science**, v.54, n.3, p.663-668, 1989.
- DELGADO, A. E.; GALLO, A.; DE PIANTE, D.; RUBIOLO, A. Thermal conductivity of unfrozen strawberry and spinach. **Journal of Food Engineering**, v.31, p.137-146, 1997.
- DESHPANDE, S. D.; BAL, S.; OJHA, T. P. Thermal bulk conductivity and diffusivity of soybean. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.20, p.177-189, 1996.
- DICKERSON, R. W. An apparatus for measurement of thermal diffusivity of foods. **Food Technology**, v.19, n.5, p.198-204, 1965.
- DICKERSON, R. W. **Thermal properties of foods In: the freezing preservation of foods**. 4. ed. Westpoint, Connecticut. The A VI Publishing Company, v.2, 1968.
- DONSI, G.; FERRARI, G.; NIGRO, R. Experimental determination of thermal conductivity of apple and potato at different moisture contents. **Journal of Food Engineering**, v.30, p. 263-268, 1996.
- EVANGELISTA, J. **Tecnologia dos alimentos**. 2. ed. São Paulo: Atheneu, 1994. 270 p.
- FRANCO, B.D.G.M. **Tabela de composição química de alimentos**. 9 ed. . São Paulo: Atheneu, 1998. 307p.
- GAFFNEY, J.J.; BAIRD, C.D.; ESHILEMAN, W.D. Review and analysis of the transient method for determining thermal diffusivity of fruits and vegetables. **American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers**, v.86, p.261-280, 1980.
- GUIMARÃES, F. L. F. **Avaliação das características físico-químicas e sensoriais da polpa de manga (*Mangifera indica* L.) submetida a diferentes condições de processamento e de armazenagem frigorificada**. 2000. 97f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola – Centro de Ciências e tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

HAN B.H.; LONCIN, M. Thermal diffusivities of fish products, **Lebensmittel – Wissenschaft and Technology**, v.18, p.159-163, 1985.

IBARZ, A.; MIGUELSANZ, R. Variation with temperature and soluble solids concentration of the density of a depectinated and clarified pear juice. **Journal of Food Engineering**, v.10, p.319-323, 1989.

JARAMILLO-FLORES, M. E.; HERNANDEZ-SANCHEZ, H. Thermal diffusivity of soursop (*Annona muricata* L.) pulp. **Journal of Food Engineering**, Mexico City, v. 46, p.139-143, 2000.

JARDIM, M.A.G.; ANDERSON, A.B. Manejo de populações nativas do açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) no estuário amazônico: resultados preliminares. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Curitiba, v.15, p.1-19, 1987.

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. 371 p.

LOPES , A.V.F.; SOUZA, J.M.S.; CALZAVARA, B.B.G. **Aspectos econômicos do açaizeiro**. Ministério do interior, Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia, Departamento de Setores Produtivos, Belém, 1982. 55p.

LOZANO, J.E.; ROTSTEIN, E.; URBICAIN, M.J. Shrinkage, porosity and bulk density of foodstuffs at changing moisture contents. **Journal of Food Science**, v.48, p.1497-1502, 1983.

LOZANO, J. E.; URBICAIN, M. J.; ROTSTEIN, E. Thermal conductivity of apples as a function of moisture content. **Journal of Food Science**, v.44, n.1, p. 198-199, 1979.

MAGEE, T.R.A.; BRANSBURG, T. Measurement of thermal diffusivity of potato, malt bread and wheat flour. **Journal of Food Engineering**, n.25, p.223-232, 1995.



MÉNDEZ, A.L.C.; CASTRO, M.S.; FARIA, L.J.G. de. Caracterização física e química do fruto do açaízeiro (*Euterpe oleracea*) e ensaios de extração e estabilidade do corante obtido. **Revista Brasileira de Corantes Naturais**, v.2, n.1, p.88-92, 1996.

MOHSENIN, N.N. **Thermal properties of food and agricultural materials**. New York: Gordon and Breach Science Publishers, Inc., 1980. 407 p.

MANOHAR, B.; RAMAKRISHNA, P.; UDAYASANKAR, K. Some properties of tamarind (*Tamarindus indica* L.) juice concentrates. **Journal of Food Engineering**, v.13, p.241-258, 1991.

MURR, F.E.X. Estudo dos fenômenos de secagem da batata (*Solanum tuberosum*, L. cultivar Bintje). 1992. 168f. **Tese de Doutorado**. Faculdade de Engenharia de alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

NJIE, D.N.; RUMSEY, T.R.; SINGH, R.P. Thermal properties of cassava, yam and plantain. **Journal of Food Engineering**, v.37, p.63-76, 1998.

NOGUEIRA, O.L. et al. **A cultura do açaí**. Brasília: EMBRAPA, 1995. 49p.

O'NEILL, M.J. Measurement of specific heat functions by differential scanning calorimetry, **Analytical Chemistry**, v. 38, n. 10, 1966.

OLIVEIRA, R.P.S. **Determinação das propriedades físicas e de transporte de suco de acerola**. 1997. 148p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

PONTES, M.A.N.; MAGNO, P.S.L.; FELIPE, A.M.P. ; MATTIETO, R.A. Elaboração do néctar de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) com e sem ácido cítrico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 16. 1998, Rio de Janeiro: Anais ... Sociedade Brasileira de Ciências e Tecnologia de Alimentos, 1998.

QASHOU, M.S.; VACHON, R.I.; TOULOUKIAN, Y.S. Thermal conductivity of foods. **ASHRAE Transactions**, p.165-182, 1972.



- RAMOS, A.M. & IBARZ, A. Density of juice and fruit puree as a function of soluble solids content and temperature. **Journal of Food Engineering**, v.35, p.57-63, 1998.
- RAO, M. A.; BARNARD, J.; KENNY, J. F. Thermal conductivity and thermal diffusivity of process variety squash and white potatoes. **Transactions of the ASAE**, v.18, p.1188-1192, 1975.
- RAPUSAS, R. S.; DRISCOLI, R. H. Thermophysical properties of fresh and dried white onion slices. **Journal of Food Engineering**, v.24, p.149-164, 1995.
- RIEDEL, L. Measurements of thermal diffusivity on foodstuffs rich in water. *Kältetechnik-klimatisierung*. V.21, n.11, p.315-316, 1969.
- ROGEZ, H. **Açaí: preparo, composição e melhoramento da conservação**. Belém EDUFPA, 2000. 313p.
- ROGEZ, H. et al. Chemical composition of the edible parts of four typical Amazonian fruits: assai, araca, bacuri, cupuassu, **Journée universitaire de recherche en nutrition**, 1996b.
- SILVA, F. de A.S. e The ASSISTAT software: statistical assistance. In **INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTERS IN AGRICULTURE**, 6., 1996, Cancun. Anais... American Society of Agricultural Engineers, p.294-298.
- SILVA, S. B. **Propriedades termofísicas da polpa do abacaxi**. 1997. 93p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- SIMÕES, R. M. **Propriedades termofísicas da polpa de manga**. 1997. 93p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas
- SIGH, P. Thermal diffusivity in food processing **Food Technology** v.36, p.87-91, 1982.

SWEAT, V.E. Experimental measurement of thermal conductivity of yellow cake. **Int. Conf. Thermal conductivity**, University Missouri-Rolla, p.195-198, 1973.

SWEAT, V.E. Experimental values of thermal conductivity of selected fruits and vegetable **Journal of Food Science**, v.39, n.6, p.1080-1083, 1974.

SWEAT, V. E. Thermal properties of food In: RAO, M.A.; RIZVI, S.S.H. **Engineering properties of foods** New York, Marcel Dekker, 2<sup>a</sup> ed. 1994, cap. 3 p.99-138,

TELIS-ROMERO, J.; TELIS, V.R.N.; GABAS, A.L.; YAMASHITA, F. Thermophysical properties of brasilian orange juice as affected by temperature and water content **Journal of Food Engineering**, v.38, p.27-40, 1998.

TURRELL, F.M.; PERRY, R.L. Specific heat and heat conductivity of citrus fruit Proc. of Amer. Soc. for Hort. Science, p.261-265, 1957.

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

ZAINAL, B.S.; ABDUL RAHMAN, R.; ARIFF, A.B.; SAARI, B.N.; ASBI, B.A. Effects of temperature on the physical properties of pink guava juice at two different concentrations **Journal of Food Engineering**, n.43, p.55-59, 2000.

## Apêndice B

**Tabela A1.** Análise de variância dos valores médios da difusividade térmica da polpa de açaí

<b>F. V.</b>	<b>G.L.</b>	<b>S.Q.</b>	<b>Q.M.</b>	<b>F</b>
Concentração	2	0,00051	0,00026	186,6919**
Resíduo	6	0,00001	0,00000	
Total	8	0,00052		

F.V. – Fonte de variação; G.L. – Graus de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio; F – Variável do teste F; \*\* - Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

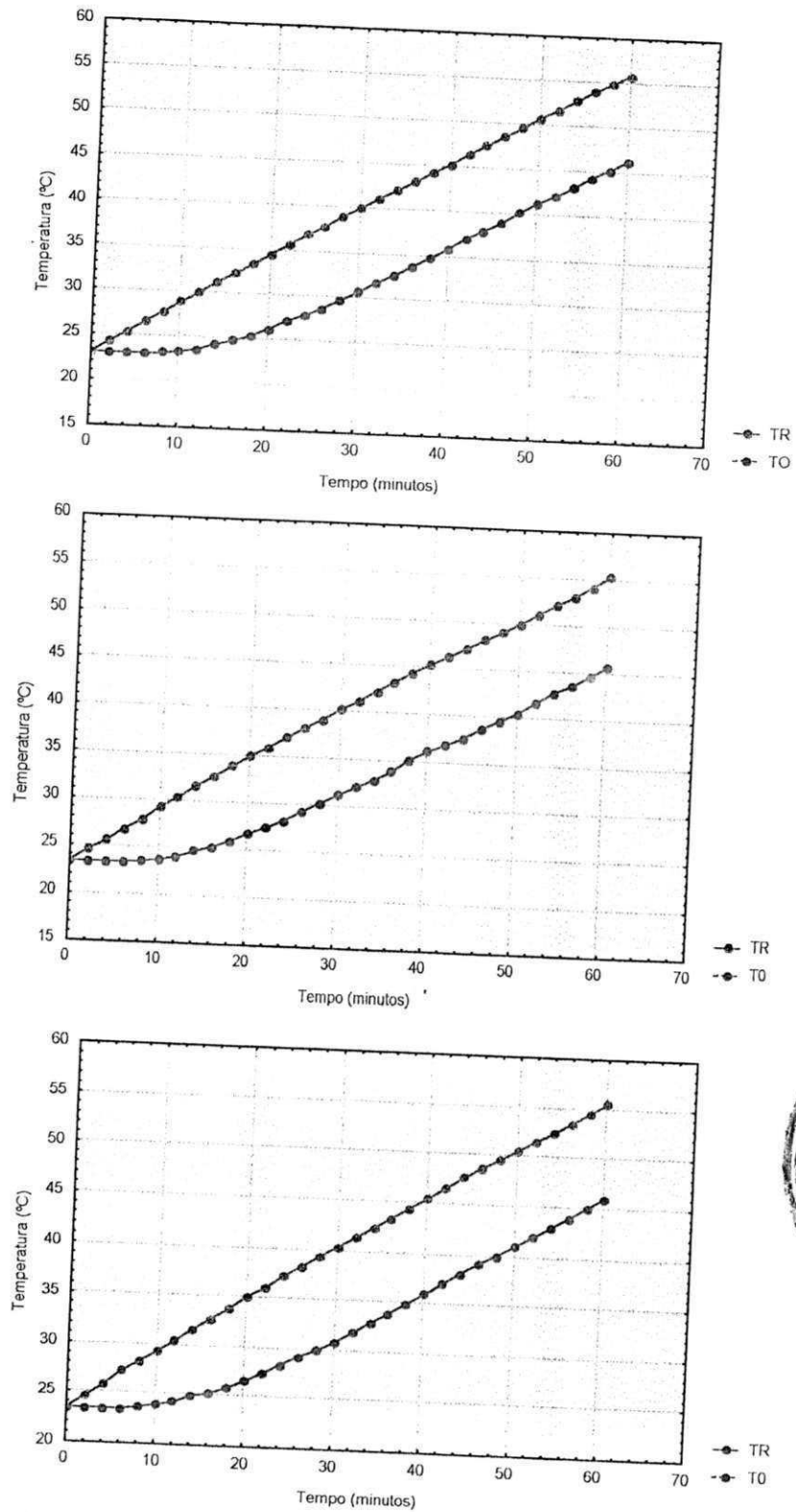
**Tabela A2.** Análise de variância dos valores médios do calor específico da polpa de açaí

<b>F. V.</b>	<b>G.L.</b>	<b>S.Q.</b>	<b>Q.M.</b>	<b>F</b>
Concentração	2	0,08737	0,04369	54,2749**
Resíduo	6	0,00483	0,00080	
Total	8	0,09220		

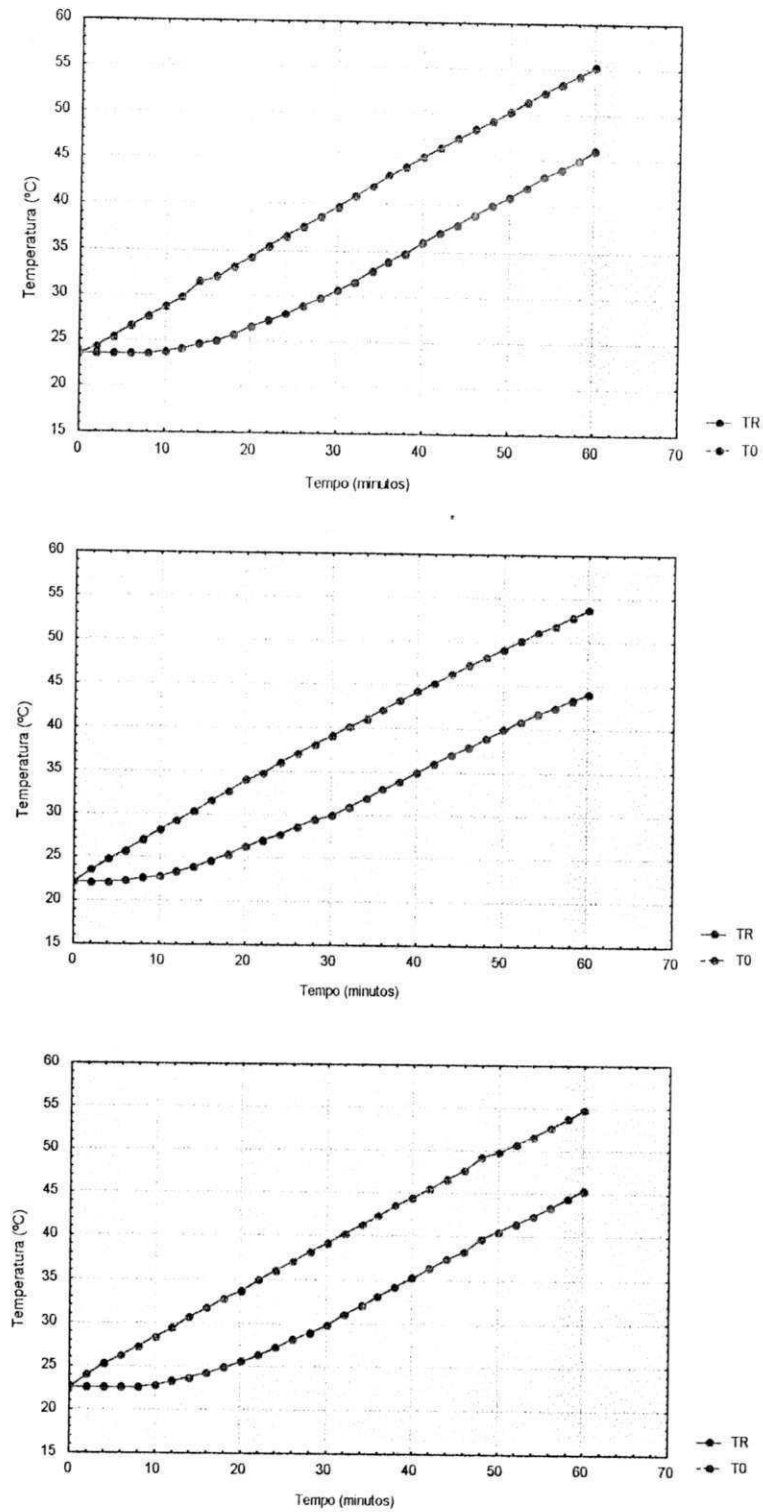
F.V. – Fonte de variação; G.L. – Graus de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio; F – Variável do teste F; \*\* - Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Apêndice A





**Figura B1.** Diagrama tempo-temperatura das três repetições para a determinação da difusividade térmica do açai Tipo A.



**Figura B2.** Diagrama tempo-temperatura das três repetições para a determinação da difusividade térmica do aço Tipo B.



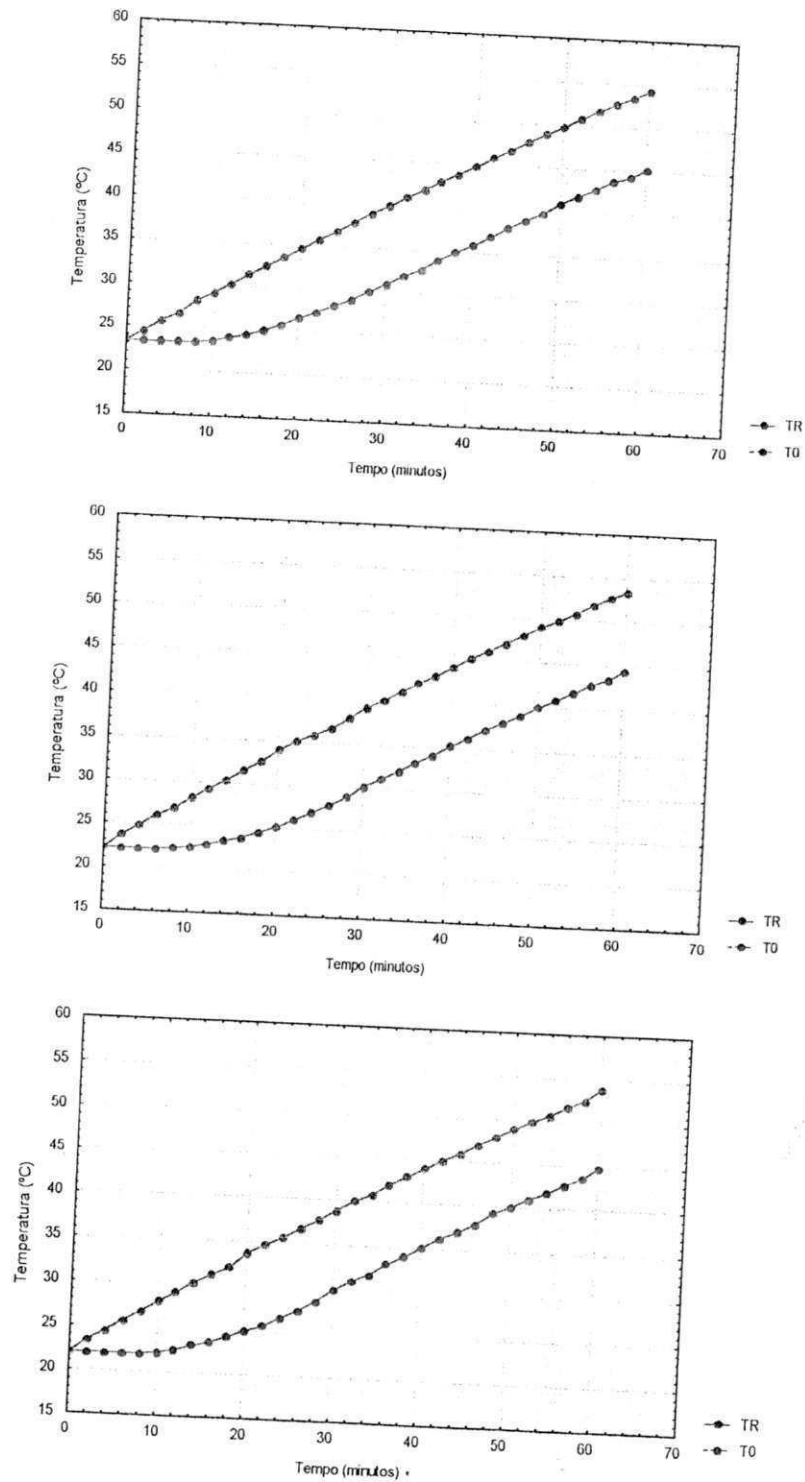


Figura B3. Diagrama tempo-temperatura das três repetições para a determinação da difusividade térmica do açaí Tipo C.