



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
ÁREA: ARMAZENAMENTO E PROCESSAMENTO DE
PRODUTOS AGRÍCOLAS**



ESTÁGIO SUPERVISIONADO

PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DA POLPA DE UMBU-CAJÁ

TÂMILA KASSIMURA DA SILVA FERNANDES

Campina Grande - Paraíba

Abril – 2008



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DO ESTÁGIO SUPERVISIONADO

TÂMILA KASSIMURA DA SILVA FERNANDES

PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DA POLPA DE UMBU-CAJÁ

BANCA EXAMINADORA:

NOTA

Rossana M^a F. de Figueirêdo

9,0

Prof.^a Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo – Orientadora

Alexandre J M Queiroz

9,0

Prof. Alexandre José de Melo Queiroz – Examinador

Josivanda P. Gomes

9,0

Prof.^a Josivanda Palmeira Gomes – Examinadora

ABRIL - 2008



Biblioteca Setorial do CDSA. Abril de 2021.

Sumé - PB

PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DA POLPA DE UMBU-CAJÁ

TÂMILA KASSIMURA DA SILVA FERNANDES

Estágio supervisionado apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do diploma de graduação em Engenharia Agrícola.

ÁREA: Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas

ORIENTADORA: Prof^a. Dr^a. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo

Campina Grande - Paraíba

Abril – 2008

DEDICÁTORIA

Dedico este trabalho ao meu Deus, por ser o meu refúgio e fortaleza, meu socorro bem presente nas horas das aflições, sempre estando comigo e suprimindo as minhas necessidades.

A meus amados pais, Nisauro e Selma, que lutaram para que eu hoje simplesmente existisse, e que com paciência me conduziram nos caminhos certos. A eles todo meu amor e profunda admiração.

A meu namorado e grande amigo, Erysson, pelo apoio e encorajamento para que eu concluísse este curso.

A todos meus familiares e amigos que sonharam junto comigo os meus sonhos. Esta vitória é nossa.

Amo todos vocês!!

Amém!!

AGRADECIMENTOS

A Deus, que é a razão da minha existência, por ter me dado força e coragem para vencer esta fase de minha vida, a Ele toda honra e toda a glória.

A meus pais, Nisauro e Selma, que lutaram para que eu chegasse onde estou hoje, sempre perto em todos os momentos de minha vida.

A minha avó e avô (*in memoriam*), meu irmão, tios, primos, por acompanharem meu crescimento.

A Erysson, grande companheiro em todos os momentos, que me ajudou sempre que precisei.

A todos os professores que passaram na minha vida acadêmica durante este curso, em especial a Profª. Rossana e ao Prof. Alexandre, com os quais aprendi muito e com paciência me ajudaram a crescer nesta profissão que escolhi.

Ao Coordenador do Curso Prof. Juarez por ter sempre me ajudado. A Aldaniza, secretária da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola.

Aos meus amigos: Abel, Alberto, Aline, Ariadne, Débora, Denise, Edvaldo, Izabele, Jofran, Kaline, Luciano, Niédja, Patrícia, Polyana, Rafael, Socorro, por dividirem os bons e maus momentos que vivemos durante todos esses anos.

A minhas grandes amigas: Clarice, Conceição, Karla, Lidianne e Simone, que vieram a acrescentar muito em minha vida, sou eternamente grata a vocês, que Deus possa abençoá-las abundantemente.

À minha amiga Elizabelly, que mesmo longe é referencial em minha vida.

A todos que de forma direta ou indireta participaram de minha formação, amo todos vocês.

À Corn Products Brasil pela doação da maltodextrina.

Obrigada!!!

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Umbu-cajá.....	3
2.2. Sólidos solúveis totais	4
2.3. Umidade	5
2.4. Maltodextrina.....	6
2.5. Propriedades termofísicas.....	7
2.5.1. Massa específica.....	8
2.5.2. Calor específico	11
2.5.3. Difusividade térmica.....	15
2.5.4. Condutividade térmica.....	20
3. MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1. Matéria-prima	23
3.2. Processamento do umbu-cajá	23
3.2.1. Recepção e seleção	24
3.2.2. Lavagem	24
3.2.3. Despulpamento	24
3.2.4. Embalagem	24
3.2.5. Congelamento	24
3.2.6. Armazenamento	25
3.3. Sólidos solúveis totais	25
3.4. Sólidos totais e Umidade	25
3.5. Propriedades Termofísicas.....	25
3.5.1. Massa específica	25
3.5.2. Calor específico.....	26
3.5.3. Difusividade térmica	28
3.5.4. Condutividade térmica	31
3.6. Análise estatística	31

3.7. Erro percentual	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1. Sólidos solúveis totais	33
4.2. Sólidos totais	37
4.3. Umidade	40
4.4. Propriedades termofísicas	42
4.4.1. Massa específica	42
4.4.2. Calor específico	48
4.4.3. Difusividade térmica	51
4.4.4. Condutividade térmica	54
5. CONCLUSÕES	56
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Picnômetro	09
Figura 2.2 – Balança de Westphal	10
Figura 2.3 – Alcoômetro e lactodensímetro	10
Figura 3.1 – Fluxograma do processamento da polpa de umbu-cajá	23
Figura 3.2 – Calorímetro de mistura	27
Figura 3.3 – Esquema utilizado para determinação da difusividade térmica	29
Figura 4.1 – Sólidos solúveis totais de umbu-cajá em função da concentração de maltodextrina (%)	36
Figura 4.2 – Valores médios da massa específica da polpa de umbu-cajá em função da concentração de maltodextrina com ajuste por equação linear	44
Figura 4.3 – Diagrama tempo-temperatura das três repetições para a determinação da difusividade térmica da polpa de umbu-cajá integral	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Composição química dos frutos e polpa de umbu-cajá	4
Tabela 2.2 - Equações para estimar a massa específica de sucos e polpa de frutas.....	11
Tabela 3.1 - Equações para cálculo da massa específica em alimentos	26
Tabela 3.2 – Equações para o cálculo do calor específico de alimentos	28
Tabela 3.3 – Equações para o cálculo da difusividade térmica para produtos alimentícios	30
Tabela 3.4 - Equações para cálculo da condutividade térmica em alimentos	31
Tabela 4.1 - Sólidos solúveis totais (°Brix) da polpa de umbu-cajá integral e com adição de diferentes concentrações de maltodextrina	33
Tabela 4.2 - Análise de variância dos valores médios dos sólidos solúveis (°Brix) da polpa de umbu-cajá em função da concentração	34
Tabela 4.3 - Valores médios dos sólidos solúveis totais (°Brix) da polpa de umbu-cajá em função da concentração	35
Tabela 4.4 - Análise de variância da regressão polinomial dos valores médios dos sólidos totais (°Brix) da polpa de umbu-cajá em função da adição de diferentes concentrações de maltodextrina	35
Tabela 4.5 - Equações de regressão propostas para o cálculo dos sólidos solúveis totais (°Brix) da polpa de umbu-cajá em função da concentração de maltodextrina	36
Tabela 4.6 – Sólidos totais do umbu-cajá com adição de diferentes concentrações de maltodextrina	37
Tabela 4.7 – Análise de variância dos valores médios dos sólidos totais da polpa de umbu-cajá em função da concentração	37
Tabela 4.8 – Valores médios dos sólidos totais da polpa de umbu-cajá, em função da concentração	38
Tabela 4.9 – Análise de variância da regressão polinomial dos valores médios dos sólidos totais da polpa de umbu-cajá em função da adição de diferentes concentrações de maltodextrina na temperatura de 30°C	39
Tabela 4.10 – Equações de regressão propostas para o cálculo dos sólidos totais da	39

polpa de umbu-cajá em função da concentração de maltodextrina para a temperatura de 30°C	
Tabela 4.11 - Umidade do umbu-cajá com adição de diferentes concentrações de maltodextrina	40
Tabela 4.12 – Análise de variância dos valores médios da umidade da polpa de umbu-cajá em função da concentração	41
Tabela 4.13 – Valores médios da umidade da polpa de umbu-cajá, em função da concentração	41
Tabela 4.14 – Análise de variância da regressão polinomial dos valores médios da umidade da polpa de umbu-cajá em função da adição de diferentes concentrações de maltodextrina na temperatura de 30°C	42
Tabela 4.15 – Equações de regressão propostas para o cálculo da umidade da polpa de umbu-cajá em função da concentração de maltodextrina para a temperatura de 30°C	42
Tabela 4.16 – Massa específica do umbu-cajá com adição de diferentes concentrações de maltodextrina	43
Tabela 4.17 – Análise de variância dos valores médios da massa específica da polpa de umbu-cajá em função da concentração	44
Tabela 4.18 – Valores médios da massa específica da polpa de umbu-cajá, em função da concentração	45
Tabela 4.19 – Análise de variância da regressão polinomial dos valores médios da massa específica da polpa de umbu-cajá em função da adição de diferentes concentrações de maltodextrina na temperatura de 30°C ...	46
Tabela 4.20 – Equações de regressão propostas para o cálculo da massa específica da polpa de umbu-cajá em função da concentração de maltodextrina para a temperatura de 30°C	46
Tabela 4.21 – Valores teóricos da massa específica (kg/m ³) para a polpa de umbu-cajá e os erros percentuais	47
Tabela 4.22 – Calor específico do umbu-cajá com adição de diferentes concentrações de maltodextrina	48
Tabela 4.23 - Análise de variância dos valores médios do calor específico da polpa de umbu-cajá em função da concentração	48
Tabela 4.24 - Valores médios de calor específico da polpa de umbu-cajá em função	49

da concentração	
Tabela 4.25 - Análise de variância da regressão polinomial dos valores médios do calor específico da polpa de umbu-cajá em função da adição de diferentes concentrações de maltodextrina na temperatura de 30°C	50
Tabela 4.26 - Equações de regressão propostas para o cálculo do calor específico da polpa de umbu-cajá em função da concentração de maltodextrina para a temperatura de 30°C	50
Tabela 4.27 - Valores teóricos do calor específico para a polpa de umbu-cajá e os erros percentuais	51
Tabela 4.28 - Valores experimentais da difusividade térmica da polpa de umbu-cajá integral	53
Tabela 4.29 - Valores teóricos da difusividade térmica (m^2/s) para a polpa de umbu-cajá e os erros percentuais	54
Tabela 4.30 - Valores experimentais da Condutividade térmica da polpa de umbu-cajá	54
Tabela 4.31 - Valores teóricos da condutividade térmica ($W/m\ ^\circ C$) da polpa de umbu-cajá e os respectivos erros percentuais	55

1 - INTRODUÇÃO

A produção mundial de frutas, no ano de 2004, foi de 675,1 milhões de toneladas em 71,5 milhões de hectares, e o Brasil contribuiu com 39 milhões de toneladas, conferindo-lhe a posição de terceiro maior produtor de frutas frescas do mundo, superado apenas pela China e Índia, com 161 e 58 milhões de toneladas, respectivamente. (OLIVEIRA & MANICA)

O umbu-cajá (*Spondias spp.*) reúne características favoráveis do umbu, como espessura da polpa e árvore de porte baixo, e do cajá, como aroma e sabor. A umbu-cajazeira é uma planta arbórea, da família Anacardiaceae, resultante do cruzamento natural entre a cajazeira (*Spondias mombim*) e o umbuzeiro (*Spondias tuberosa*). É uma frutífera tropical nativa do nordeste brasileiro, de fácil propagação, que apresenta grandes perspectivas de inserção no mercado interno de frutas exóticas (RITZINGER et al., 2001).

Na Paraíba, esta espécie se encontra distribuída do litoral ao sertão, sendo que, na região do Brejo, são encontrados os exemplares mais exuberantes (LOPES, 1997).

O fruto é caracterizado como uma drupa arredondada, de cor amarela, casca fina e lisa, com endocarpo chamado “caroço”, grande, branco, suberoso e enrugado, localizado na parte central do fruto, no interior do qual se encontram os lóculos, que podem ou não conter uma semente. A umbu-cajazeira apresenta cerca de 90% dos endocarpos desprovidos de sementes (SOUZA et al., 1997) o que torna inviável a sua propagação sexual, sendo tradicionalmente propagada pelo método vegetativo assexuado, através de estacas de 35 cm de comprimento e 1,5 cm de diâmetro (LOPES, 1997; SOUZA, 1998).

Segundo LIMA et al. (2002) os frutos possuem excelente sabor e aroma, boa aparência e qualidade nutritiva, muito consumidos na forma *in natura*, apresentando rendimento médio de 55 a 65% em polpa, com potencial para a sua utilização na forma processada como polpa congelada, sucos, néctares e sorvetes.

Os conhecimentos necessários para manipulação, transporte e estocagem de polpas de frutas envolvem propriedades físicas relacionadas ao material, importantes para o correto dimensionamento dos equipamentos destinados a estas operações. No caso de polpas de frutas, são usados processos de aquecimento em pasteurização, concentração, etc., e a utilização de baixas temperaturas é um procedimento largamente utilizado para a preservação da qualidade desses produtos. No entanto, a utilização de tais recursos envolve gastos expressivos com energia e com sistemas e instalações, os quais podem ser

otimizados pelo correto dimensionamento das instalações, levando em consideração as cargas energéticas requeridas pelo material que por sua vez dependem da sua natureza termofísica, expressa por propriedades como a massa específica, o calor específico, a difusividade térmica e a condutividade térmica.

1.1 - Objetivo

Determinar a influência da adição de maltodextrina em diferentes concentrações (0, 2,5; 5,0; 7,5; 10,0; 12,5 e 15%) nas propriedades termofísicas (massa específica e calor específico) da polpa de umbu-cajá. Determinar a difusividade térmica e condutividade térmica para a polpa integral de umbu-cajá.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Umbu-cajá

O umbu-cajá (*Spondias spp.*) é uma planta arbórea, da família das Anacardiáceas. Presume-se ser resultante do cruzamento natural entre o cajá (*Spondias mombin*) e o umbu (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara). Assim como a cajazeira e o umbuzeiro, a umbu-cajazeira é uma frutífera tropical nativa do Nordeste brasileiro, de fácil propagação, que apresenta grandes perspectivas de inserção no mercado interno e externo de frutas exóticas, especialmente na forma de polpa, sucos e sorvetes (RITZINGER et al., 2001).

O umbu-cajazeira é considerado um híbrido natural de origem desconhecida, apresentando características de plantas xerófilas que são encontradas em plantios desorganizados disseminados em alguns Estados do Nordeste (GIACOMETTI, 1993). Seus frutos são drupa de forma arredondada, cor amarela, apresentando casca fina e lisa, o endocarpo (caroço) é grande, branco, suberoso e enrugado em seu interior onde se localizam os lóculos podendo ou não conter uma semente (SOUZA et al., 1997).

Dentre os frutos que vêm despertando interesse, especialmente para a agroindústria, destacam-se os do gênero *Spondias*. Seus frutos são comercializados em feiras livres ou destinados ao abastecimento das indústrias. Pelas potencialidades apresentadas por esse gênero, pode-se afirmar que se trata de um recurso fitogenético importante para o Nordeste, onde a condição edafoclimática favorece o seu cultivo e a sua produção. O fruto umbu-cajá assume posição de destaque no tocante ao aspecto comercial em função do aroma, sabor e palatabilidade que oferece ao ser degustado nas mais variadas formas (NORONHA et al., 2000).

O umbu-cajá possui excelente sabor e aroma, apresenta boa aparência e qualidade nutritiva, sendo grande o consumo na forma *in natura*. O rendimento médio da polpa é de 55 a 65%, apresentando potencial para a sua utilização na forma processada, como: polpa congelada, sucos, néctares e sorvetes. A colheita é realizada manualmente, pois apresenta altura menor que a cajazeira, facilitando a coleta dos frutos. Devem ser colhidos nos estádios verdes ou “de vez”, tendo em vista serem classificados como climatéricos, o que proporciona uma melhor seleção dos frutos e qualidade de seus produtos. Os frutos maduros desprendem-se da planta e caem, ocasionando danos ao se chocarem com galhos e com o solo, podendo perder líquido e entrar em processo de fermentação, além de ficarem expostos ao ataque de insetos, deteriorando-se rapidamente (LIMA et al., 2002).

O extrativismo é a forma de exploração desta espécie que apresenta grande potencial agroindustrial e é encontrada espontaneamente nas regiões semi-áridas, sub-úmida e semiúmida do Nordeste brasileiro. Seus frutos, por apresentarem boa aparência, elevado teor de vitamina C e de glicídios, além de aroma agradável e sabor agridoce, são bastante apreciados, tanto para o consumo *in natura*, como também, na forma de sucos, doces, picolés e sorvetes (GIACOMETTI, 1993; LIMA et al., 2002).

Na Paraíba, o umbu-cajá encontra-se distribuído do litoral ao Sertão sendo que, na região do Brejo, são encontrados os exemplares mais exuberantes. É de grande importância socioeconômica para as famílias de pequenos produtores locais e sua produção se concentra nos meses de janeiro a fevereiro (LIMA et al., 2002).

Na Tabela 2.1 encontram-se alguns valores referenciais da composição química dos frutos e polpa de umbu-cajá.

Tabela 2.1 - Composição química dos frutos e polpa de umbu-cajá

COMPOSIÇÃO	POLPA	FRUTO
Umidade (%)	-	84,2
pH	2,13	2,61
Sólidos solúveis totais (°Brix)	11,25	10,4
Acidez total titulável (%)	1,78	1,85
SST/ATT	6,29	-
Vitamina C (mg/100g)	17,75	14,2

Fonte: LIMA et al. (2002), MATSUURA et al. (2001).

2.2- Sólidos solúveis totais

Os sólidos solúveis totais indicam a quantidade, em gramas, dos sólidos que se encontram dissolvidos no suco ou polpa. São designados como °Brix, e tendem a aumentar com a maturação. Os sólidos solúveis podem ser medidos no campo ou na indústria com o auxílio de refratômetro (CHITARRA & CHITARRA, 1990). Em frutas, os sólidos solúveis indicam o teor de açúcar, já que esta participa na composição das frutas em alguns casos com até 80% de sólidos solúveis. Com o amadurecimento da fruta, o amido é hidrolisado em açúcares complexos e os açúcares complexos em simples, com isto, o teor de sólidos solúveis das frutas vai se elevando (CARVALHO et al., 1990).

De acordo com ARAÚJO et al. (2002) a análise do °Brix, na indústria tem grande importância no controle dos ingredientes a serem adicionados e na qualidade final do produto. A determinação do °Brix é realizada nas indústrias de doces, sucos, néctar, polpas, leite condensado, álcool, açúcar, sorvetes, licores e bebidas, etc

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

2.3 - Umidade

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

A água na quantidade, localização e estrutura adequadas, é essencial para o processo vital, influencia na textura, na aparência, no sabor e na deterioração química e microbiológica dos alimentos. Quanto maior o teor de água de um alimento, maior é sua sensibilidade à deterioração (RIBEIRO & SERAVALLI, 2004).

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

A umidade corresponde à perda em peso sofrida pelo produto quando aquecido em condições nas quais a água é removida. Na realidade, não é somente a água a ser removida, mas outras substâncias que se volatilizam nessas condições. O resíduo obtido no

aquecimento direto é chamado de resíduo seco. O aquecimento direto da amostra a 105°C é o processo mais usual (LARA et al., 1976).

2.4 - Maltodextrina

Segundo BHANDARI et al. (1993) poucas técnicas de secagem são adequadas para a produção de pós de sucos de frutas sem aditivos.

Aditivos são produtos adicionados ao alimento, visando melhorar suas qualidades sensoriais e nutricionais ou que estão presentes nesse alimento, através da contaminação *in natura* ou no seu processamento e armazenamento. Existem duas classes de aditivos: intencionais e acidentais. Os intencionais são em grande número, da ordem de 2.000 – 2.500, e os acidentais são em número menor, mas muito variável, pois dependem quase que totalmente de circunstâncias incontroláveis ou desconhecidas. Os aditivos intencionais são necessários aos produtos processados dos quais o consumidor espera cor, sabor e textura, porém o aditivo deve ser comprovadamente não-tóxico aos níveis consumidos e, especialmente, não deve ter efeito tóxico cumulativo (BOBBIO & BOBBIO, 1992).

Na secagem de polpa de frutas, óleos essenciais e outros produtos alimentícios alguns aditivos são utilizados para auxiliar a secagem por aspersão tais como: sacarose, xarope de milho, maltodextrina, lactose, gomas, amidos, carboximetilcelulose e seu sal sódico (HOLDSWORTH, 1971).

O FDA (Food and Drug Administration) define maltodextrina ($(C_6H_{12}O_5)_nH_2O$) como um polímero sacarídeo nutritivo, não doce, formado de unidades D-glicose unidas principalmente por ligações α -(1→4) e com dextrose equivalente (DE) menor que 20. É comercializada na forma de pó branco ou soluções concentradas e são produzidas pela hidrólise parcial, ácida ou enzimática, do amido de milho. A maltodextrina geralmente é reconhecida como insumo alimentar seguro para o consumo humano (GRAS). Glucoses desidratadas são xaropes na forma em pó, nas quais a dextrose equivalente é maior ou igual a 20 (KENYON & ANDERSON, 1988).

A maltodextrina é muito usada na microencapsulação por ter baixo custo, baixa higroscopicidade e ser muito estável quando possui alta dextrose equivalente (DE), garantindo um tempo longo de armazenamento sem necessidade da adição de antioxidantes, estabilização da emulsão. Mas possui desvantagens tais como: pobre capacidade para formar filme e pobre retenção dos voláteis (ANANDARAMAN & REINECCIUS, 1986).

ABADIO et al. (2004) secaram em secador por aspersão suco de abacaxi com diferentes concentrações de maltodextrina (DE 10), verificando que o aumento da concentração de maltodextrina provocou reduções na umidade do pó. Entretanto, a menor concentração de maltodextrina (10%) foi suficiente para obter um produto com boa solubilidade e fluidez (free-flowing).

REYES et al. (1997) também verificaram a diminuição da umidade do pó de maçã, desidratado em secador do tipo leito fluidizado, com o aumento da concentração de maltodextrina utilizada nas formulações.

2.5 - Propriedades termofísicas

O conhecimento das propriedades termofísicas dos materiais biológicos, é de extrema importância para o correto dimensionamento das instalações e dos equipamentos necessários para manipulação, transporte e estocagem de polpas de frutas e no retardamento dos processos metabólicos e microbiológicos (SARRIA & HONÓRIO, 2004).

LEWIS (1993) afirmou que os alimentos em geral são maus condutores de calor, e por isso o processo de transferência de calor, em que a condução é o mecanismo predominante, é lento. O mesmo autor relata que o aquecimento e resfriamento podem acontecer mediante operações de redução de tamanho.

Segundo PASQUALONE & MASTANDREA (1995), as propriedades térmicas de alimentos podem ser consideradas praticamente constantes nas temperaturas maiores do que o ponto de congelamento, por outro lado em temperaturas abaixo desse ponto, as propriedades mudam drasticamente devido à formação de gelo, o qual tem propriedades claramente diferentes da água. De acordo com SINGH & HELDMAM (1997), quando a água dentro do produto passa do estado líquido para o estado sólido, ocorre também uma mudança de fase gradual nas propriedades como: densidade, condutividade térmica, entalpia e calor específico.

As equações necessárias para o cálculo da taxa de aquecimento ou resfriamento podem ser utilizadas, mas seu emprego tem sido restringido pela falta de valores tabelados das propriedades térmicas do produto. Baseado em muitos anos de pesquisa foram desenvolvidas técnicas especiais para interpretar os dados de aquecimento e resfriamento utilizados extensivamente para alimentos embalados ou enlatadas. Apesar da natureza

experimental, tais técnicas estão ligadas à teoria de transferência de calor (NEVES FILHO, 1991).

O uso das equações de transferência de calor e massa é condicionado à disponibilidade de dados sobre as características termofísicas dos materiais. Estimativas de dispêndios e trocas energéticas podem ser realizadas a partir dos valores de massa específica, difusividade térmica, calor específico e condutividade térmica dos materiais (ARAÚJO, 2004).

2.5.1 - Massa específica

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

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

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

Uma das características mais importantes do estado líquido é a sua densidade absoluta ou também chamada de massa específica, ou ainda, simplesmente densidade.

A massa específica é definida como a relação existente entre a massa e o volume de uma substância (corpo). Expressa, portanto, a quantidade de matéria contida em uma dada unidade de volume (Equação 2.1).

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

em que:

ρ - densidade (kg/m³);

m - massa (kg);

V - volume (m³).

De acordo com HIMMELBLAU (1998) a densidade de líquidos e sólidos não varia significativamente com a pressão em condições comuns, mas mudam com a temperatura e composição do produto.

Diversos métodos são utilizados para determinar a densidade, sendo os principais os métodos do picnômetro e por flutuação.

A determinação da densidade de alimentos líquidos pelo método do picnômetro é o mais utilizado. Consiste na medida do peso de um volume conhecido do líquido em um frasco (picnômetros de 25 ou 50mL – Figura 2.1) cujo volume seja calibrado em termos do peso de água pura no mesmo frasco e na mesma temperatura (MADRUGA & ALDRIGUE, 2002).



Figura 2.1 - Picnômetro (Fonte: Brand)

Os métodos por flutuação de medida de densidade de líquidos são baseados no Princípio de Arquimedes, “Um corpo total ou parcialmente imerso em um líquido flutua por uma força igual ao peso do líquido deslocado”. Os equipamentos que determinam a densidade de líquidos seguindo esse princípio são: balança de Westphal (Figura 2.2), hidrômetros, alcoômetros (Figura 2.3), lactômetros, sacarômetros, salômetros, hidrômetros Baumé e oleômetros.

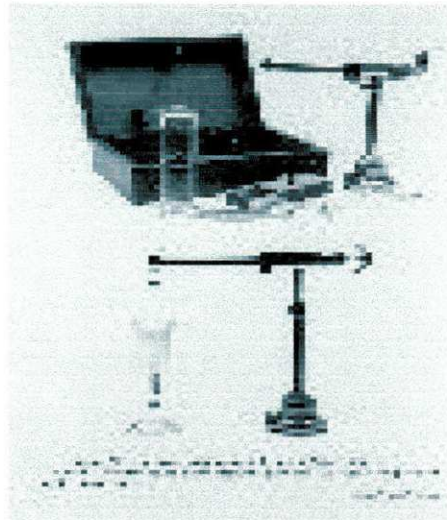


Figura 2.2 - Balança de Westphal (Fonte: Websters)



Figura 2.3 – Alcoômetro (Fonte: Cap-lab)

Existe na literatura uma grande quantidade de equações para a predição da massa específica de alimentos em função da temperatura, concentração, umidade e outros parâmetros (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 - Equações para estimar a massa específica de sucos e polpa de frutas

Produto	Referência	Equação
Polpa de cupuaçu	ARAÚJO et al. (2002)	$\rho = 1035,3 - 0,07429T - 0,00643T^2$
Polpa de açaí	PEREIRA et al. (2002)	$\rho = 108,65 - 0,4579X_w - 0,3867T$
Polpa de manga	ALVARADO & ROMERO (1989)	$\rho = 1087 - 1,064T + 21,887 \times 10^{-3} T^2 - 26,160 \times 10^{-5} T^3$
Alimentos em geral	CHOI & OKOS (1986)	$\rho = 1098 + 4,26X_s - 0,349(T + 273)$
Sucos de frutas em geral	ALVARADO & ROMERO (1989)	$\rho = 1002 + 4,61B - 0,460T + 7,001 \times 10^{-3} T^2 - 9,175 \times 10^{-5} T^3$
Suco de uva	BAYINDIRLI (1993)	$\rho = 0,74 + 0,43 \exp(0,01B) - 0,000555T$
Suco de pêssego	RAMOS & IBARZ (1998)	$\rho = 1006,56 - 0,5155T + 4,1951B + 0,0135B^2$

em que: ρ - densidade (kg/m^3); X_w - fração mássica da água (adimensional); B - Sólidos solúveis totais (°Brix); T - temperatura (°C).

2.5.2 - Calor específico

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

O calor específico é uma propriedade termodinâmica definida como a quantidade de calor necessária para mudar a temperatura de uma unidade de massa de uma substância em

um grau. O calor específico dos alimentos é significativamente afetado pela quantidade de água presente neste alimento e pelo estado físico desta água (LEWIS, 1993).

De acordo com PEDROZA (1991), o calor específico de uma substância denota a variação de temperatura com a quantidade de calor armazenada dentro da substância. O calor específico depende da natureza do processo de adição de calor, isto é, se o processo ocorre a pressão constante ou a volume constante. O efeito da pressão sobre o calor específico dos sólidos e líquidos é muito pequeno e as variações de pressão nos problemas de transmissão de calor de produtos agrícolas são, em geral, pequenas; portanto, o calor específico de produtos agrícolas é considerado a pressão constante.

Em processos nos quais ocorre uma mudança de fase, como por exemplo, o congelamento, se utiliza o calor específico aparente. Este se obtém somando-se o calor sensível e o calor latente (SINGH & HELDMAN, 1997).

Diversos pesquisadores estudaram o comportamento dessa propriedade térmica com a variação do teor de água de vários materiais biológicos e observaram existir uma relação em que o aumento do teor de água provoca elevação dos valores de calor específico (ANDRADE et al., 2004; MOURA et al., 1998; SHARMA & THOMPSON, 1973).

Muitos métodos, utilizados para determinar o calor específico, baseiam-se no equilíbrio térmico estabelecido entre um primeiro corpo, que se pretende determinar o calor específico, e um segundo corpo de calor específico conhecido.

O calor específico é a quantidade de calor que ganha ou perde um quilograma de alimento para produzir uma mudança de temperatura requerida, sendo escrita na forma da Equação 2.2.

$$C_p = \frac{Q}{m\Delta T} \quad (2.2)$$

em que:

C_p – calor específico (kJ/kg °C);

Q – quantidade de calor (kJ);

m – massa (kg);

ΔT – variação de temperatura (°C).

Vários são os métodos para determinar experimentalmente o calor específico de produtos agrícolas, em que os mais conhecidos são: o método das misturas, o método das placas e o método do calorímetro diferencial de varredura (DSC).

Na determinação experimental do calor específico dos materiais biológicos pode-se utilizar o método das misturas. Neste método, uma amostra de massa e temperatura conhecidas é introduzida em um calorímetro, que possui um fluido de massa e calor específico conhecidos, geralmente utiliza-se a água. Daí, o calorímetro é agitado até que seja obtido o equilíbrio térmico. Inicialmente, determina-se a capacidade calorífica do calorímetro, utilizando-se o balanço de calor da Equação 2.3 descrita em SILVA et al. (2002).

$$C_1 m_1 (T_1 - T_3) + C_{cal} (T_1 - T_3) = C_2 m_2 (T_3 - T_2) \quad (2.3)$$

em que:

C_1 e C_2 - calor específico da água (cal/g°C)

m_1 - massa de água à temperatura ambiente (g)

m_2 - massa de água refrigerada (g)

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

Na determinação do calor específico do produto, utiliza-se a Equação 2.4 descrita em SILVA et al. (2002).

$$m_p C_p (T_4 - T_5) = C_1 m_3 (T_5 - T_3) + C_{cal} (T_5 - T_3) \quad (2.4)$$

em que:

m_p - massa do produto (g)

C_p - calor específico do produto (cal/g °C)

C_1 - calor específico da água (cal/g °C)

m_3 - soma das massas m_1 e m_2

T_4 - temperatura inicial do produto (°C)

T_5 - temperatura de equilíbrio (°C).

No método das placas a amostra é envolvida por placas aquecidas eletricamente, sendo mantidas à mesma temperatura da amostra, que também é aquecida da mesma

maneira. Desta forma, teoricamente não existem perdas de calor, então, o calor cedido pelo produto em um tempo é igual ao ganhado pelo mesmo (MOHSENIN, 1980).

De acordo com ALVARADO (2001) neste método, conhecido como DSC, se mede a energia requerida para estabelecer uma diferença de temperatura igual à zero entre o alimento e o material de referência, do qual se calcula o calor específico. A quantidade da amostra é mínima; logo, o material deve ser cuidadosamente homogeneizado. Para melhorar a precisão, devem-se realizar várias repetições. Esses equipamentos, conhecidos como DSC são complexos e de preços altos, conforme o modelo e a precisão que oferecem.

Existem, na literatura, muitas equações para predição do calor específico de produtos alimentícios; algumas são de simples aplicação e proporcionam valores próximos aos dados experimentais.

Siebel (1982) citado por CHOI & OKOS (1986) desenvolveu uma equação para o cálculo do calor específico de produtos alimentícios com altos teores de água (Equação 2.5)

$$C_p = (0,837 + 3,349 \cdot X_w) \quad (2.5)$$

em que:

C_p - calor específico (kJ/kg °C)

X_w - fração mássica da água (adimensional)

DICKERSON (1968) desenvolveu uma expressão (Equação 2.6) que tem sido usada consideravelmente para produtos alimentícios com alto conteúdo de umidade. Essa equação tem sido usada com bastante frequência em sucos de frutas com conteúdo de água acima de 50%.

$$C_p = 1,675 + 2,512X_w \quad (2.6)$$

em que:

C_p - calor específico (kJ/kg°C)

X_w - fração mássica da água (adimensional)

Lamb citado por CHOI & OKOS (1986) sugeriu uma equação para o calor específico de alimentos para temperaturas acima do ponto de congelamento, em função da fração mássica da água (Equação 2.7).

$$C_p = 1,465 + 2,721X_w \quad (2.7)$$

em que:

C_p – calor específico (KJ/Kg°C);

X_w – fração mássica da água (adimensional).

MANOHAR et al. (1991) desenvolveram uma equação para o cálculo do calor específico do suco de tamarindo (Equação 2.8).

$$C_p = 4,18 + (6,839 \times 10^{-5} T - 0,0503) \cdot S \quad (2.8)$$

em que:

C_p – calor específico (kJ/kg°C);

S – sólidos totais (%);

T – temperatura (°C).

VIEIRA (1996) propôs a Equação 2.9 para estimar o calor específico teórico do suco de laranja, em função dos sólidos solúveis totais.

$$C_p = 4,1713 - 0,02779B \quad (2.9)$$

em que:

C_p – calor específico (kJ/kg °C);

B – concentração (°Brix).

2.4.3 - Difusividade térmica

BHOWMIK & HAYAKAMA (1979) afirmaram que a difusividade térmica é necessária na determinação das curvas de temperatura de alimentos durante processos de transferência de calor para a delimitação dos próprios procedimentos usados nestas operações.

A difusividade térmica é uma das propriedades mais utilizadas no cálculo de transferência de calor por condução. A difusividade é a razão entre a habilidade em transferir calor e a capacidade de armazenar calor, e em situações em que a transferência de calor ocorre em regime transiente, a difusividade térmica dá uma medida de como a temperatura pode variar quando um material é submetido a uma situação de aquecimento ou resfriamento (LEWIS, 1993).

DINCER (1995) relatou que o significado físico da difusividade térmica está associado à difusão de calor dentro do produto durante as mudanças da temperatura com o tempo. Um elevado valor da difusividade térmica significa uma rápida transferência de calor dentro do produto e pouco tempo para o calor sair do corpo.

Uma das propriedades térmicas utilizadas nos cálculos de transferência de calor por condução é a difusividade térmica, que estabelece a velocidade com que o calor se difunde no alimento e a relação entre tempo e a temperatura (Equação 2.10).

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p} \quad (2.10)$$

em que:

α – difusividade térmica (m^2/s);

k – condutividade térmica ($W/m\ ^\circ C$);

ρ – massa específica (kg / m^3);

C_p – calor específico ($kJ/kg\ ^\circ C$).

Quando um processo de transferência ocorre em condição de regime transiente, a propriedade térmica que requer especial importância é a difusividade térmica (α), e este parâmetro permite, por uma parte, estabelecer-se a rapidez com que o calor se difunde em um material quando este é aquecido ou esfriado e, também, conhecer o grau de dependência que existe, para um local no produto, entre a temperatura e o tempo (GONÇALVES, 2000).

Utilizando condições de transferência de calor em regime transiente DICKERSON (1965) construiu um aparato experimental que requer apenas dados de tempo-temperatura que são necessários para os cálculos da difusividade térmica dos alimentos. Como a temperatura da amostra varia linearmente com o tempo, as dificuldades de satisfazer as condições de contorno são mínimas. Simultaneamente, a diferença de temperatura na qual

a amostra é aquecida, permite o cálculo da difusividade térmica a partir de um único experimento (TELIS, 1992).

De acordo com ARAÚJO (2001) nesta metodologia as condições necessárias são satisfeitas quando o termo geral $\frac{\partial T}{\partial t}$, na equação de transferência de calor, é constante (Eq. 2.11).

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

O aparelho de forma cilíndrica sugerido por DICKERSON (1965) permite a inserção dos termopares paralelos ao seu eixo ao longo de zonas de temperatura constante. Em coordenadas cilíndricas obtém-se a seguinte Equação 2.12:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = A = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} \right) \quad (2.12)$$

Considerando-se $\frac{\partial^2 T}{\partial Z^2}$ igual à zero, para um cilindro longo, isolado nas extremidades, e se não são permitidos gradiente de temperatura paralelos ao eixo dos cilindros. Então, devido à ausência de ΔT 's ao redor da circunferência, pode-se considerar que:

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

Logo:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = A = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) \quad (2.13)$$

Identificando a constante A, tem-se:

$$\frac{A}{\alpha} = \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) \quad (2.14)$$

A constante (A) é igual à velocidade de aquecimento em todos os pontos do cilindro. Como o gradiente da temperatura $\frac{\partial T}{\partial r}$ não é mais dependente do tempo, logo:

$$\frac{d^2 T}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dT}{dr} = \frac{A}{\alpha} \quad (2.15)$$

A solução será:

$$T = \frac{Ar^2}{4\alpha} + C_1 \ln(r) + C_2 \quad (2.16)$$

As condições de contorno a serem aplicadas na Equação 2.16, são:

$$T = A = T_s \quad (t > 0; r = 0) \quad (2.17)$$

$$\frac{dT}{dr} = 0 \quad (t > 0; r = 0) \quad (2.18)$$

o que conduz a:

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

Considerando $r = 0$, tem-se:

$$T_s - T_c = \frac{ARc^2}{4\alpha} \quad (2.20)$$

Portanto,

$$\alpha = \frac{ARc^2}{4(T_s - T_c)} \quad (2.21)$$

em que:

α – difusividade térmica (m²/s);

A – taxa constante de aquecimento (°C/s);

Rc – raio do cilindro (m);

Ts – temperatura na superfície do cilindro de raio R (°C);

Tc – temperatura no centro do cilindro (°C).

RIEDEL (1969) verificou que a difusividade térmica de alimentos é fortemente dependente do conteúdo de água (X_w). A expressão que representa essa dependência é a Equação 2.22:

$$\alpha = 0,088 \times 10^{-6} + (\alpha_w - 0,088 \times 10^{-6}) X_w \quad (2.22)$$

em que:

α - difusividade térmica (m²/s);

α_w - difusividade térmica da água (m²/s);

X_w - fração mássica da água (adimensional).

A Equação 2.23 foi proposta por TELIS-ROMERO et al. (1998), para o cálculo de difusividade térmica do suco de laranja.

$$\alpha = 7,9683 \cdot 10^{-8} + 5,9839 \cdot 10^{-8} \cdot X_w + 0,02510 \cdot 10^{-8} \cdot T \quad (2.23)$$

em que:

α - difusividade térmica experimental (m²/s);

X_w - fração mássica da água (adimensional);

T - temperatura (°C).

Segundo Martens (1980) citado por SINGH et al. (1982), os fatores que mais afetam a difusividade térmica dos vários alimentos são a temperatura e a umidade. O autor propôs uma equação de regressão elaborada com o auxílio de 246 valores publicados de difusividade térmica de alimentos, apresentando desvio padrão em torno de 0,014x10⁻⁷ m²/s. (Equação 2.24).

$$\alpha = [0,057363X_w + 0,000288(T + 273)] \times 10^{-6} \quad (2.24)$$

em que:

α - difusividade térmica (m²/s);

X_w - fração mássica da água (adimensional);

T - temperatura (°C).

VIEIRA (1996) utilizou o método de DICKERSON (1965) na determinação da difusividade térmica do suco de laranja, em diferentes concentrações, encontrando uma relação cúbica da difusividade térmica com a concentração (Equação 2.25).

$$\alpha = (1,4199 - 1,2637 \cdot 10^{-3} B + 5,5620 \cdot 10^{-5} B^2 - 1,4868 \cdot 10^{-6} B^3) \cdot 10^{-7} \quad (2.25)$$

em que:

α - difusividade térmica (m²/s);

B - concentração (°Brix).

2.5.4 - Condutividade térmica

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

Os valores numéricos da condutividade térmica podem variar de acordo com a composição química, estrutura física, estado, densidade, temperatura e teor de umidade do material.

De acordo PIETROBON et al. (1987), a condutividade térmica é um parâmetro fundamental em qualquer processo térmico, tanto no que diz respeito ao dimensionamento de equipamentos quanto a sua otimização e conservação de energia, bem como a caracterização de substâncias.

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

Os métodos de estado estacionário podem ser divididos em: método das placas paralelas, método do cilindro concêntrico e método da esfera concêntrica. Estes três métodos requerem uma solução de equações de transferência de calor para um regime de estado estacionário em coordenadas retangulares, cilíndricas e esféricas, respectivamente (PARK et al., 1996).

No método de estado estacionário, a temperatura constante é mantida em cada superfície da amostra teste. A razão constante de fluxo de calor, obtida após o equilíbrio, é medida para uma dada área seccional perpendicular ao fluxo e um gradiente de temperatura. Devido a sua simplicidade, este foi um dos primeiros métodos a serem utilizados para materiais biológicos (FREIRE, 1981).

No método de estado variável ou transiente, para determinar a condutividade térmica, utiliza-se de uma fonte linear de calor para gerar um fluxo de calor constante na amostra, a qual deverá estar inicialmente em equilíbrio térmico (MOHSENIN, 1980). Esse método apresenta algumas dificuldades como: medição da temperatura, localização dos termopares, transferência de calor convectiva em medições de propriedades térmicas de materiais granulares e controle da temperatura na amostra.

A equação fundamental da transferência de calor, ou lei de Fourier para regime permanente, unidirecional, é dada pela Equação 2.26.

$$q = -k \frac{dt}{dx} \quad (2.26)$$

em que:

q – massa específica 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.

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

A Equação 2.27 apresentada por Kolarov & Gromov citado por SWEAT (1994) foi desenvolvida para suco de frutas.

$$K = 0,140 + 0,42X_w \quad (2.27)$$

em que:

K – condutividade térmica (W/m°C);

X_w – fração mássica da água (adimensional).

TELIS-ROMERO et al. (1998) sugeriram a Equação 2.28 para a determinação da condutividade térmica do suco de laranja não clarificado.

$$K = 0,0797 + 0,5238 \cdot X_w + 0,000580 \cdot T \quad (2.28)$$

em que:

K – condutividade térmica experimental (W/m°C);

X_w – umidade (adimensional);

T – temperatura (°C).

3 - MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, no Campus I da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), no período de novembro de 2007 a março de 2008.

3.1 - Matérias-primas

Foram utilizados como matérias-primas frutos de umbu-cajá (*Spondias spp.*), colhidos na zona rural da cidade de Ararúna na região do Curimataú Paraibano, e maltodextrina (MOR-REX DE 1920) da Corn Products Brasil.

3.2 - Processamento do umbu-cajá

As etapas do processamento do umbu-cajá estão representadas no fluxograma da Figura 3.1.

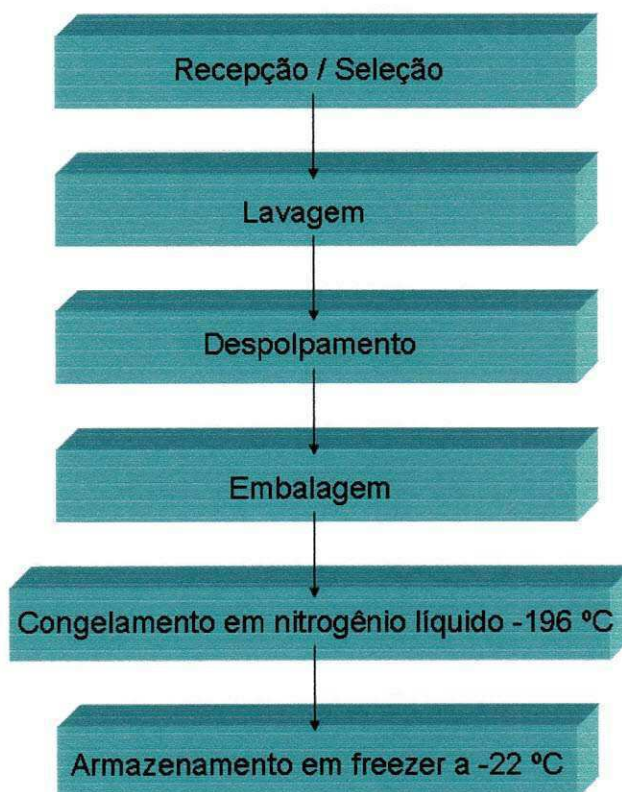


Figura 3.1 - Fluxograma do processamento da polpa de umbu-cajá

3.2.1 - Recepção e seleção

Os frutos maduros adquiridos no Curimataú Paraibano foram recebidos e selecionados manualmente, para que fossem eliminados os frutos danificados e materiais estranhos e para que fossem separados os frutos verdes dos maduros.

3.2.2 - Lavagem

Os frutos selecionados foram pré-lavados em água corrente com o objetivo de eliminar terra, sujeiras e resíduos aderidos. A seguir foram lavados por imersão em solução de hipoclorito de sódio com concentração de 50 ppm, durante 15 minutos, e posteriormente enxaguados em água corrente e colocados para drenar o excesso de água antes do despulpamento.

3.2.3 - Despulpamento

O despulpamento foi realizado em despulpadeira da marca Laboremus modelo DF – 200 capacidade de processamento de 400 kg/h. Os frutos foram desintegrados, separando-se a polpa das cascas e sementes, com o auxílio de uma peneira de malha de 2,5 mm. A seguir foi feito o refinamento da polpa utilizando-se uma peneira de malha de 1 mm de diâmetro.

3.2.4 - Embalagem

A polpa de umbu-cajá foi embalada em sacos de polietileno de baixa densidade, com capacidade para 500 g.

3.2.5 - Congelamento

Após a etapa de embalagem, as amostras foram imersas em nitrogênio líquido a – 196 °C, para obter-se um congelamento rápido.

3.2.6 - Armazenamento

O produto congelado foi armazenado em freezer a -22°C até o momento da utilização nos experimentos.

3.3 - Sólidos solúveis totais

O teor dos sólidos solúveis totais ($^{\circ}\text{Brix}$) foi determinado, através da leitura direta em refratômetro tipo Abbe, marca Atago.

3.4 - Sólidos totais e umidade

Os sólidos totais e a umidade da polpa de umbu-cajá foram determinados em estufa a 70°C até peso constante, seguindo-se as normas do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005).

3.5 - Propriedades termofísicas

3.5.1 - Massa específica

A massa específica da polpa de umbu-cajá com adição de diferentes concentrações de maltodextrina (0, 2,5; 5,0; 7,5; 10,0; 12,5 e 15%) foi determinada na temperatura de 30°C , sendo este ensaio realizado em quadruplicata, utilizando-se um picnômetro de 25 mL. O picnômetro com a amostra era colocado em um banho termostático até que atingisse a temperatura desejada. Depois era pesado em balança analítica com precisão de 0,0001g. O valor da massa específica (Equação 3.1) foi obtido através da razão entre a massa da amostra e o volume do picnômetro.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3.1)$$

em que:

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

m – massa do produto (kg)

V – volume do picnômetro (m^3)

Equações (Tabela 3.1) sugeridas por vários pesquisadores também foram utilizadas para estimar os dados da massa específica teórica da polpa de umbu-cajá.

Tabela 3.1 – Equações para cálculo da massa específica em alimentos

Produto	Equação	Referência
Polpa de cupuaçu	$\rho = 1035,3 - 0,07429T - 0,00643T^2$	ARAÚJO et al. (2002)
Polpa de açaí	$\rho = 108,65 - 0,4579X_w - 0,3867T$	PEREIRA et al. (2002)
Polpa de manga	$\rho = 1087 - 1,064T + 21,887 \times 10^{-3}T^2 - 26,160 \times 10^{-5}T^3$	ALVARADO & ROMERO (1989)
Alimentos em geral	$\rho = 1098 + 4,26X_s - 0,349(T + 273)$	CHOI & OKOS (1986)
Sucos de frutas em geral	$\rho = 1002 + 4,61B - 0,460T + 7,001 \times 10^{-3}T^2 - 9,175 \times 10^{-5}T^3$	ALVARADO & ROMERO (1989)
Suco de uva	$\rho = 0,74 + 0,43 \exp(0,01B) - 0,000555T$	BAYINDIRLI (1993)
Suco de pêssego	$\rho = 1006,56 - 0,5155T + 4,1951B + 0,0135B^2$	RAMOS & IBARZ (1998)

em que: ρ - densidade (kg/m^3); X_w - fração mássica da água (adimensional); T - temperatura ($^{\circ}\text{C}$); B.- Sólidos solúveis totais ($^{\circ}\text{Brix}$)

3.5.2 - Calor específico

O calor específico da polpa de umbu-cajá com adição de diferentes concentrações de maltodextrina (0, 2,5; 5,0; 7,5; 10,0; 12,5 e 15%) foram determinados, em triplicata, utilizando-se um calorímetro de mistura. Este equipamento consiste em uma garrafa térmica (frasco Dewar), com capacidade para 1.000 mL, envolvida em camada de 5 cm de isolante térmico (lã de vidro), inserida em uma carcaça de PVC. A garrafa era fechada com rolha de borracha, dotada de furo por onde era introduzida a haste de um termopar, com a

finalidade de observar a temperatura interna. A Figura 3.2 apresenta a foto do equipamento utilizado.

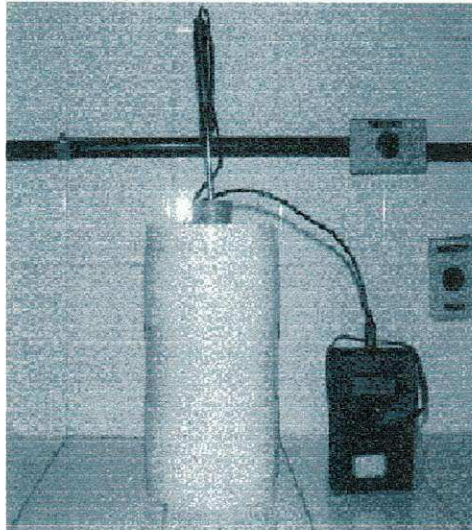


Figura 3.2 - Calorímetro de mistura

Inicialmente, foi realizada a estabilização da temperatura no interior do calorímetro, adicionando-se água a temperatura ambiente (aproximadamente 27°C). Em seguida, determinou-se a capacidade calorífica do calorímetro, onde se pesava uma massa de água ($m_1 = 400$ g) à temperatura ambiente de aproximadamente 30 °C (T_1). Logo após, foi adicionada uma massa de água resfriada ($m_2 = 400$ g) com uma temperatura de aproximadamente 15 °C (T_2). Agitava-se lentamente o calorímetro e se registrava a temperatura T_3 no equilíbrio. Para determinar a capacidade calorífica do calorímetro, utilizou-se o balanço de calor da Equação 3.2.

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

em que:

C_1 e C_2 - calor específico da água (cal/g°C);

m_1 – massa de água à temperatura ambiente (g);

m_2 – massa de água refrigerada (g);

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

Posteriormente, acrescentou-se uma massa de amostra (m_p) de aproximadamente 100 g a uma temperatura de aproximadamente 30 °C (T_4), agitava-se lentamente o

calorímetro e verificava-se a temperatura no equilíbrio (T_5) após 15 minutos. Na determinação do calor específico do produto, utilizou-se a Equação 3.3:

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

em que:

- m_p – massa do produto (g);
- C_p – calor específico do produto (cal/g°C);
- C_1 – calor específico da água (cal/g°C);
- m_3 – soma das massas m_1 e m_2
- T_4 – Temperatura inicial do produto (°C);
- T_5 – Temperatura de equilíbrio (°C).

Na determinação do calor específico teórico foram utilizadas as equações de diversos pesquisadores propostas na literatura (Tabela 3.2).

Tabela 3.2 – Equações para o cálculo do calor específico de alimentos

Produto	Equação	Fonte
Sucos de frutas	$C_p = 1,675 + 2,512X_w$	DICKERSON (1968)
Alimentos em geral	$C_p = 0,837 + 3,349X_w$	SIEBEL (1982)
Alimentos em geral	$C_p = 1,465 + 2,721X_w$	CHOI & OKOS (1986)
Suco de tamarindo	$C_p = 4,18 + (6,839 \cdot 10^{-5} - 0,0503) \cdot S$	MANOHAR et al. (1991)
Suco de laranja	$C_p = 4,1713 - 0,02779 \cdot B$	VIEIRA (1996)

em que: C_p – calor específico (kJ/kg°C); X_w – fração mássica da água (adimensional); S – Sólidos totais; T – temperatura(°C); B – Sólidos solúveis totais (°Brix).

3.5.3 - Difusividade térmica

A difusividade térmica da polpa de umbu-cajá foi determinada, em triplicata, de acordo com a metodologia proposta por DICKERSON (1965). O aparato (Figura 3.3) utilizado consistia em um cilindro metálico com 2,45 cm de raio interno e 23,0 cm de comprimento interno útil, com rolhas de nylon nas extremidades para vedação. O cilindro tinha dois termopares, um soldado na superfície externa e o outro o centro inserido através

do centro de uma das rolas, de modo a medir a temperatura no centro radial e em posição equidistante das extremidades.

O cilindro foi preenchido com a polpa de umbu-cajá, adicionada de ágar para evitar a convecção natural; a seguir mergulhava-se o aparato no banho termostático, onde era aquecido até a temperatura de 60 °C, registrando-se as temperaturas na superfície e no centro do cilindro, em intervalos de 1 minuto.

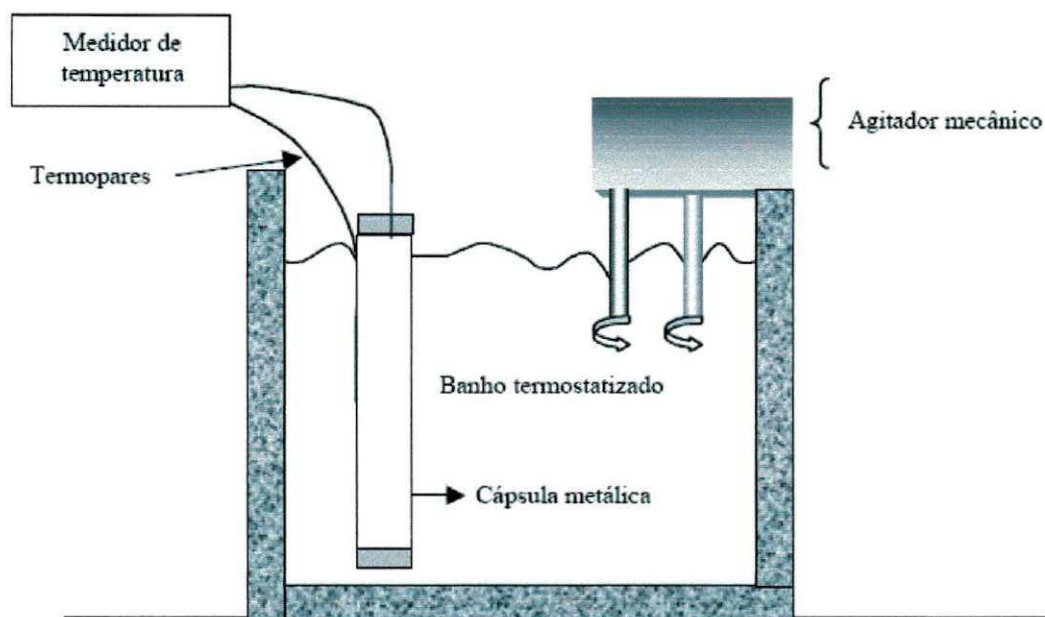


Figura 3.3 – Esquema utilizado para a determinação da difusividade térmica

Para os cálculos da difusividade térmica da polpa de umbu-cajá utilizou-se a Equação 3.4.

$$\alpha = \frac{ARc^2}{4(T_s - T_c)} \quad (3.4)$$

em que:

α – difusividade térmica (m²/s);

A – taxa constante de aquecimento (°C/s);

Rc – raio do cilindro (m);

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

T_c – temperatura no centro do cilindro (°C).

Para se obter os valores da constante da velocidade de aquecimento (A) e (Ts-Tc), utilizou-se o gráfico de temperatura (Ts e Tc) versus tempo, construído com os dados experimentais. A constante da velocidade de aquecimento (A) do banho foi obtida através do coeficiente angular da reta representada no gráfico temperatura (Ts) versus tempo e a diferença (Ts-Tc) foi obtida quando as curvas (Ts) e (Tc) se tornaram paralelas entre si, o que acontece quando (Equação 3.5):

$$|(T_s - T_c)_i - (T_s - T_c)_{i+1}| \leq 0,1^\circ C \quad (3.5)$$

As equações de regressão linear da temperatura T_s em função do tempo foram feitas com o auxílio do programa Origin.

A difusividade térmica das amostras também foi estimada por meio de equações teóricas, apresentadas na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Equações utilizadas no cálculo da difusividade térmica de produtos alimentícios

Produto	Equação	Refer.
Alimentos em geral	$\alpha = 0,088 \cdot 10^{-6} + (\alpha_w - 0,088 \cdot 10^{-6})X_w$	RIEDEL (1969)
Alimentos em geral	$\alpha = [0,057363X_w + 0,000288(T + 273)] \times 10^{-6}$	SINGH (1982)
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)
Suco de Laranja	$\alpha = (1,4199 - 1,2637 \cdot 10^{-3}B + 5,5620 \cdot 10^{-5}B^2 - 1,4868 \cdot 10^{-6}B^3) \cdot 10^{-7}$	VIEIRA (1996)

em que: α - difusividade térmica (m^2/s); T - temperatura (K; $^\circ C$); α_w - difusividade térmica da água (m^2/s); X_w - fração mássica da água (adimensional); B - Sólidos solúveis totais ($^\circ Brix$).

3.5.4 - Condutividade térmica

A condutividade térmica da polpa de umbu-cajá foi determinada através da relação entre a difusividade térmica (α), o calor específico (C_p) e a massa específica (ρ), expressa através da Equação 3.6:

$$K = \alpha\rho C_p \quad (3.6)$$

em que:

K – condutividade térmica (W/m°C);

α – difusividade térmica (m²/s);

ρ – massa específica (m³);

C_p – calor específico (kg/°.C)

Para estimativa da condutividade térmica teórica da polpa de umbu-cajá com adição de diferentes concentrações de maltodextrina (0, 2,5; 5,0; 7,5; 10,0; 12,5 e 15%) foram utilizadas as equações teóricas apresentadas na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Equações para cálculo da condutividade térmica em alimentos

Produto	Equação	Referência
Sucos de frutas	$K = 0,140 + 0,42X_w$	SWEAT (1994)
Suco de laranja	$K = 0,0797 + 0,5238 \cdot X_w + 0,000580 \cdot T$	TELIS-ROMERO et al. (1998)

em que: K – condutividade térmica experimental (W/m°C); X_w – umidade (adimensional); T – temperatura (°C).

3.6 - Análise estatística

A análise estatística dos sólidos solúveis totais, sólidos totais, umidade, massa específica e calor específico foi feita utilizando-se o programa ASSISTAT (SILVA & AZEVEDO, 2002). Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, com comparação entre médias pelo teste de Tukey. Também foi realizada a regressão na análise de variância para representar o comportamento do umbu-cajá em função de sua concentração.

3.7 - Erro percentual

Utilizou-se com critério para a determinação da equação que melhor estima os dados experimentais o erro percentual, calculado pela Equação 3.7.

$$E = \left| \frac{V_{cal} - V_{exp}}{V_{exp}} \right| \times 100 \quad (3.7)$$

em que:

V_{exp} – valor experimental

V_{cal} – valor calculado

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Sólidos solúveis totais (°Brix)

Na Tabela 4.1 são apresentados os valores experimentais das repetições, os desvios padrões e os coeficientes de variação dos sólidos solúveis totais (°Brix) para a polpa de umbu-cajá integral, e para a polpa de umbu-cajá com adição de diferentes concentrações de maltodextrina (2,5; 5,0; 7,5; 10 e 12,5%). Verifica-se que em todas as amostras os coeficientes de variação foram menores que 1,5%, indicando que a precisão das medidas experimentais foi satisfatória.

Tabela 4.1 - Sólidos solúveis totais (°Brix) da polpa de umbu-cajá integral e com adição de diferentes concentrações de maltodextrina

Concentração de maltodextrina (%)	R ₁	R ₂	R ₃	Média	Desvio Padrão	CV (%)
0	11,30	11,50	11,50	11,43	0,12	1,01
2,5	13,25	13,25	13,25	13,25	0,00	0,00
5,0	15,00	15,00	15,00	15,00	0,00	0,00
7,5	17,50	17,25	17,25	17,33	0,14	0,83
10,0	19,25	19,00	19,25	19,17	0,14	0,75
12,5	21,00	21,00	21,00	21,00	0,00	0,00
15,0	23,25	23,00	23,25	23,17	0,14	0,62

CV - Coeficiente de variação

Na Tabela 4.2 tem-se o resultado da análise de variância referente aos valores dos sólidos solúveis totais da polpa de umbu-cajá para as diferentes concentrações de maltodextrina. Observa-se na análise de variância que houve efeito significativo da concentração a 1% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 4.2 - Análise de variância dos valores médios dos sólidos solúveis totais (°Brix) da polpa de umbu-cajá em função da concentração de maltodextrina

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Concentração	6	322,8698	53,8116	4967,2271 **
Resíduo	14	0,1517	0,0108	
Total	20	323,0214		

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

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

Na Tabela 4.3 são apresentados os valores médios dos sólidos solúveis totais da polpa de umbu-cajá com diferentes concentrações de maltodextrina. Constata-se que existe diferença significativa entre todos os valores médios dos sólidos solúveis totais de acordo com o teste de Tukey, a 5% de probabilidade, e que o aumento da concentração de maltodextrina resultou no aumento do teor de sólidos solúveis totais. Esse aumento foi de 102,71% na amostra de umbu-cajá com adição de 15% de maltodextrina em relação à amostra de umbu-cajá integral (0% de maltodextrina).

Para a polpa de umbu-cajá integral obteve-se o valor dos sólidos solúveis totais de 11,43 °Brix, sendo semelhante ao determinado por LIMA et al. (2002) para a polpa de umbu-cajá congelada produzida a partir de frutos no estágio de maturação totalmente amarelo que foi de 11,25 °Brix; dentro da faixa para umbu-cajá determinada por NORONHA et al. (2000) com valores entre 11,04 e 12,88 °Brix; e inferior ao encontrado por COSTA (1998) para o fruto do cajá que foi de 12,5 °Brix.

Tabela 4.3 - Valores médios dos sólidos solúveis totais (°Brix) da polpa de umbu-cajá em função da concentração

Concentração de maltodextrina (%)	Sólidos solúveis totais (°Brix)
0,0	11,43 g
2,5	13,25 f
5,0	15,00 e
7,5	17,33 d
10,0	19,17 c
12,5	21,00 b
15,0	23,17 a

DMS = 0,29; CV (%) = 0,61; MG = 17,19 °Brix

DMS: Desvio mínimo significativo; MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Na Tabela 4.4 tem-se a análise de variância dos dados da regressão polinomial dos sólidos solúveis totais em função da concentração. Verifica-se que a equação de regressão linear é significativa a 1% de probabilidade pelo teste F, as equações de 4° e 5° graus são significativas a 5% de probabilidade e as equações quadrática e cúbica não foram significativas.

Tabela 4.4 - Análise de variância da regressão polinomial dos valores dos sólidos solúveis totais (°Brix) da polpa de umbu-cajá em função da concentração de maltodextrina.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão linear	1	322,5376	322,5376	29772,7033 **
Regressão quadrática	1	0,0486	0,0486	4,4872 ns
Regressão cúbica	1	0,0168	0,0168	1,5513 ns
Regressão de 4° grau	1	0,0957	0,0957	8,8357 *
Regressão de 5° grau	1	0,0877	0,0877	8,0916 *
Concentrações	6	322,8698	53,8116	4967,2271
Resíduo	14	0,1517	0,0108	
Total	20	323,0214		

** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade; ns - não significativo

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

Na Tabela 4.5 são apresentadas às equações de regressão linear, de 4º e 5º grau para o cálculo dos sólidos solúveis totais da polpa de umbu-cajá em função da concentração de maltodextrina. Verifica-se que as equações propostas resultaram em excelentes ajustes apresentando coeficientes de determinação superiores a 0,99, podendo-se utilizar qualquer uma na estimativa dos sólidos solúveis totais da polpa de umbu-cajá.

Tabela 4.5 - Equações de regressão propostas para o cálculo dos sólidos solúveis totais (°Brix) da polpa de umbu-cajá em função da concentração de maltodextrina.

Equação	R ²
$SST = 11,314286 + 0,783809C$ **	0,9990
$SST = 11,457467 + 0,539887C + 0,069242C^2 - 0,006774C^3 + 0,000215C^4$ *	0,9995
$SST = 11,438817 + 0,840040C - 0,103091C^2 + 0,025951C^3 - 0,002292C^4 + 0,000067C^5$ *0,9997	

SST – sólidos solúveis totais (°Brix); C – concentração de maltodextrina (%); ** - significativo a 1% de probabilidade (p-valor < 0,01); * - significativo a 5% de probabilidade (p-valor < 0,05).

Na Figura 4.1 têm-se representado graficamente o teor dos sólidos solúveis totais em função da concentração de maltodextrina, ajustados por equação linear. Observa-se que com o aumento da concentração ocorre um aumento dos sólidos solúveis totais, com coeficiente de determinação (R²) igual a 0,99.

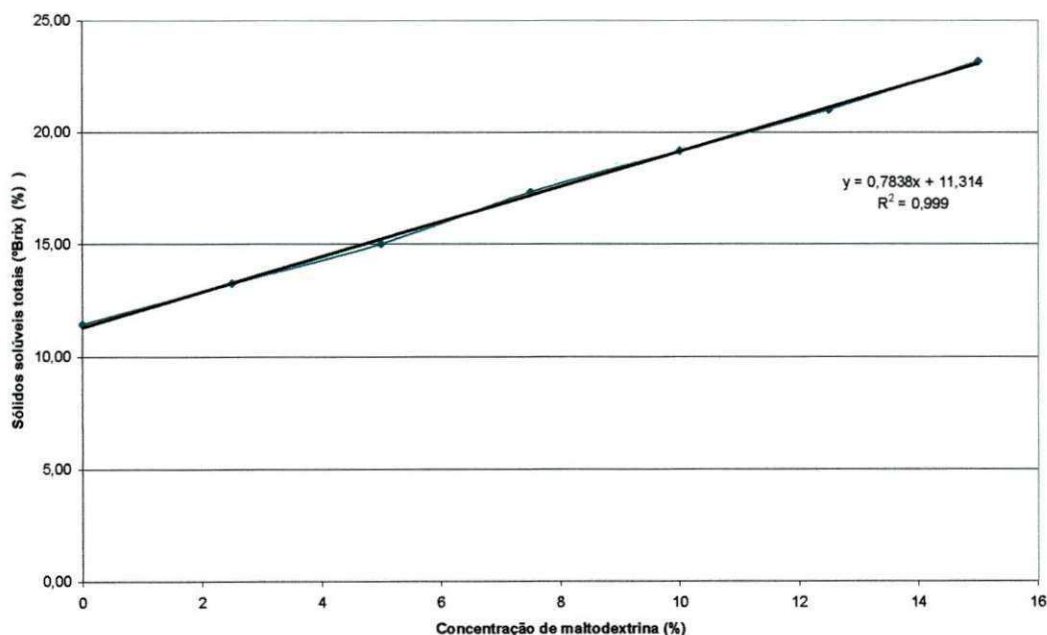


Figura 4.1 - Sólidos solúveis totais (°Brix) da polpa de umbu-cajá em função da concentração de maltodextrina (%)

4.2 - Sólidos totais

Na Tabela 4.6 são apresentados os valores experimentais das repetições dos sólidos totais da polpa de umbu-cajá em função da concentração de maltodextrina com os valores médios, desvios padrão e coeficientes de variação (CV). Os coeficientes de variação (CV) obtidos foram inferiores a 10%, valor considerado baixo e de alta precisão experimental (STORCK et al., 2000).

Tabela 4.6 - Sólidos totais (%) da polpa de umbu-cajá com adição de diferentes concentrações de maltodextrina

Concentração de maltodextrina (%)	R ₁	R ₂	R ₃	Média	Desvio Padrão	CV (%)
0	14,19	13,84	14,31	14,11	0,25	1,74
2,5	17,52	17,25	17,30	17,36	0,14	0,82
5	18,94	19,27	19,25	19,15	0,18	0,94
7,5	20,23	20,34	20,71	20,42	0,25	1,22
10	22,62	23,07	22,90	22,86	0,22	0,98
12,5	24,50	24,37	24,19	24,35	0,16	0,64
15	25,19	25,34	25,24	25,26	0,08	0,31

CV: Coeficiente de variação

Na Tabela 4.7 tem-se o resultado da análise de variância referente aos valores dos sólidos totais da polpa de umbu-cajá para as diferentes concentrações de maltodextrina. Observa-se na análise de variância que houve efeito significativo da concentração de maltodextrina a 1% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 4.7 - Análise de variância dos valores médios dos sólidos totais da polpa de umbu-cajá em função da concentração

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Concentração	6	286,6539	47,7756	1303,1568 **
Resíduo	14	0,5133	0,0367	
Total	20	287,1671		

** significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

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

Na Tabela 4.8 são apresentados os valores médios dos sólidos totais da polpa de umbu-cajá em diferentes concentrações de maltodextrina. De acordo com a análise estatística verifica-se que os valores médios dos sólidos totais diferem estatisticamente entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Os sólidos totais aumentaram com o aumento da concentração de maltodextrina, apresentando na menor concentração (0%) um valor de 14,1140% e para a maior concentração (15% de maltodextrina) um valor de 25,2584%, representando um aumento de 78,96%. O teor de sólidos totais da polpa de umbu-cajá integral (0% de maltodextrina) foi superior ao determinado por SILVA (2003) também para a polpa de umbu-cajá integral de 10,71%. Esta diferença pode ser atribuída ao estágio de maturação dos frutos utilizados para a produção das polpas, o tipo de processamento utilizado, as condições de solo e clima em que os frutos foram produzidos, dentre outros fatores.

Tabela 4.8 - Valores médios dos sólidos totais da polpa de umbu-cajá com adição de diferentes concentrações de maltodextrina

Concentração de maltodextrina (%)	Sólidos totais (%)
0,0	14,1140 g
2,5	17,3559 f
5,0	19,1523 e
7,5	20,4236 d
10,0	22,8633 c
12,5	24,3516 b
15,0	25,2584 a

DMS = 0,5339; CV (%) = 0,93; MG = 20,5027 (%)

DMS: Desvio mínimo significativo; MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Na Tabela 4.9 tem-se a análise de variância dos dados da regressão polinomial dos sólidos totais em função da concentração de maltodextrina. Verifica-se que as equações de regressão linear, quadrática e de 4º grau foram significativas a 1% de probabilidade pelo teste F, e as equações cúbica e de 5º grau não foram significativas.

Tabela 4.9 - Análise de variância da regressão polinomial dos valores médios dos sólidos totais da polpa de umbu-cajá em função da adição de diferentes concentrações de maltodextrina

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão linear	1	280,1635	280,1635	7641,9067 **
Regressão quadrática	1	4,2275	4,2275	115,3111**
Regressão cúbica	1	0,0958	0,0958	2,6120 ns
Regressão de 4º grau	1	1,6768	1,6768	45,7387 **
Regressão de 5º grau	1	0,1052	0,1052	2,8707 ns
Concentrações	6	286,6539	47,7756	1303,1568
Resíduo	14	0,5133	0,0367	
Total	20	287,1671		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; ns - não significativo

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

Na Tabela 4.10 são apresentadas às equações de regressão linear, quadrática e de 4º grau para o cálculo dos sólidos totais da polpa de umbu-cajá em função da concentração de maltodextrina. Verifica-se que as equações propostas resultaram em excelentes ajustes apresentando coeficientes de determinação superiores a 0,97, podendo-se utilizar-se qualquer uma na estimativa dos sólidos totais da polpa de umbu-cajá.

Tabela 4.10 - Equações de regressão propostas para o cálculo dos sólidos totais da polpa de umbu-cajá em função da concentração de maltodextrina

Equação	R ²
$ST = 15,023899 + 0,730510C$ **	0,977
$ST = 14,376294 + 1,041360C - 0,020723C^2$ **	0,992
$ST = 14,122618 + 1,849511C - 0,288047C^2 + 0,0277681C^3 - 0,000899C^4$ **	0,998

ST - sólidos totais (%); C - concentração de maltodextrina (%); ** - significativo a 1% de probabilidade (p-valor < 0,01).

4.3 - Umidade

Na Tabela 4.11 são apresentados os valores experimentais das repetições da umidade da polpa de umbu-cajá em função da concentração de maltodextrina com os valores médios, desvios padrão e coeficientes de variação (CV). Os coeficientes de variação (CV) obtidos foram inferiores a 10%, considerados baixos e de alta precisão experimental (STORCK et al., 2000). O aumento da concentração de maltodextrina resultou na diminuição do valor da umidade. Essa diminuição ocorre em razão do aumento na quantidade de sólidos totais apresentada pelas amostras com o acréscimo de maltodextrina, essa diminuição foi de 12,98% na amostra de umbu-cajá com adição de 15% de maltodextrina em relação à polpa de umbu-cajá integral. Nota-se que o valor experimental encontrado para a umidade da polpa de umbu-cajá para uma concentração de sólidos solúveis totais de 11,43 °Brix foi de 85,89%, sendo inferior ao valor determinado por TORRES et al. (2003) que ao trabalharem com umbu-cajá encontraram um valor experimental de umidade de 91,54% para a polpa com concentração de 9 °Brix.

Tabela 4.11 - Umidade da polpa de umbu-cajá com adição de diferentes concentrações de maltodextrina

Concentração de maltodextrina (%)	R ₁	R ₂	R ₃	Média	Desvio Padrão	CV (%)
0	85,81	86,16	85,69	85,89	0,25	0,29
2,5	82,48	82,75	82,70	82,64	0,14	0,17
5	81,06	80,73	80,75	80,85	0,18	0,22
7,5	79,77	79,66	79,29	79,58	0,25	0,31
10	77,38	76,93	77,10	77,14	0,22	0,29
12,5	75,50	75,63	75,81	75,65	0,16	0,21
15	74,81	74,66	74,76	74,74	0,08	0,11

CV: Coeficiente de variação

Na Tabela 4.12 tem-se o resultado da análise de variância referente aos valores da umidade da polpa de umbu-cajá para as diferentes concentrações de maltodextrina. Observa-se que houve efeito significativo da concentração de maltodextrina a 1% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 4.12 - Análise de variância dos valores médios da umidade da polpa de umbu-cajá em função da concentração

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Concentração	6	286,6539	47.7756	1303,1568 **
Resíduo	14	0,5133	0,0367	
Total	20	287,1671		

** significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

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

Na Tabela 4.13 são apresentados os valores médios da umidade da polpa de umbu-cajá em diferentes concentrações de maltodextrina. De acordo com a análise estatística verifica-se que os valores de umidade diferem estatisticamente entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Os valores obtidos de umidade diminuíram com o aumento da concentração de maltodextrina, apresentando na menor concentração (0%) um valor de 85,8860% e na maior concentração (15%) um valor de 74,7416%, significando que houve um decréscimo de 12,98% no teor de umidade entre estas amostras. A umidade da polpa de umbu-cajá integral (0% de maltodextrina) foi superior ao valor determinado por CAVALCANTE (1991) de 80,70%.

Tabela 4.13 - Valores médios da umidade da polpa de umbu-cajá, em função da concentração

Concentração de maltodextrina (%)	Umidade (%)
0,0	85,8860 a
2,5	82,6441 b
5,0	80,8477 c
7,5	79,5764 d
10,0	77,1367 e
12,5	75,6484 f
15,0	74,7416 g

DMS = 0,5339; CV (%) = 0,24; MG = 79,49728%

DMS: Desvio mínimo significativo; MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Na Tabela 4.14 tem-se a análise de variância dos dados da regressão polinomial da umidade em função da concentração de maltodextrina. Verifica-se que as equações de regressão linear, quadrática e de 4º grau foram significativas a 1% de probabilidade pelo teste F, e as equações cúbica e de 5º grau não foram significativas.

Tabela 4.14 - Análise de variância da regressão polinomial dos valores da umidade da polpa de umbu-cajá em função da concentração de maltodextrina

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão linear	1	280,1635	280,1635	7641,9067 **
Regressão quadrática	1	4,2275	4,2275	115,3111**
Regressão cúbica	1	0,0958	0,0958	2,6120 ns
Regressão de 4º grau	1	1,6768	1,6768	45,7387 **
Regressão de 5º grau	1	0,1052	0,1052	2,8707 ns
Concentrações	6	286,65388	47,77565	1303,1568
Resíduo	14	0,51326	0,03666	
Total	20	287,1671		

** significativo a 1% de probabilidade; ns - não significativo; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste

Na Tabela 4.15 são apresentadas às equações linear, quadrática e de 4º grau para o cálculo da umidade da polpa de umbu-cajá em função da concentração de maltodextrina. Verifica-se que as equações propostas resultaram em excelentes ajustes apresentando coeficientes de determinação superiores a 0,97, podendo-se utilizar-se qualquer uma na estimativa da umidade da polpa de umbu-cajá.

Tabela 4.15 - Equações de regressão propostas para o cálculo da umidade da polpa de umbu-cajá em função da concentração de maltodextrina

Equação**	R ²
$U = 84,976101 - 0,730510C$	0,977
$U = 85,623706 - 1,041360C + 0,020723C^2$	0,992
$U = 85,877382 - 1,849511X + 0,288047X^2 - 0,0277681X^3 + 0,000899X^4$	0,998

U - umidade (%); X - concentração de maltodextrina (%); ** - significativo a 1% de probabilidade (p-valor < 0,01).

4.4 - Propriedades termofísicas

4.4.1 - Massa específica

A Tabela 4.16 apresenta os valores das repetições, as médias, os desvios padrões e os coeficientes de determinação obtidos para a massa específica da polpa de umbu-cajá com diferentes concentrações de maltodextrina. Os valores dos coeficientes de variação para os dados de massa específica encontram-se todos abaixo de 1%, indicando uma excelente precisão experimental. De acordo com GOMES (1987), o coeficiente de variação dá uma idéia da precisão dos resultados experimentais e são considerados baixos, quando inferiores a 10%.

Tabela 4.16 - Massa específica do umbu-cajá com adição de diferentes concentrações de maltodextrina

Concentração de maltodextrina (%)	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	Média	Desvio Padrão	CV (%)
0	1029,62	1030,62	1032,04	1028,09	1030,09	1,66	0,16
2,5	1034,01	1037,15	1037,46	1034,88	1035,87	1,69	0,16
5	1046,23	1044,94	1045,35	1046,95	1045,87	0,90	0,09
7,5	1057,24	1061,05	1057,72	1063,71	1059,93	3,03	0,29
10	1061,76	1066,70	1064,40	1065,80	1064,66	2,16	0,20
12,5	1066,28	1064,37	1069,80	1069,90	1067,59	2,73	0,26
15	1072,10	1075,40	1070,60	1074,90	1073,25	2,29	0,21

CV: Coeficiente de variação

Na Figura 4.2 estão representados graficamente os valores da massa específica da polpa de umbu-cajá em função da concentração de maltodextrina com ajuste por equação linear ($R^2 = 0,9583$). Verifica-se que com o aumento da concentração de maltodextrina ocorreu um aumento da massa específica.

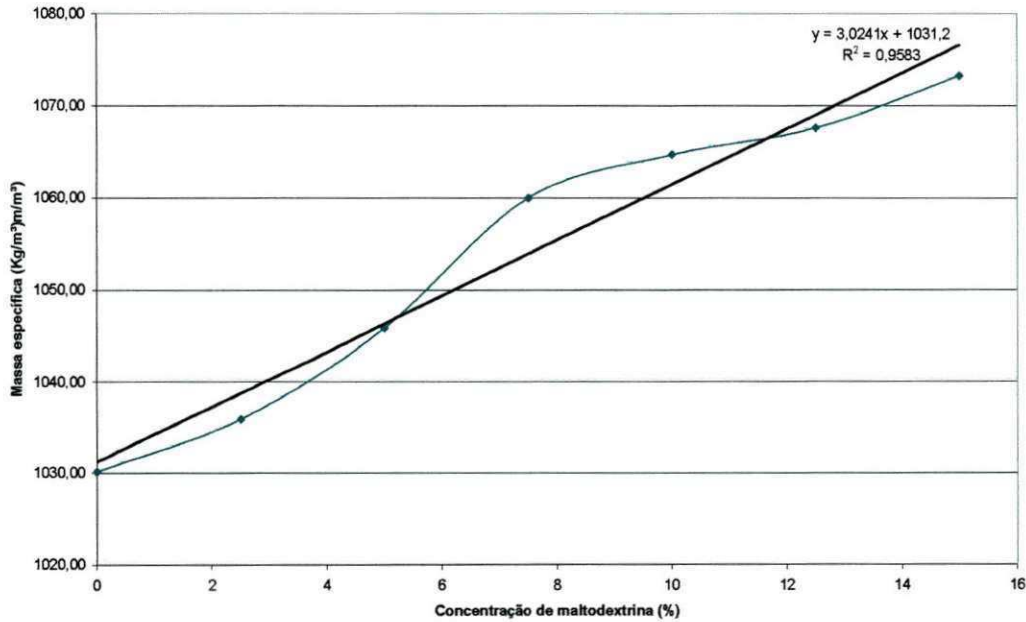


Figura 4.2 – Valores médios da massa específica da polpa de umbu-cajá em função da concentração de maltodextrina com ajuste por equação linear

Na Tabela 4.17 tem-se o resultado da análise de variância referente aos valores da massa específica da polpa de umbu-cajá para as diferentes concentrações de maltodextrina. Observa-se que houve efeito significativo da concentração a 1% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 4.17 - Análise de variância dos valores médios da massa específica da polpa de umbu-cajá em função da concentração

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Concentração	6	6680,9395	1113,4899	236,3428 **
Resíduo	21	98,9380	4,7113	
Total	27	6779,8775		

** significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

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

Têm-se, na Tabela 4.18 os valores médios da massa específica da polpa de umbu-cajá com adição de concentrações de maltodextrina variando de 0 a 15%. De acordo com a análise estatística verifica-se que os valores da massa específica diferem estatisticamente entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, exceto entre as amostras com as

concentrações de 10 e 12,5% de maltodextrina, e entre as médias com 7,5 e 10% de maltodextrina. Os valores obtidos da massa específica apresentaram tendência de aumento com o aumento da concentração de maltodextrina. Na menor concentração (0%) a massa específica foi de 1.030,093 kg/m³ e na maior concentração (15%) o valor foi de 1.073,250 kg/m³, significando que entre estes extremos o aumento foi de 4,19%. ARAÚJO et al. (2002) ao determinarem a massa específica da polpa de cupuaçu integral nas temperaturas entre 10 e 50 °C encontraram valores variando entre 1.034,3 e 1.015,3 kg/m³.

Tabela 4.18 - Valores médios da massa específica, a 30 °C, da polpa de umbu-cajá com adição de diferentes concentrações de maltodextrina

Concentração de maltodextrina (%)	Massa específica (kg/m ³)
0,0	1030,0930 f
2,5	1035,8750 e
5,0	1045,8680 d
7,5	1059,9300 c
10,0	1064,6650 bc
12,5	1067,5880 b
15,0	1073,2500 a

DMS = 4.9892; CV (%) = 0,21; MG = 1053,89536

DMS: Desvio mínimo significativo; MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Na Tabela 4.19 tem-se a análise de variância da regressão polinomial da massa específica da polpa de umbu-cajá em função da concentração de maltodextrina. Verifica-se que as equações de regressão linear, quadrática e de 4º grau foram significativas a 1% de probabilidade pelo teste F, a equação de regressão cúbica foi significativa a 5% e probabilidade, e a equação de 5º grau não foi significativa.

Tabela 4.19 - Análise de variância da regressão polinomial dos valores da massa específica da polpa de umbu-cajá em função da adição de diferentes concentrações de maltodextrina

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão linear	1	6402,1104	6402,1104	1358,8741 **
Regressão quadrática	1	141,9860	141,9860	30,1371 **
Regressão cúbica	1	36,0395	36,0395	7,6495*
Regressão de 4º grau	1	81,1712	81,1712	17,2289**
Regressão de 5º grau	1	5,0470	5,0470	1,0712 ns
Concentrações	6	6680,935	1113,4899	236,3428
Resíduo	21	98,9380	4,7113	
Total	27	6779,8775		

** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade; ns - não significativo

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

Na Tabela 4.20 são apresentadas as equações linear, quadrática e de 4º grau para o cálculo da massa específica da polpa de umbu-cajá em função da concentração de maltodextrina. Verifica-se que as equações propostas resultaram em excelentes ajustes apresentando coeficientes de determinação superiores a 0,95, podendo-se utilizar-se qualquer uma na estimativa da massa específica da polpa de umbu-cajá nas sete concentrações utilizadas. CEPEDA & VILLARÁN (1999) ao trabalharem com suco de *Malus floribunda* sugeriram uma equação linear para representar a densidade em função da concentração obtendo coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,9949.

Tabela 4.20 - Equações de regressão propostas para o cálculo da massa específica da polpa de umbu-cajá em função da concentração de maltodextrina para a temperatura de 30°C

Equação**	R^2
$\rho = 1031.21375 + 3.024214C$	0,958
$\rho = 1027.963452 + 4.584357C - 0.104009C^2$	0,979
$\rho = 1030.277879 - 1.332970C + 1.695344C^2 - 0.175697C^3 + 5.420848 \times 10^{-3}C^4$	0,997

ρ - densidade (kg/m^3); C - concentração de maltodextrina (%); ** - significativo a 1% de probabilidade (p-valor < 0,01).

Na Tabela 4.21 têm-se os valores da massa específica para a polpa de umbu-cajá calculada por equações de diferentes autores. Verifica-se que todos os erros percentuais calculados a partir das diferentes equações foram inferiores a 10%, exceto com a equação de BAYINDIRLI (1993), sendo consideradas satisfatórias podendo ser usadas na estimativa da massa específica da polpa de umbu-cajá com diferentes concentrações de maltodextrina. Também se observa que não houve uma única equação que apresentasse os menores erros percentuais para as amostras em todas as concentrações de maltodextrina. Constata-se que os valores da massa específica para todas as concentrações de maltodextrina foram iguais quando calculadas com as equações de ARAÚJO et al. (2002) e ALVARADO & ROMERO (1989a), em razão destas equações serem apenas função da temperatura.

Tabela 4.21 - Valores teóricos da massa específica (kg/m^3) calculados com diferentes equações para a polpa de umbu-cajá com diferentes concentrações de maltodextrina e os erros percentuais

Equação	Concentração (%)						
	0	2,5	5,0	7,5	10	12,5	15
Araújo et al. (2002)	1027,28	1027,28	1027,28	1027,28	1027,28	1027,28	1027,28
Erro (%)	0,27	0,83	1,78	3,08	3,51	3,78	4,28
Pereira et al. (2002)	1056,51	1056,52	1056,53	1056,53	1056,55	1056,55	1056,56
Erro (%)	2,56	1,99	1,02	0,32	0,76	1,03	1,56
Alvarado & Romero (1989)	1067,72	1067,72	1067,72	1067,72	1067,72	1067,72	1067,72
Erro (%)	3,65	3,07	2,09	0,73	0,29	0,01	-0,52
Choi & Okos (1986)	992,85	992,99	993,07	993,12	993,23	993,29	993,33
Erro (%)	3,62	4,14	5,05	6,30	6,71	6,96	7,45
Alvarado & Romero (1989)	1044,73	1053,11	1061,17	1071,93	1080,38	1088,83	1098,82
Erro (%)	1,42	1,66	1,46	1,13	1,48	1,99	2,38
Bayindirli (1993)	1205,43	1214,27	1222,94	1234,73	1244,19	1253,83	1265,45
Erro (%)	17,34	18,20	19,05	20,19	21,11	22,05	23,18
Ramos & Ibarz (1998)	1040,82	1049,05	1057,06	1067,87	1076,46	1085,15	1095,53
Erro (%)	1,48	0,71	0,05	1,07	1,88	2,71	3,69

4.4.2 - Calor específico

Na Tabela 4.22 têm-se os valores experimentais das repetições, as médias e os coeficientes de variação obtidos para calor específico da polpa de umbu-cajá com diferentes concentrações de maltodextrina. Verifica-se que os coeficientes de variação (CV) foram menores do que 10%, sendo considerado, de acordo com a classificação de STORCK et al. (2000), como baixo e que o experimento foi de alta precisão.

Tabela 4.22 - Calor específico (kJ/kg °C) da polpa de umbu-cajá com adição de diferentes concentrações de maltodextrina

Concentração de maltodextrina (%)	R ₁	R ₂	R ₃	Média	Desvio Padrão	CV (%)
0	4,22	4,27	3,77	4,09	0,28	6,75
2,5	3,83	3,54	3,63	3,67	0,14	3,94
5	3,50	3,62	3,56	3,56	0,06	1,65
7,5	3,78	3,55	3,53	3,62	0,14	3,85
10	3,44	3,61	3,59	3,55	0,09	2,63
12,5	3,16	3,20	3,19	3,18	0,02	0,60
15	3,05	3,07	3,04	3,05	0,01	0,48

CV: Coeficiente de variação

Na Tabela 4.23 tem-se o resultado da análise de variância referente aos valores do calor específico da polpa de umbu-cajá para as diferentes concentrações de maltodextrina. Observa-se que houve efeito significativo da concentração de maltodextrina a 1% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 4.23 - Análise de variância dos valores médios do calor específico da polpa de umbu-cajá em função da concentração

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Concentração	6	2,0530	0,3422	18,5551 **
Resíduo	14	0,2582	00,0184	
Total	20	2,3112		

** significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$); G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste

De acordo com os dados apresentados na Tabela 4.24, nota-se que o calor específico das amostras de umbu-cajá apresentou uma tendência de diminuição com o aumento da concentração de maltodextrina. O maior valor do calor específico foi determinado para a polpa integral (0% de maltodextrina) e o menor para a amostra com o 15% de maltodextrina, resultando entre estas amostras uma diminuição de 25,28%. Verifica-se que o calor específico da polpa integral de umbu-cajá (0% de maltodextrina) difere estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey dos demais valores. Não existe diferença significativa entre as médias do calor específico entre as amostras com 2,5 até 10% de maltodextrina, como também entre as amostras com 12,5 e 15% de maltodextrina.

O calor específico da polpa de umbu-cajá integral foi superior ao obtido por ALVARADO (1994) de 2,962 kJ/kg °C para polpa de banana. Todas as amostras avaliadas apresentaram valores de calor específico superiores ao do suco de laranja determinado por.

Tabela 4.24 - Valores médios do calor específico da polpa de umbu-cajá com diferentes concentrações de maltodextrina

Concentração (%)	Calor específico (kJ/kg °C)
0,0	4,0869 a
2,5	3,6658 b
5,0	3,5607 bc
7,5	3,6199 b
10,0	3,5500 bc
12,5	3,1842 cd
15,0	3,0539 d

DMS = 0,3787; CV (%) = 3,84; MG = 3,5316 (kJ/kg °C)

DMS: Desvio mínimo significativo; MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação.

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Na Tabela 4.25 tem-se a análise de variância dos dados da regressão polinomial do calor específico da polpa de umbu-cajá em função da concentração de maltodextrina. Verifica-se que a equação de regressão linear foi significativa a 1% de probabilidade pelo teste F, e as equações cúbica e de 4º grau foram significativas a 5% de probabilidade, enquanto que as equações quadrática e de 5º grau não foram significativas.

Tabela 4.25 - Análise de variância da regressão polinomial dos valores médios do calor específico da polpa de umbu-cajá em função da adição de diferentes concentrações de maltodextrina

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão linear	1	1,7777	1,7777	96,3990**
Regressão quadrática	1	0,0004	0,0004	0,0225 ns
Regressão cúbica	1	0,1462	0,1462	7,9257*
Regressão de 4º grau	1	0,1033	0,1033	5,6011*
Regressão de 5º grau	1	0,0252	0,0252	1,3661 ns
Concentrações	6	2,0530	0,3422	18,5551--
Resíduo	14	0,25817	0,01844	
Total	20	2,3112		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade; ns - não significativo; G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste

Na Tabela 4.26 são apresentadas as equações linear, cúbica e de 4º grau para o cálculo do calor específico da polpa de umbu-cajá em função da concentração de maltodextrina. Verifica-se que as equações apresentaram bons ajustes, apresentando coeficientes de determinação superiores a 0,86, podendo-se utilizar qualquer uma na estimativa do calor específico da polpa de umbu-cajá.

Tabela 4.26 - Equações de regressão propostas para o cálculo do calor específico da polpa de umbu-cajá em função da concentração de maltodextrina

Equação	R ²
$C_p = 3,968059 - 0,058190C$ **	0,866
$C_p = 4,051746 - 0,175255C + 0,021421C^2 - 0,000961C^3$ *	0,937
$C_p = 4,096603 - 0,351692C + 0,083423C^2 - 0,007659C^3 + 0,000223C^4$ *	0,988

C_p- calor específico (kJ/kg °C); C - concentração de maltodextrina (%); ** - significativo a 1% de probabilidade (p-valor < 0,01); * - significativo a 5% de probabilidade (p-valor < 0,05).

Na Tabela 4.27 encontram-se os valores do calor específico determinados a partir de equações propostas por vários pesquisadores e os erros percentuais em relação ao valor experimental do calor específico da polpa de umbu-cajá com diferentes concentrações de

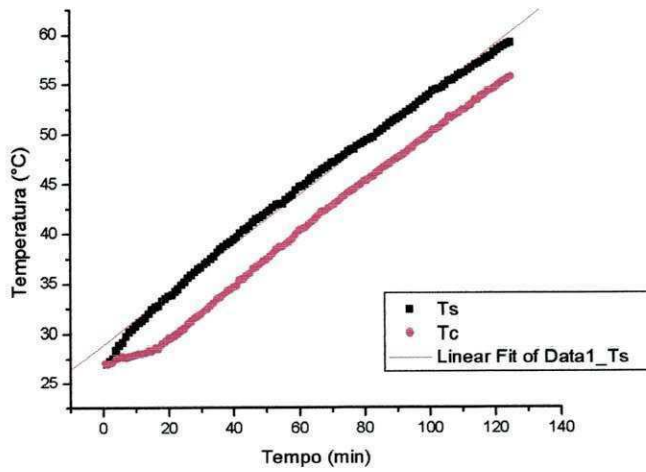
maltodextrina. Das equações testadas verifica-se para a polpa de umbu-cajá integral e para a amostra com 15% de maltodextrina que a melhor equação para estimar o calor específico foi a de VIEIRA (1996), apresentando os menores erros percentuais. Para as amostras com concentrações de 2,5, 7,5 e 10% de maltodextrina a melhor equação de ajuste foi a de Lamb. Nas amostras com 5 e 12,5% de maltodextrina a equação de melhor ajuste foi o de SIEBEL (1992). Verifica-se também, que os valores teóricos preditos pelas equações são superiores aos experimentais. As equações de SIEBEL (1992) e de VIEIRA (1996) apresentaram todos os erros percentuais abaixo de 10%.

Tabela 4.27 – Valores teóricos do calor específico (kJ/kg °C) calculados com diferentes equações para a polpa de umbu-cajá com diferentes concentrações de maltodextrina e os erros percentuais

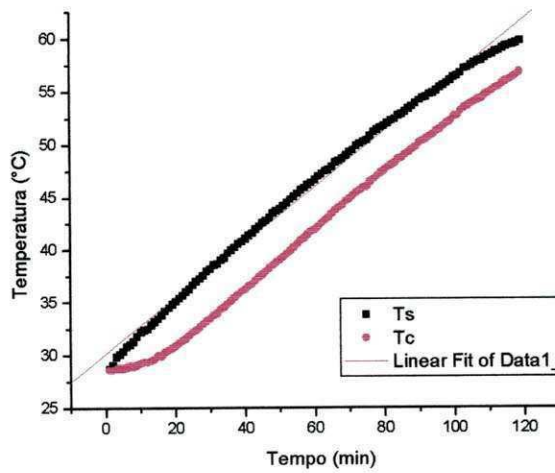
Equação	Concentração (%)						
	0	2,5	5,0	7,5	10	12,5	15
Dickerson (1968)	3,83	3,75	3,71	3,67	3,61	3,58	3,55
Erro (%)	6,23	2,32	4,08	1,49	1,77	12,28	16,33
Siebel (1992)	3,71	3,60	3,54	3,50	3,42	3,37	3,34
Erro (%)	9,14	1,67	0,45	3,26	3,65	5,85	9,37
Lamb	3,80	3,71	3,66	3,63	3,56	3,52	3,50
Erro (%)	6,97	1,31	2,93	0,28	0,39	10,65	14,57
Manohar et al. (1991)	3,47	3,31	3,22	3,15	3,03	2,96	2,91
Erro (%)	9,43	11,81	13,17	14,15	16,09	17,30	18,05
Vieira (1996)	3,85	3,80	3,76	3,69	3,64	3,59	3,53
Erro (%)	3,80	5,54	5,96	5,40	6,43	6,50	5,67

4.4.3- Difusividade térmica

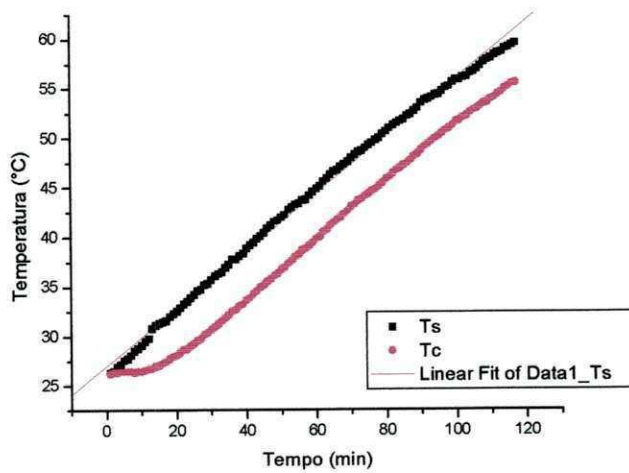
Na Figura 4.3 têm-se os diagramas temperatura versus tempo (triplicata) utilizados para o cálculo da difusividade térmica da polpa de umbu-cajá integral. Foi verificado que os coeficientes de determinação foram (a) 0,99761, (b) 0,99731 (c) 0,99832.



(a) Experimento I



(b) Experimento II



(c) Experimento III

Figura 4.3 - Diagrama tempo-temperatura das três repetições para a determinação da difusividade térmica da polpa de umbu-cajá integral

Na Tabela 4.28 têm-se os valores experimentais das repetições, a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação da difusividade térmica da polpa de umbu-cajá integral. Verifica-se que o coeficiente de variação situou-se abaixo de 10%, indicando alta precisão experimental segundo STORCK et al. (2000). A difusividade térmica média da polpa de umbu-cajá integral foi inferior ao valor determinado por MUNIZ et al. (2006) para a polpa de bacuri com 7,5 °Brix que foi de $1,763 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$.

Tabela 4.28 - Valores experimentais da difusividade térmica da polpa de umbu-cajá integral

Difusividade térmica (m^2/s)	
R₁	$1,492 \times 10^{-7}$
R₂	$1,474 \times 10^{-7}$
R₃	$1,321 \times 10^{-7}$
Média	$1,429 \times 10^{-7}$
Desvio padrão	$0,094 \times 10^{-7}$
CV (%)	6,59

Na Tabela 4.29, têm-se os valores da difusividade térmica, calculados a partir de equações apresentadas em literatura, como também os erros percentuais em relação às determinações experimentais. Observa-se que a equação de TELIS-ROMERO et al. (1998) resultou no menor erro percentual (5,95%) seguida pela equação de Martens (6,84%), podendo ser usadas para a estimativa da difusividade térmica da polpa de umbu-cajá integral. As equações de RIEDEL (1969) e VIEIRA (1996) apresentaram erros percentuais acima de 10%, devendo ser evitado o uso das mesmas para a estimativa da difusividade térmica da polpa de umbu-cajá integral.

Tabela 4.29 - Valores teóricos da difusividade térmica (m^2/s) para a polpa de umbu-cajá e os erros percentuais

Equação	Difusividade térmica (m^2/s)
Riedel (1969)	$1,60 \times 10^{-7}$
Erro (%)	12,61
Telis-Romero et al. (1998)	$1,39 \times 10^{-7}$
Erro (%)	5,95
Martens	$1,34 \times 10^{-7}$
Erro (%)	6,84
Vieira (1996)	$1,4 \times 10^{-7}$
Erro (%)	12,44

4.4.4- Condutividade térmica

Na Tabela 4.30 têm-se os valores da condutividade térmica da polpa de umbu-cajá integral. O resultado obtido para a condutividade térmica média da polpa de umbu-cajá integral está na mesma faixa de valores apresentado por ALVARADO (1994) ao avaliar polpas de trinta espécies de frutas reportando valores entre 0,39 e 0,57 W/m °C.

Tabela 4.30 - Valores experimentais da condutividade térmica da polpa de umbu-cajá integral

Amostra	Condutividade térmica (W/m °C)
R1	0,56
R2	0,56
R3	0,44
Média	0,52
Desvio padrão	0,07
CV (%)	12,88

Na Tabela 4.31 têm-se valores da condutividade térmica da polpa de umbu-cajá integral, calculados a partir de equações de diversos pesquisadores. Observa-se que o menor erro percentual (3,75%) foi obtido com a equação para sucos de frutas proposta por KOLAROV & GROMOV (1973), e o maior com a equação de TELIS-ROMERO et al.

(1998) (5,11%). Ambas as equações apresentaram erros inferiores a 10%, podendo ser usadas para estimar a condutividade térmica da polpa de umbu-cajá integral.

Tabela 4.31 - Valores teóricos da condutividade térmica (W/m °C) da polpa de umbu-cajá e os respectivos erros percentuais

Equação	Condutividade térmica (W/m°C)
Kolarov & Gromov (1973)	0,50
Erro (%)	3,75
Telis-Romero et al. (1998)	0,55
Erro (%)	5,11

5 - CONCLUSÕES

O aumento da concentração de maltodextrina adicionada à polpa de umbu-cajá acarretou no aumento dos sólidos solúveis totais e dos sólidos totais e na diminuição da umidade.

A massa específica aumentou com o aumento da concentração de maltodextrina adicionada à polpa de umbu-cajá. A massa específica da polpa de umbu-cajá com e sem maltodextrina pode ser estimada com maior precisão usando uma equação polinomial de 4º grau ($R^2 = 0,997$). Das equações da literatura testadas no presente trabalho, todas podem ser usadas para estimar a massa específica da polpa de umbu-cajá em função da concentração de maltodextrina (Erro < 10%), exceto a equação de Bayindirli.

O calor específico apresentou tendência de diminuição com o aumento da concentração de maltodextrina e pode ser estimado utilizando-se uma equação linear. Das equações da literatura utilizadas neste trabalho para estimar o calor específico em função da concentração de maltodextrina a de Siebel e Vieira apresentaram erros percentuais inferiores a 10% em todas as amostras.

A difusividade térmica da polpa de umbu-cajá integral foi de $1,429 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, podendo ser estimada pelas equações de Telis-Romero et al. e Martens.

A condutividade térmica determinada para a polpa de umbu-cajá integral foi de $0,52 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$. Das equações da literatura utilizadas a que melhor representou os dados de condutividade térmica da polpa de umbu-cajá integral foi a de Kolarov e Gromov.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABADIO, F.D.B.; DOMÍNGUEZ, A.M.; BORGES, S.V.; OLIVEIRA, V.M. Physical properties of powdered pineapple (*Ananas comosus*) juice-effect of malt dextrin concentration and atomization speed. **Journal of Food Engineering**, v. 64, p. 285-287, 2004.

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

ALVARADO, J. D. Propriedades físicas de frutas: IV. Difusividade y conductividad termica efectiva de pulpas. **Latin American Applied Research**, Bahía Blanca, v. 24, n. 1, p. 41-47, 1994

ALVARADO J. D. Calor específico. In: ALVARADO, J. D.; AGUILERA, J. M. **Métodos para medir propiedades físicas em industrias de alimentos**. Zaragoza: Acribia, 2001.189-212 p.

ANANDARAMAM, S.; REINECCIUS, G. A. Stability of encapsulated orange pell oil. **Food Technology**, v.40, p.88-93, 1986.

ANDRADE, E. T.; COUTO, A. M.; QUEIROZ, D. M.; PEIXOTO, A. B. Determinação de propriedades térmicas de grãos de milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 3, p. 488-498, 2004.

ARAÚJO, J. L. **Determinação das propriedades termofísicas da polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum schum.*)**. 2001. 19 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Campina Grande (UFCG). Campina Grande

ARAÚJO, J. L.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIREDO, R. M. F. Massa específica de polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum Schum.*) sob diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4, n.2, p.127-134, 2002.

ARAÚJO, J. L.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Propriedades termofísicas da polpa do cupuaçu com diferentes teores de sólidos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 1, p. 126-134, 2004.

BAYINDIRLI, L. Density and viscosity of grape juice as a function of concentration and temperature. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.17, n.2, p.147-151, 1993.

BHANDARI, B. R.; SENOUSI, A.; DUMOULIN, E. D.; LEBERT, A. Spray drying of concentrated fruit juices. **Drying Technology**, v.11, n.5, p.1081-1092, 1993

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

BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. **Introdução à química dos alimentos**. 2. ed. São Paulo: Varela, 223 p. 1992.

BRAND, **Catálogo On-line**. Fotografia Disponível em: <http://catalog.brand.de/index.php> Acesso em: 14 nov. 2007.

BRASIL. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Brasília: Ministério da Saúde, 2005. 1017 p.

CAP-LAB, **Tecnologia especializada**. Disponível em: www.mistral.com.br/images/product/65666_m.jpg Acesso em 05 Abril 2008

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

CARVALHO, C. R. L.; MANTOVAN, D. M. B.; CARVALHO, P. R. N.; MORAES, R. M. **Análise química de alimentos**. Instituto de Tecnologia de alimentos, Campinas, 1990, 121 p.

CAVALCANTE, P. B. **Frutas comestíveis da Amazônia**. 2 ed. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 1991. 279 p.

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

CEPEDA, E., VILLARRÁN, M.C. Density and viscosity of Malus Floribunda juice as a function of concentration and temperature. **Journal of Food Engineering**, v.41, n.2, p. 103-107, 1999.

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

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

COSTA, N. P. **Desenvolvimento, maturação e conservação pós-colheita de frutos da cajazeira (*Spondia mombin L.*)**. 1998. 97 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). UFPB, Areia. 1998.

DICKERSON, R.W. An apparatus for the measurement of thermal diffusivity of foods. **Food Technology**, Westport, v. 19, n. 52, p. 880-886, 1965.

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

DINCER, I. Thermal diffusivities of geometrical objects subject to cooling. **Applied Energy**, London, v.51, p.111-8, 1995.

FREIRE, E. S. **Thermal properties of dry cocoa beans**. M. Sc. Thesis - Cranfield Institute of Technolog, National College of Agricultural Engineering. 1981. 122 f.

MADRUGA, M.S.; ALDRIGUE, M.L. Análises químicas, físico-químicas e físicas de alimentos. In: ALDRIGUE, M.L.; MADRUGA, M.S.; FIOREZE, R.; SOARES, J. **Aspectos da ciência e tecnologia de alimentos**. João Pessoa: Editora Universitária, cap. 1, p. 11-57, 2002.

MANOHAR, B.; RAMAKRISHNA, P.;UDAYASANKAR, K. Some physical properties of tamarind (*Tamarindus indica* L) juice concentrates. **Journal of Food Engineering**, Great Britain, v. 13, n. 4, p. 241-258, 1991.

MATSUURA, F.C.A.; U.FOLEGATTI, M.IS.; MACHADO, S.S.; CARDOSO, R.L. Processamento e avaliação da compota de umbu-cajá. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DE ALIMENTOS, 4., 2001, Campinas. **Resumos...** Campinas : SBCTA, 2001. CD.

MOHSENIN, N. N. **Thermal properties of foods and agricultural materials**. New York: Gordon and Breach, 1980. 407 p.

MOURA, S. C. S. R.; GERMER, S. P. M.; JARDIM, D. C. P.; SADAHIRA, M. S. Thermophysical properties of tropical fruit juices. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 1, n. 1/2, p. 70-76, 1998.

MOURA, S. C. S. R.. RANÇA, V. C. L.; LEAL, A. M. C. B. Propriedades termofísicas de soluções modelo similares a suco. **Ciências e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.1, p. 62-68, 2001.

MUNIZ, M. B.; QUEIROZ, J. A. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; DUARTE, M. E. M. Caracterização termofísica de polpa de bacuri. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 2, p. 360-368, 2006.

NEVES FILHO, L. de C. **Resfriamento, congelamento e estocagem de alimentos**. São Paulo: IBF / ABRVA / SINDRATAR, 1991. 176 p.

NORONHA, M. A. S.; CARDOSO, E. A.; DIAS, N. S. Características físico-químicas de frutos de umbu-cajá (*Spondias sp.*) provenientes dos polos Baixo-Jaguaribe (CE) e Assu-

Mossoró (RN). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 2, n. 2, p. 91-96, 2000.

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

PARK, K.J., MURR, F.E.X., SALVADEGO, M. **Construção de um sistema de medição da condutividade térmica pelo método da sonda linear**. Sociedade Brasileira de Ciência e tecnologia de Alimentos. Campinas, 1996.

PASQUALONE, S.; MASTANDREA, N. **Lê proprietá termitche degli alimenti congelati**. **Industrie Alimentaria**, v. 34, n. 3, p. 261-267, 1995.

PEDROZA, J. P. **Efeito de danos mecânicos sobre propriedades físicas de grãos de milho**. 72 f., 1991. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

PEREIRA, E. A. QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. **Massa específica de polpa de açaí em função do teor de sólidos totais e da temperatura**. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.3, p.526-530, 2002.

PIETROBON, C. L. R.; PEREIRA, N. C. E.; FREIRE, J. T. **Determinação da condutividade térmica: I – análise experimental**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS, 15., 1987, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia. v. 1, p. 150-161, 1987.

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, n. 1, p. 57-63, 1998.

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

REYES, A.; DIAZ, G.; BLASCO, R. Experimental study of slurries drying on inert particles in fluid-particles contact equipment. In: INTER-AMERICAN DRYING CONFERENCE, 1997. **Proceedings...** Itu: v. A, p.150-157, 1997.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de alimentos**. São Paulo: Edgard Blücher/Instituto Mauá de Tecnologia, 2004. 184 p.

RIEDEL, L. Measurements of thermal diffusivity of foodstuffs rich in water. **Kaltetechnik-Klimatisierung**, v. 21, n. 11, p. 315-316, 1969.

RITZINGER, R.; SOARES FILHO, W. dos S.; CARVALHO, P C.L.; FOLEGATTI, M.I da S.; MATSUURA, F.C.A.U.; CERQUEIRA, E.Q.; KISARI, R.G.; SILVA NETO, C. N. da. Caracterização e avaliação de germoplasma de umbu – cajazeira no Estado da Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 1., 2001, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Sociedade Brasileira de Melhoramento de Plantas, 2001. CD ROM.

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

SARRIA, S.D. ; HONÓRIO, S. L. Condutividade e difusividade térmica do figo (*Ficus carica* L.) “Roxo de Valinhos”. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.1, p.185-194, 2004.

SHARMA, D. K.; THOMPSON, T. L. Specific heat and thermal conductivity of sorghum. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 16, n. 1, p. 114-117, 1973.

SIEBEL, J. E. Specific heat of various products. **Ice Refrigeration**, v. 2, 256-257, 1992.

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

SILVA, F.A.S.; AZEVEDO, C.A.V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 71-78, 2002.

SILVA, M.; MATA, M. E. R. M. C.; DUARTE, M. E. M.; PEDROZA, J. P.; NASCIMENTO, J. P. T. Resfriamento e propriedades termofísicas do cajá (*Spondias lutea* L.). **Revista de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 175-185, 2002.

SILVA, R. N. G. **Produção e armazenamento da polpa de umbu-cajá em pó**. 55p. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 55p, 2003.

SINGH, R. P.; HELDMAN, D. R. **Introducción a la ingeniería de los alimentos**. Zaragoza: Acribia, 1997. 544 p.

SINGH, R. P.; HELDMAN, D. R.; LUND, D. B. **Heating and cooling processes for Foods**. Handbook of Food Engineering. New York edited. 1982.247-276 p.

SOUZA, F.X. **Spondias agroindustriais e os seus métodos de propagação**. Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT/SEBRAE/CE, 1998. 28p. (Documento, 27).

SOUZA, F.X. de.; SOUZA, F.H.L.; FREITAS, J.B.S. Caracterização morfológica de endocarpos de umbu-cajá. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 48., 1997, Crato. **Resumos...** Fortaleza: SBB/BNB, 1997. p.121.

STORCK, L.; GARCIA, D. C.; LOPES, S. J.; ESTEFANEL, V. **Experimentação vegetal**. Santa Maria: UFSM, 2000. 198 p.

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

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

TELIS-ROMERO, J.; TELIS, V. R. N.; GABAS, A. L.; YAMASHITA, F. Thermophysical properties of brazilian orange juice as affected by temperature and water content. **Journal of Food Engineering**, Great Britain, v. 38, n. 1, p. 27-40, 1998.

TORRES, L. B. V.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Viscosidade aparente da polpa de umbu-cajá concentrada a 10°C. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.5, n.2, p.161-168, 2003.

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

WEBSTERS. **Dictionary On-line**. Disponível em: <www.websters-online-dictionary.org/coreimages> Acesso em 05 Abril 2008.