

UNIVERSIDADE TÉCNOLOGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ALIMENTOS
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

EDSON JAIR SEMPREBON JUNIOR

**EMPREGO DA ANÁLISE MULTIVARIADA NA CLASSIFICAÇÃO DE POLPAS DE
FRUTAS DE ACORDO COM AS PROPRIEDADES FÍSICAS E A DIFUSIVIDADE
TÉRMICA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2018

EDSON JAIR SEMPREBON JUNIOR

**EMPREGO DA ANÁLISE MULTIVARIADA NA CLASSIFICAÇÃO DE POLPAS DE
FRUTAS DE ACORDO COM AS PROPRIEDADES FÍSICAS E A DIFUSIVIDADE
TÉRMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Engenharia de Alimentos, Do Departamento Acadêmico de Alimentos – DALIM – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Bogdan Demczuk Junior

CAMPO MOURÃO

2018



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Campo Mourão
Departamento Acadêmico de Alimentos
Engenharia de Alimentos



TERMO DE APROVAÇÃO

EMPREGO DA ANÁLISE MULTIVARIADA NA CLASSIFICAÇÃO DE
POLPAS DE FRUTAS DE ACORDO COM AS PROPRIEDADES
FÍSICAS E A DIFUSIVIDADE TÉRMICA

por

EDSON JAIR SEMPREBON JUNIOR

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado no dia ___ de ___ de 2018, às ___ horas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Bogdan Demczuk Junior

Prof^a. Dr^a. Ailey Aparecida Coelho Tanamati

Prof^a. Dr^a. Roberta De Souza Leone

Nota: O documento original e assinado pela banca examinadora encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia de Alimentos da UTFPR campus Campo Mourão.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre ter me abençoado mais do que eu mereci durante toda a caminhada até aqui. Aos meus pais, Edson e Célia pelo amor, incentivo e apoio incondicional. A minha irmã Nayhara que, em alguns momentos, me deu esperança para seguir. A minha namorada Suelen, pela paciência e por acreditar em mim.

Aos meus amigos que fiz em Campo Mourão que conviveram comigo durante todo este período. Onde passamos bons e maus momentos sem nunca perder a alegria.

Ao meu orientador Professor Dr. Bogdan Demczuk Junior, pela paciência, dedicação, profissionalismo e confiança que tornou a elaboração deste estudo possível, meus sinceros agradecimentos.

Aos professores da Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Campo Mourão, agradeço pela contribuição para minha formação acadêmica e a todos, que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.



RESUMO

SEMPREBON JUNIOR, Edson Jair. Emprego da análise multivariada na classificação de polpas de frutas de acordo com suas propriedades físicas e a difusividade térmica. 2018. 33f. **Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Alimentos)**, Departamento Acadêmico de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2018.

A produção de polpas congeladas é um meio favorável para o aproveitamento integral das frutas, evitando problemas ligados à sazonalidade. Os tratamentos térmicos são necessários para eliminar micro-organismos contaminantes, inativar enzimas e retardar processos metabólicos e microbiológicos em condições de estocagem. Valores de propriedades termofísicas de frutas já foram determinados por diversos métodos, com variações de temperatura, concentração de sólidos solúveis e umidade, porém esses dados estão dispersos na literatura. O presente trabalho teve o objetivo de utilizar a análise estatística multivariada para classificar polpas de frutas de uma determinada marca comercial de acordo com as propriedades físicas e a difusividade térmica. A densidade real foi obtida através da utilização de picnômetro e balança analítica. A determinação da umidade foi determinada por equipamento de Infra-vermelho. O valor de sólidos solúveis foi determinado por refratometria. A difusividade térmica foi obtida por meio da utilização de um tubo de alumínio, sensores e banho termostático. A Análise de Componentes Principais (PCA) e a Análise de Cluster (CA) foram conduzidas através da utilização da ferramenta computacional Statistica 7.0. Os valores da difusividade térmica variaram de $2,63 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ para polpa de laranja com 23,74 °Brix, até $1,38 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ para a polpa de uva, com 14,64°Brix. O trabalho apresentou respostas coerentes com a literatura e a análise estatística multivariada foi útil na classificação das polpas de frutas de acordo com as propriedades físicas e a difusividade térmica. A polpa de laranja apresentou maior variabilidade dentre as frutas estudadas e a densidade das polpas foi o parâmetro que mais contribuiu para a variabilidade entre elas.

Palavras-chave: Propriedades físicas; difusividade térmica; Análise estatística Multivariada; Polpas de Frutas.

ABSTRACT

SEMPREBON JUNIOR, Edson Jair. Use of multivariate analysis in the classification of fruit pulps according to their physical properties and thermal diffusivity. 2018. 33f. **Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Alimentos)**, Departamento Acadêmico de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2018.

The production of frozen pulps is a favorable means for the full use of fruits, avoiding problems related to seasonality. Heat treatments are necessary to eliminate contaminating microorganisms, inactivate enzymes and slow down metabolic and microbiological processes under storage conditions. Thermophysical properties values of fruits have already been determined by several methods, with variations of temperature, soluble solids concentration and humidity, but these data are dispersed in the literature. The present work had the objective of using the multivariate statistical analysis to classify fruit pulps of a certain commercial brand according to the physical properties and the thermal diffusivity. The actual density was obtained through the use of pycnometer and analytical balance. The determination of the humidity was determined by Infra-red equipment. The value of soluble solids was determined by refractometry. The thermal diffusivity was obtained through the use of an aluminum tube, sensors and thermostatic bath. Principal Component Analysis (PCA) and Cluster Analysis (CA) were conducted using the Statistica 7.0 computational tool. The thermal diffusivity values varied from $2.63 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ for orange pulp with 23.74 ° Brix, to $1.38 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ for the grape pulp, with 14, 64 ° Brix. The work presented coherent answers with the literature and multivariate statistical analysis was useful in the classification of fruit pulps according to physical properties and thermal diffusivity. The orange pulp presented greater variability among the fruits studied and the pulp density was the parameter that contributed the most to the variability among them.

Keywords: Physical properties; thermal diffusivity; Multivariate statistical analysis; Fruit Pulp.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	
2	OBJETIVOS	12
2.1	Objetivo geral	12
2.2	Objetivos específicos	12
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1	Propriedades Termofísicas	13
3.2	Difusividade Térmica	13
4	MATERIAIS E MÉTODOS	16
4.1	Amostras	16
4.2	Materiais	16
4.3	Métodos	16
4.3.1	Umidade	16
4.3.2	Densidade	17
4.3.3	Difusividade térmica (α)	17
4.3.4	Teor de Sólidos (°Brix)	20
4.3.5	Análise Estatística	20
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	22
6	CONCLUSÃO	27
7	REFERÊNCIAS	28

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tubo de alumínio utilizado para determinação da difusividade térmica. ...	18
Figura 2 – Banho termostático contendo o conjunto tubo e amostra conectado ao sistema de aquisição de dados.	18
Figura 3 – Interface gráfica computacional de aquisição dos dados para o cálculo da difusividade térmica.....	19
Figura 4 – Análise de componentes principais na classificação de polpas de frutas de acordo com as propriedades físicas e difusividade térmica.	25
Figura 5 – Dendrograma de dissimilaridade de acordo com as propriedades físicas e difusividade térmica utilizadas na classificação de polpas de frutas.	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores médio das propriedades físicas das polpas de frutas.....	22
---	----

1 INTRODUÇÃO

A produção de polpas congeladas é um meio favorável para o aproveitamento integral das frutas, evitando problemas ligados à sazonalidade. A produção de frutas para a obtenção de polpas consiste em uma alternativa de reconhecida importância alimentar e econômica por proporcionar a conservação e a manutenção da qualidade, garantindo a disponibilidade de produtos no mercado nos períodos de entressafra, além das características nutricionais e sensoriais. Estes produtos, quando utilizadas técnicas adequadas no ato do preparo, podem ser mantidos sob armazenamento por semanas ou até mesmo meses (GADELHA, 2009).

Segundo Mascheroni (2012), as perdas com frutas *in natura* são de 5 a 25% em países desenvolvidos e de 20 a 50% em países em desenvolvimento. No Brasil, país que produz 12% das frutas de todo o mundo, as perdas chegam a 40% do total produzido ao longo do ano (FAO, 2013). Estas perdas são geradas ao decorrer de toda sua cadeia produtiva (EMBRAPA, 2007).

É importante destacar o aumento da demanda dos produtos alimentícios no país, trazendo como consequência a exigência de modernização, adequação tecnológica e maior qualidade para as indústrias. O cumprimento das exigências só acontece com maiores informações científicas sobre o processamento de alimentos, passando pelo conhecimento das propriedades físicas para os cálculos dos processos (MOURA; FRANÇA; LEAL, 2005).

O conhecimento das propriedades termofísicas dos alimentos é necessário para a realização dos cálculos envolvidos no projeto de equipamentos de refrigeração e armazenamento de alimentos. Estas propriedades são importantes para determinar a variação da temperatura no alimento durante o processamento e estimar a carga térmica ou tempo de resfriamento (RESENDE; SILVEIRA JUNIOR, 2002).

Os tratamentos térmicos são necessários para eliminar micro-organismos contaminantes, inativar enzimas e retardar processos metabólicos e microbiológicos em condições de estocagem. Quando o alimento não é consumido imediatamente,

existe a necessidade de ser processado, resfriado ou congelado para conservar suas características (ARAÚJO; QUEIROZ; FIGUEIREDO, 2004).

Valores de propriedades termofísicas de frutas já foram determinados por diversos métodos, com variações de temperatura, concentração de sólidos solúveis e umidade, porém esses dados estão dispersos na literatura. A falta de dados de propriedades termofísicas de frutas dificulta o dimensionamento de equipamentos e processos, sendo assumidos, na maioria das vezes, valores aproximados (MATTOS e MEDEROS, 2008).

Sendo assim, o conhecimento das propriedades termofísicas é essencial para um projeto eficiente e econômico de operações de processamento de alimentos envolvendo transferência de calor. Portanto, é necessária tanto a obtenção de dados precisos de propriedades como condutividade térmica, difusividade térmica e calor específico, quanto a predição do comportamento dessas propriedades durante o processo em função da temperatura. Falhas em equipamentos ou no projeto de processos podem ser atribuídas à falta dessas informações quando da seleção de valores de propriedades termofísicas usadas na análise inicial dos sistemas em estudo (MOURA *et al.*, 2003; INCROPERA; DEWITT, 2003).

Portanto, a partir do conhecimento das propriedades das polpas de frutas, as ferramentas estatísticas multivariadas podem ser utilizadas para reunir todas as informações contidas em um determinado número de variáveis, cujas combinações podem explicar as diferenças entre elas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Utilizar a análise estatística multivariada para classificar polpas de frutas de uma determinada marca comercial de acordo com as propriedades físicas e a difusividade térmica.

2.2 Objetivos específicos

Selecionar, de uma marca comercial, polpas de diferentes tipos de frutas;

Determinar experimentalmente a difusividade térmica, o teor de sólidos, a umidade e a densidade das polpas de frutas;

Comparar as características identificadas através de análise estatística multivariada.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Propriedades termofísicas

As propriedades termofísicas são importantes na elaboração, otimização e implementação de projetos na área de engenharia de alimentos. Ainda que existam modelos de predição teórica presentes na literatura, geralmente tomando como base a composição centesimal do alimento, é comum que tais modelos apresentem erros. Assim, em muitos casos, vê-se a necessidade da obtenção de dados de forma prática, bem fundamentados e confiáveis (RAO, 2006).

Recentemente, devido à importância fundamental na modelagem e otimização dos equipamentos e processos, as propriedades que envolvem a transferência de calor e massa de alimentos tem recebido uma atenção maior e crescente. São empregadas técnicas que permitem determinar com maior precisão estas propriedades de alimentos que variam com a geometria, com o tempo e temperatura quando ocorre um processo de transferência de calor ou massa. Além disso, a mudança da temperatura de um produto alimentício pode causar variação significativa em suas propriedades físicas e químicas (SWEAT, 1986).

Mesmo com diferenças significativas entre valores estimados e valores experimentais, há equações que são utilizadas para prever o comportamento variável das propriedades termofísicas a partir dos constituintes principais dos alimentos (água, proteína, gordura, carboidratos) e da temperatura. (BON et al., 2010).

3.2 Difusividade Térmica

Segundo Incropera e Dewitt (2012), a relação entre a capacidade de conduzir e armazenar energia de um material é conhecida como difusividade térmica. Materiais com alto valor de difusividade térmica respondem rapidamente a

mudanças térmicas em seu ambiente, enquanto que materiais de pequenos valores de α respondem mais lentamente, demorando para alcançar um novo estado de equilíbrio.

Rahman (2009) apresenta uma compilação de dados de difusividade térmica e de alguns modelos para a sua predição para vários tipos de alimentos, dentre os quais frutas, produtos cárneos e de pescados, produtos de panificação, entre outros. A grande parte deles incluem faixa de temperaturas abaixo do ponto de congelamento do alimento. São raros os trabalhos que apresentam modelos de predição da difusividade térmica para sucos e polpas de frutas. Ainda segundo Rahman (1995), a principal aplicação da difusividade térmica no processamento de alimentos é na estimativa dos tempos de processamento na pasteurização, aquecimento, resfriamento, congelamento, cozimento ou fritura.

Como a taxa de calor que se difunde por condução através de um material é dependente da difusividade térmica, ela pode ser também obtida pela relação de outras variáveis como a densidade, o calor específico e a condutividade térmica (PEREIRA, 2013).

Além disso, a difusividade térmica tem importância quando a transferência de calor se realiza sob a forma transiente, principalmente porque através desta propriedade é possível determinar a taxa com que ocorre a perda ou ganho de calor nos alimentos (SILVA, 1997).

3.3 Análise Estatística Multivariada

A análise Estatística Multivariada é uma ferramenta relevante na análise de dados, pois consiste em um conjunto de métodos estatísticos que permitem a confrontação de diversas variáveis simultaneamente de cada elemento amostral. As técnicas de estatística multivariada têm o propósito de facilitar a interpretação do

estudo realizado. Seu desenvolvimento tem possibilitado uma melhor compreensão de fenômenos cada vez mais complexos (MARTEL et al., 2003).

Os métodos de análise de dados multivariados têm comprovado amplamente sua eficácia no estudo de grandes massas de informação complexas. Tratam-se de métodos chamados de multidimensionais que permitem a confrontação entre duas ou mais variáveis. Pode-se, então, se extrair as tendências mais sobressalentes e hierarquizá-las, eliminando os efeitos que perturbam a percepção global (ESCOFIER; PAGES, 1992).

A Estatística Multivariada, segundo Mingoti (2005), consiste em um conjunto de métodos aplicados em situações onde várias variáveis são medidas simultaneamente em cada elemento amostral. Sendo assim, a finalidade da aplicação da análise multivariada pode ser de reduzir dados ou de simplificar a sua estrutura, de classificar e agrupar, de investigar a dependência entre variáveis, de prever e de elaborar hipóteses e testá-las (JOHNSON; WICHERN, 1992).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Amostras

Foram utilizadas polpas de frutas de diferentes sabores de determinada marca comercial adquiridas no comércio local da cidade de Campo Mourão (PR). As polpas de uva, morango, goiaba, laranja, graviola, caju, kiwi e açaí médio, em embalagens de 100 gramas e oriundas de lotes distintos, foram descongeladas à temperatura de 10°C apenas no momento das análises.

4.2 Materiais

Refratômetro de bancada, para a determinação do teor de sólidos; Analisador de umidade por Infra-vermelho IV2000, para determinação do teor de umidade; picnômetro de 10 mL e balança analítica (AD500- Marte®), para a determinação da densidade; aparato para medição da difusividade térmica composto por um tubo de alumínio, termopar e banho termostático (Marconi) com agitação.

4.3 Métodos

4.3.1 Umidade

A determinação da umidade da amostra, em duplicata, seguiu metodologia recomendada pelo fabricante do Analisador de Umidade por Infra-vermelho IV2000. Pesaram-se 2 gramas da polpa em recipiente próprio do equipamento e o aquecimento ocorreu a 140 °C por 8 minutos.

4.3.2 Densidade

A densidade das polpas foi determinada conforme metodologia sugerida por Bon et al. (2010).

Foram utilizados picnômetros de 10 mL de massa conhecida e previamente secos. As amostras, em triplicata, colocadas nos picnômetros tiveram suas massas determinadas em balança analítica, sendo o cálculo da densidade realizado conforme a Equação 1.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

ρ = densidade real da amostra (kg/m³);

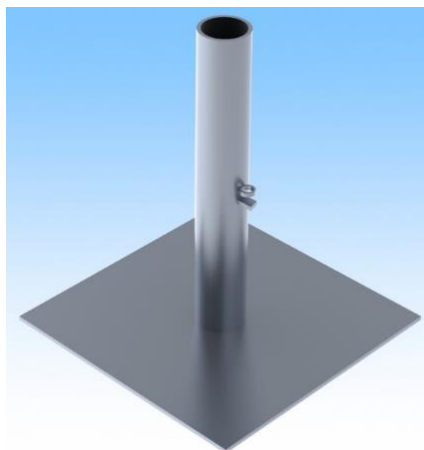
m = massa de amostra adicionada no picnômetro (kg);

v = volume do picnômetro (m³).

4.3.3 Difusividade térmica (α)

O método usado na determinação da difusividade térmica foi baseado no trabalho de Moura, França e Leal (2003), que é similar ao método de Dickerson (1965), um dos mais utilizados na determinação direta da difusividade térmica de alimentos. A técnica aplica-se ao estudo desta propriedade em alimentos sólidos, granulares e na forma de pós (SARAVACOS; KOSTAROPOULOS, 1996), bem como para líquidos e géis (SAKIYAMA et al., 1999; MOURA et al., 2003). Segundo Dickerson (1965), a precisão de seu método é da ordem de 5% e os dados são obtidos com até duas horas de experimento sem a necessidade de medida de fluxo de calor. O aparato usado foi previamente desenvolvido e validado por Leal (2017) e é composto por um tubo de alumínio de 0,0235 m de raio, 0,15 m de altura e vedado na extremidade inferior, conforme a Figura 1.

Figura 1 - Tubo de alumínio utilizado para determinação da difusividade térmica.



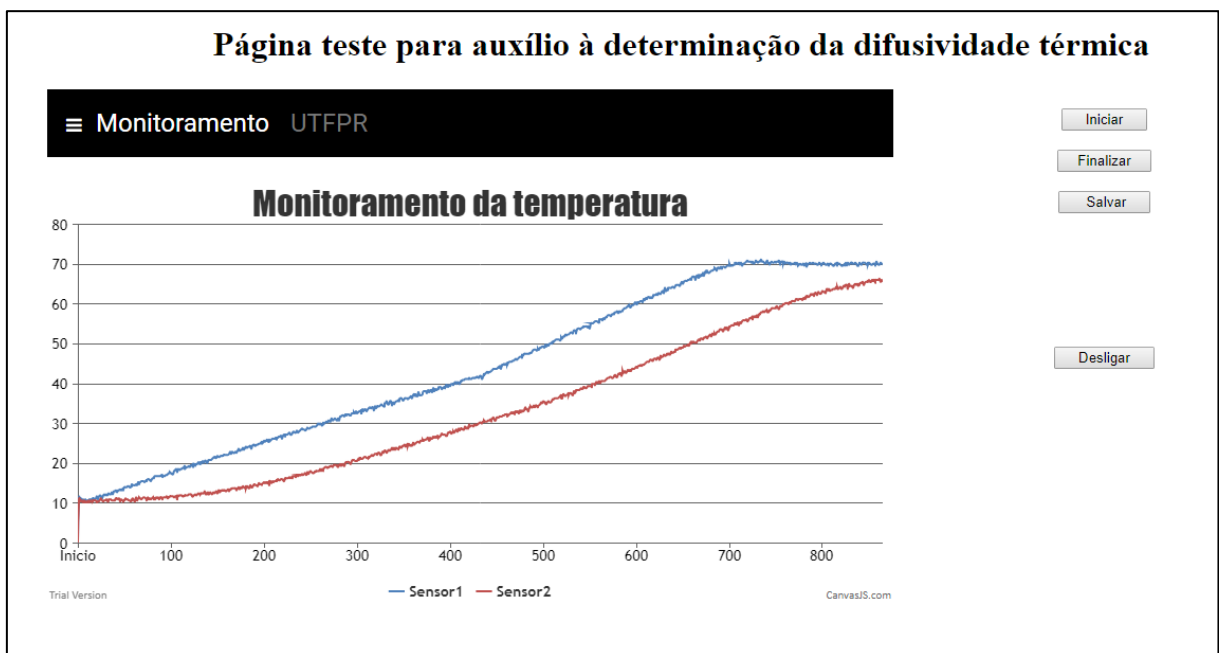
Foram instalados dois termopares acoplados, sendo um na superfície, para tomadas de medidas de temperatura nesta posição e outro, tipo agulha, disposto no plano central da amostra. O aparato de medição contendo a amostra foi então totalmente mergulhado em banho térmico de água a 10 °C (Figura 2).

Figura 2 – Banho termostático contendo o conjunto tubo e amostra conectado ao sistema de aquisição de dados.



Após o equilíbrio térmico entre o tubo, amostra e o banho, foi iniciado o aquecimento, sendo interrompido quando a temperatura interna da amostra atingiu aproximadamente 70 °C. As medidas de temperatura foram registradas automaticamente através de interface computacional, em intervalos de 5 segundos (Figura 3).

Figura 3 – Interface gráfica computacional de aquisição dos dados para o cálculo da difusividade térmica.



NOTA: Sensor 1 (banho térmico) e sensor 2 (polpa de fruta).

Além de possibilitarem a monitoração da taxa de elevação de temperatura do banho térmico, os dados obtidos serviram de base para o tratamento do gráfico dos perfis de evolução das temperaturas externa e interna. A difusividade térmica foi calculada pela Equação 2 (MOURA; FRANÇA; LEAL, 2003).

$$\alpha = \frac{AR^2}{4(T_{\text{ext}} - T_{\text{int}})} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde α = difusividade térmica ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$); A = taxa de aumento de temperatura do banho ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$); R = raio do tubo (m); $(T_{\text{ext}} - T_{\text{int}})$ = diferença entre a temperatura externa e a temperatura interna do tubo ($^{\circ}\text{C}$).

O valor de A utilizado no cálculo foi obtido a partir da fase constante de aumento da temperatura do banho. O valor da diferença de temperatura externa e interna deve diminuir à medida que a temperatura do banho aumenta, devido ao aumento da convecção. A partir dos valores medidos, a difusividade térmica foi obtida a partir da média dos valores na faixa estudada.

4.3.4 Teor de Sólidos ($^{\circ}\text{Brix}$)

A determinação de sólidos solúveis, em triplicata, foi estimada pela medida do índice de refração seguiu metodologia do Instituto Adolfo Lutz (2008). Foram transferidas de 3 a 4 gotas da amostra devidamente homogeneizada para o prisma do refratômetro e a leitura, expressa em graus Brix, foi obtida diretamente da escala. Os valores lidos foram corrigidos em função da temperatura das amostras.

4.3.5 Análise Estatística

A Análise de Componentes Principais (PCA) e a Análise de Cluster (CA) foram conduzidas através da utilização da ferramenta computacional Statistica 7.0.

Na análise de componentes principais, a variância armazenada em cada componente principal é expressa pelos autovalores da matriz padronizada. O maior autovalor é associado ao primeiro componente principal, o segundo maior autovalor é associado ao segundo componente principal e assim por diante. Assim, os primeiros componentes principais explicam, na maioria, grande parte da variância das variáveis originais. O dendrograma foi obtido utilizando como coeficiente de

semelhança entre pares de locais e a distância Euclidiana como coeficiente de dissimilaridade. Segundo as características consideradas, quanto menor a distância entre dois locais, mais similares eles serão (MARTEL et al., 2003).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A tabela 1 apresenta a média em triplicata dos valores de umidade, densidade, teor de sólidos, além dos valores médios de difusividade térmica das polpas de frutas analisadas.

Tabela 1 – Valores médio das propriedades físicas e da difusividade térmica das polpas de frutas.

Polpa	Umidade média (%)	Desvio padrão	Densidade (kg.m ⁻³)	Desvio padrão	Teor de sólidos (°Brix)	Difusividade térmica (α) (m ² .s ⁻¹) x10 ⁻⁷	Desvio padrão x10 ⁻⁷
Laranja	78,25	0,778	1.083,0	0,004	23,74	2,63	7,840
Morango	93,65	0,212	1.016,0	0,006	7,24	1,86	7,873
Caju	88,45	0,071	1.041,7	0,007	10,94	1,75	7,558
Graviola	88,65	0,070	1.041,4	0,001	10,74	1,69	5,670
Goiaba	88,60	0,424	1.047,8	0,006	9,94	1,66	1,985
Kiwi	83,30	0,222	1.063,0	0,003	10,54	1,64	6,036
Açaí Médio	88,70	0,141	976,10	0,005	3,84	1,53	5,189
Uva	85,40	0,141	1.058,8	0,002	14,64	1,38	4,339

Conforme a Portaria nº 94, de 30 de agosto de 2016 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e a Instrução Normativa nº 1, de 7 de janeiro de 2000, que estabelecem os padrões de identidade e qualidade de polpa de fruta, o teor de sólidos da polpa de Açaí médio para o tipo “b”, conforme o rótulo do produto, apresenta limite mínimo de 11 °Brix. Como observado na tabela 1, tal valor se encontra em desacordo com a legislação vigente no país. As demais polpas analisadas se encontram dentro dos limites definidos pela legislação vigente, com exceção das polpas de morango e de kiwi, que não apresentam padrões estabelecido pela legislação de características físico-químicas de identidade e qualidade. Porém, os resultados encontram-se de acordo com os encontrados por Bueno et al. (2002) e Oliveira et al. (2012), que relataram valores de 6,75 °Brix e 92,5% de Umidade, 6,80 °Brix e 89,4% de umidade para a polpa de morango, respectivamente. Lameiro et al. (2010), obtiveram em seu estudo resultados que variaram de 11 a 15 °Brix para a polpa de kiwi.

Santos et al. (2004) ressaltam que o teor de sólidos solúveis pode variar devido a fatores climáticos, variedade, solo e adição de água durante o

processamento, causando a diminuição dos teores de sólidos solúveis. Pinheiro et al. (1984), afirmam que este parâmetro é importante tanto para o consumo *in natura* como para o processamento industrial, visto que elevados teores desses constituintes nos frutos implicam menor adição de açúcares, menor tempo de evaporação da água, menor gasto de energia e maior rendimento do produto, resultando em maior economia em seu processamento.

Os valores de densidade encontrados na literatura são coerentes com os resultados obtidos experimentalmente. Alvarado e Romero (1986), encontraram valores a 20 °C de 1.051 kg.m⁻³ para a polpa de uva, 1.053 kg.m⁻³ para polpa de caju e 1.076 kg.m⁻³ para polpa de graviola. Araujo, Queiroz e Figueiredo (2004), ao analisarem polpa de cupuaçu na temperatura de 20 °C, encontraram valores de densidade variando de 1.044 a 1.030 kg.m⁻³, para uma faixa de teor de sólidos de 12 °Brix à 9 °Brix, respectivamente. Os autores também estudaram amostras em várias concentrações, e em todos os casos a densidade diminuiu, proporcionalmente ao teor de sólidos (°Brix).

5.1 Difusividade térmica (α)

A difusividade térmica (α) das polpas foram determinadas em duplicata para todas as amostras e foram apresentadas na tabela 1. Os resultados obtidos para as polpas de frutas podem ser comparados com o valor teórico para a difusividade térmica da água ($\alpha = 1,43 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) (ASHRAE, 2006).

Na literatura são observados alguns dados de difusividade térmica para polpa e suco de fruta. Pereira et. al. (2003) encontraram valores de α na polpa de açaí de $1,441 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Os autores mediram a difusividade através de aquecimento da polpa, empregando o método de Dickerson (1965). Muniz et. al. (2006) obtiveram para a polpa de bacuri, em concentrações de 5 até 20 °Brix, valores de difusividade na faixa de $1,787 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ até $1,637 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$. Silva (1997) reportou na polpa de abacaxi valores de α de $1,44 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ e de $1,37 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ com 15 e 25°Brix, respectivamente. Já Bennett (1963) encontrou valores de $1,47 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ para polpas de morango. Moura et al. (1998) encontraram valores experimentais de difusividade térmica para as polpas de cupuaçu, açaí e graviola, obtendo

respectivamente os seguintes resultados: $1,46 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, $1,51 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ e $1,50 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

Para a grande maioria dos casos observados na literatura, foi possível observar que a difusividade térmica possui uma relação direta com o teor de sólidos (°Brix). Gaffney e Baird (1980), citados por Singh (1982) concordam com tal afirmação e sugerem que para um composto heterogêneo deva ser empregado o termo “aparente” ou “efetiva”, quando na designação da difusividade térmica. Segundo os autores, se a massa específica e o conteúdo de umidade dos vários componentes do alimento forem diferentes, então as difusividades térmicas dos diversos componentes serão diferentes. Os autores analisaram a difusividade térmica de toranja, verificando que a polpa do fruto possuía difusividade térmica de $1,27 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, enquanto que a difusividade térmica do albedo (película branca localizada logo abaixo da casca de frutos cítricos) foi de $1,09 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Assim, quando se emprega o termo difusividade térmica aparente, denota-se que a propriedade é uma média das difusividades térmicas para cada um dos componentes do alimento.

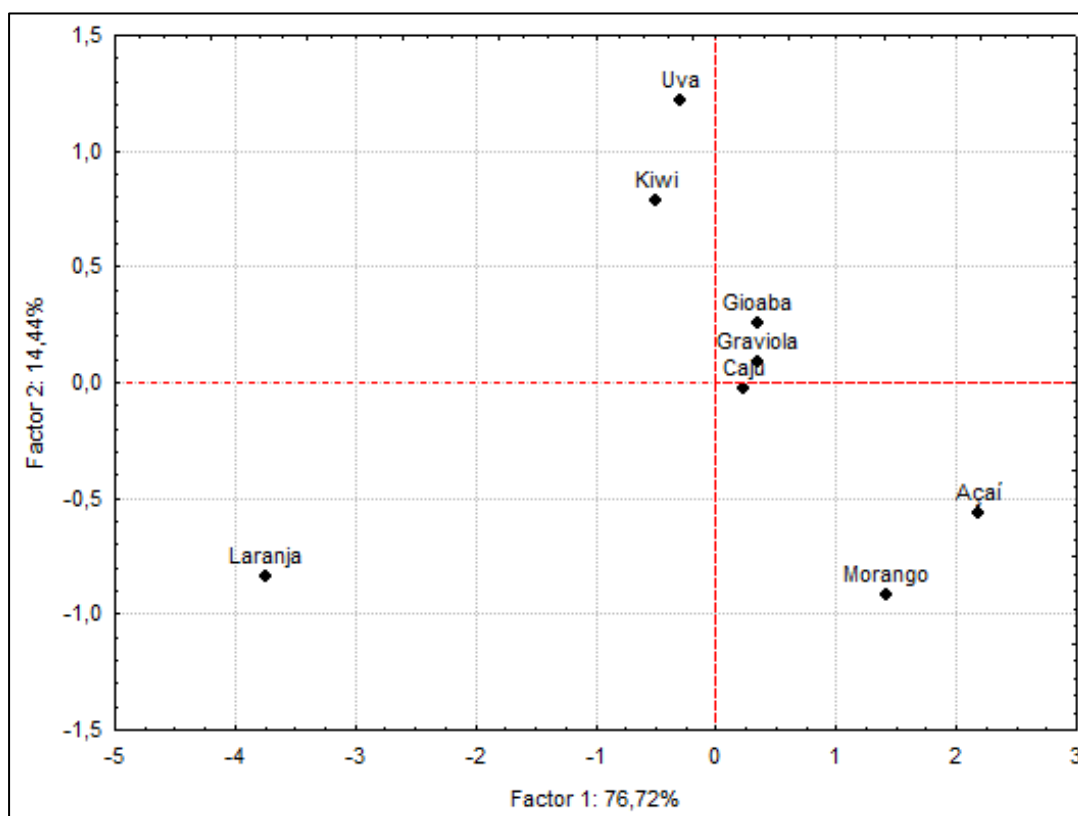
Os resultados obtidos experimentalmente estão em parte, condizentes com a literatura. Já os comportamentos distintos podem estar relacionados com o grau de heterogeneidade destas polpas, uma vez que o próprio processo de trituração dos frutos pode agregar até ar às polpas, formando um meio heterogêneo (SOUZA, 2008).

5.2 Análise multivariada

É verificado, a partir da análise de componentes principais (Figura 4), que os dois primeiros componentes, PC1 e PC2, armazenaram juntos 91,16% da variabilidade dos dados mostrados na Tabela 1. Pode-se afirmar, de acordo com a Figura 4, que com exceção da polpa de laranja, as demais polpas encontraram-se divididas em três grupos. O primeiro, caracterizado pelas polpas de kiwi e uva, que foram agrupadas principalmente pela similaridade nos teores de umidade e densidade. O segundo, composto pelas polpas de goiaba, graviola e caju, apresentaram teores próximos de umidade, teor de sólidos, densidade e

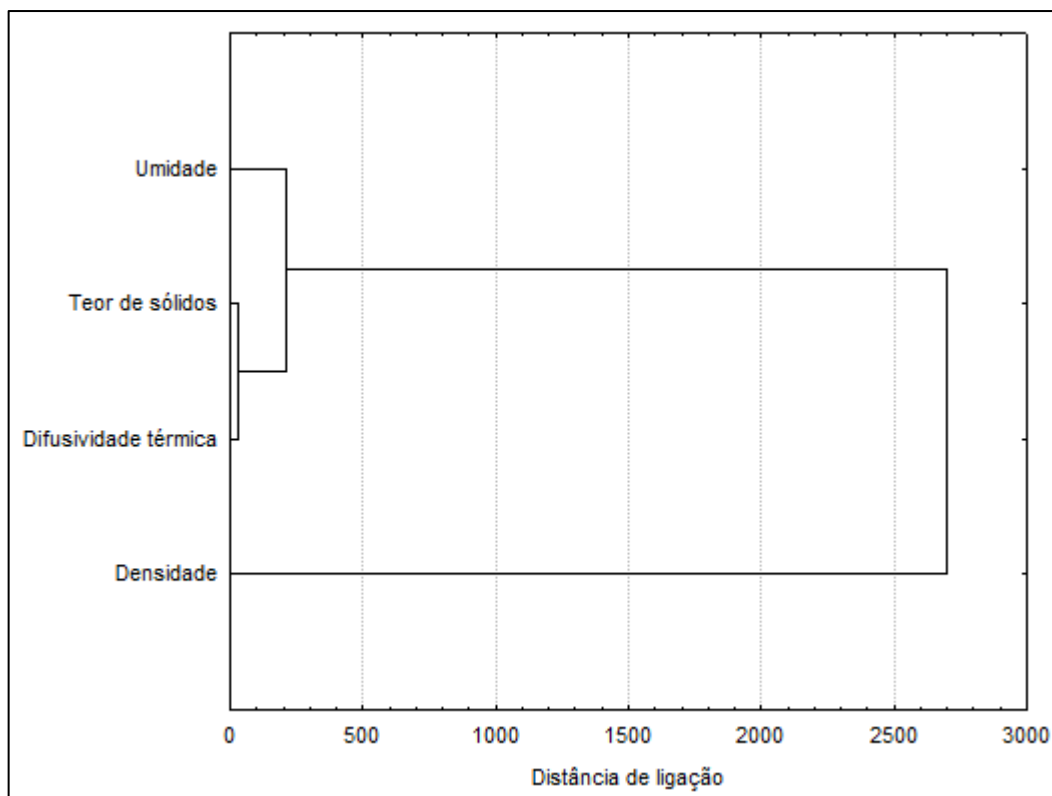
difusividade. Tal semelhança é comprovada pela quase sobreposição das amostras no gráfico. Já as polpas de morango e açaí encontraram-se agrupadas no mesmo quadrante e distantes das demais, devido aos menores teores de sólidos e menores valores de densidade.

Figura 4 – Análise de componentes principais na classificação de polpas de frutas de acordo com as propriedades físicas e difusividade térmica.



Na Figura 5 é apresentado o dendrograma de dissimilaridade para o agrupamento de diferentes amostras de polpas de frutas, de acordo com os parâmetros analisados. Permite-se observar a correlação entre o teor de sólidos e a difusividade térmica e a correlação negativa entre umidade e densidade. Ainda, pode-se confirmar que a densidade foi o parâmetro responsável pela maior variabilidade entre as amostras analisadas, por ser o último parâmetro a se ligar ao grupo de características avaliadas.

Figura 5 – Dendrograma de dissimilaridade de acordo com as propriedades físicas e difusividade térmica utilizadas na classificação de polpas de frutas.



6 CONCLUSÃO

Os processos térmicos estão entre as mais importantes técnicas da preservação de alimentos, particularmente polpas de frutas e sucos. Durante o processamento, propriedades importantes como a densidade e a difusividade térmica podem apresentar mudanças substanciais dependendo da composição, temperatura e estrutura física do alimento.

Mesmo não sendo um dos objetivos do estudo, verificou-se que dentre os oito tipos de polpas de frutas analisadas, uma delas apresentou-se fora dos limites estabelecidos pela legislação vigente. O reflexo dessa não conformidade teve influência na difusividade térmica do produto. A determinação da difusividade térmica de alimentos heterogêneos, tais como as polpas de frutas estudadas, foi uma tarefa que demandou cuidado e atenção nos procedimentos experimentais, devido à sensibilidade do método.

A heterogeneidade das polpas provocou uma variabilidade natural nos resultados, porém em acordo com a literatura revisada. Ficou clara a relação do teor de sólidos (°Brix) e a sua densidade com a capacidade da polpa em difundir calor.

Foi possível, portanto, utilizar a análise estatística multivariada para classificar polpas de frutas de acordo com as propriedades físicas e a difusividade térmica. A polpa de laranja foi a que apresentou maior variabilidade dentre as frutas estudadas e a densidade das polpas foi o parâmetro que mais contribuiu para a variabilidade entre elas.

7 REFERÊNCIAS

ALVARADO, J. D. Propiedades físicas de frutas. IV Difusividad y conductividad térmica efectiva de pulpas (Physical properties of fruits. IV. Effective thermal diffusivity and conductivity of pulps). **Latin American Applied Research**, v. 24, p. 41-47, 1994.

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

ARAÚJO, J. L.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIREDO, 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, jan/fev, 2004.

ASHRAE. Refrigeration Handbook: thermal properties of foods. Atlanta: **American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers**, 2006.

BENNETT, A. H. **Thermal Characteristics of peaches as related to hydrocooling**. Washington: USDA - Ams, 1963. 33 p.

BON, J.; VÁQUIRO, H.; BENEDITO, J.; TELIS-ROMERO, J. I. Thermophysical properties of mango pulp (*Mangifera indica* L. cv. Tommy Atkins). **Journal of Food Engineering**. n. 97, p. 563-568, 2010.

BUENO, S. M.; LOPES, M. R. V.; GRACIANO, R. A. S.; FERNANDES, E. C. B.; GARCIA-GRUZ, C. H. Avaliação da qualidade de Polpas de Frutas Congeladas. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 62, n. 2, p. 121-126, 2002.

BRASIL. Instrução normativa Nº 1 de 7 de janeiro de 2000, **Diário Oficial da União Nº 6**, Brasília, 10 de janeiro de 2000. Seção I., p. 54-58. Regulamento técnico geral para fixação dos padrões de identidade e qualidade para polpa de fruta.

CARBONERA, L.; CARCIOFI, B. M.; HUBER, E.; LAURINDO, J. B. Determinação experimental da difusividade térmica de uma massa de tomate comercial. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 6, n. 2, p. 285-290, 2003.

DICKERSON, R. W. An apparatus for measurements of Thermal Diffusivity of Foods. **Food Technology**, v. 19, n. 5, 198-204, 1965.

EMBRAPA. **Respiração de Frutas e Hortaliças**. Brasília: Embrapa, 2007. 10 p. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/780621>>. Acesso em: 09 out. 2017.

ESCOFIER, B.; PAGÈS, J. **Análisis factorialies simples y multiples: objetivo, métodos y interpretación**. Bilbao. Ed. Universidad del Pais Vasco, 1992.

GADELHA, A. J. F. Avaliação de Parâmetros de Qualidade Físico-Químicos de Polpas Congeladas de Abacaxi, Acerola, Cajá e Caju. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n.1, p.115-118, 2009.

INCROPERA, F. P.; DeWITT, D. P. **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa**. 5ª edição, LTC – Livros Técnicos e Científicos S.A., Rio de Janeiro, Brasil, 698p., 2003.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. Porto Alegre: Mcgraw Hill Brasil, 2012.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Procedimentos e determinações gerais. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 1. Ed. Digital. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, p. 83-158, 2008.

JOHSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. 3. ed. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1992.

LAMEIRO, M. DA G. S.; MACHADO, M. I. R.; BORGES, S.; VALII, A. P. A.; HELBIG, E.; ZAMBIAZI, R. Comparação dos parâmetros físico-químicos de polpas de kiwi nacional e chileno. In: II Mostra Científica 2010: Universidade Federal de Pelotas, 2010. **Anais eletrônicos da II Mostra Científica 2010**. Pelotas: UFPel, 2010.

LEAL, F. C. Desenvolvimento e validação de metodologia para determinação de propriedades termofísicas em alimentos. 50f. 2017. **Trabalho de conclusão de curso (Engenharia de Alimentos)**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.

MARTEL, J. H. I.; FERRAUDO, A. S.; MÔRO, J. R.; PERECIN, D. Estatística multivariada na discriminação de raças amazônicas de pupunheiras (*Bactris gasipaes* Kunth) em Manaus (Brasil). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 1, p. 115-118, 2003.

MARTENS, T. **Mathematical model of heat processing in flat containers**. Ph. D. thesis. Katholieke University, Leuven, Belgium, 1980.

MASCHERONI, R. H. **Operations in Food Refrigeration**. Boca Raton: Crc Press, 2012. 402 p.

MATTOS, J. S.; MEDEROS, B. J. T. Densidade de Polpas de Frutas Tropicais: Banco de Dados e Determinação Experimental. **BioEng**, v. 2, n. 2, p. 109-118, 2008.

MERCALI, G. D.; SARKIS, J. R.; JAESCHKE, D. P.; TESSARO, I. C.; MARCZAK, L. D. F. Physical properties of acerola and blueberry pulps. **Journal of Food Engineering**, Porto Alegre, v. 106, n. 3, p.283-289, 2011.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.

MOURA, S. C. S. R.; FRANÇA, V. C. L.; LEAL, A. M. C. B. Propriedades Termofísicas de Soluções Modelo Similares a Sucos – Parte I. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n.1, p. 62-68, jan-abr, 2003.

MOURA, S. C. S. R.; FRANÇA, V. C. L.; LEAL, A. M. C. B. Propriedades Termofísicas de Soluções Modelo Similares a Sucos – Parte II. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 3, p. 454-459, jul./set. 2005.

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. 2, n. 1, p.70-76, 1998.

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

PEREIRA, C. G. Propriedades termofísicas e comportamento reológico de polpa de acerola em diferentes concentrações e temperatura. 2013. 136 f. **Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos)**, Universidade Federal de Lavras, 2013.

PEREIRA, E. A.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Massa específica da 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, 2003.

PINHEIRO, R. V. R.; MARTELETO, L. O.; SOUZA, A. C. G.; CASALI, W. D.; CONDÉ, A. R. Produtividade e qualidade dos frutos de dez variedades de goiaba, em Visconde do Rio Branco, Minas Gerais, visando ao consumo ao natural e à industrialização. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 31, p.360-387, 1984.

QUEIROZ, G. M. Determinação de Propriedades Termofísicas do Pão Tipo Francês Durante o Processamento de Assamento. 2001. 179 f. **Dissertação (Mestrado em Engenharia)** – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2001.

RAO, C. G. **Essentials of food process engineering**. Amsterdam: BIS Publishers, 2006.

RAHMAN, M. S. **Food Properties Handbook**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2009.

RESENDE, J. V.; SILVEIRA JUNIOR, V. Medidas da condutividade térmica efetiva de modelos de polpa de frutas no estado congelado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 22, n. 2, p.177-183, 2002.

RICARDO, C. O.; ROBSON, M. R.; SUELI, T. D. B.; Estudo reológico da polpa de morango (*Fragaria vesca*) em diferentes temperaturas. **Acta Scientiarum. Technology**. Maringá, v. 34, n. 3, p. 283-288, 2012

SANTOS, F. A.; SALLES, J. R. J.; CHAGAS FILHO, E.; RABELO, R. N. Análise qualitativa das polpas congeladas de frutas produzidas pela SUFRUTS, MA. **Revista Higiene Alimentar**, São Paulo, v. 18, n. 119, p.14-22, 2004.

SARRIA, S. D.; HONÓRIO, S. L. Condutividade e Difusividade Térmica do Figo (*Ficus carica* L.) "Roxo de Valinhos". **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p.185-194, abr. 2004.

SARAVACOS, G. D.; KOSTAROPOULOS, A. E. **Engineering properties in food processing simulation**. **Computers chem. Engineering**, v. 20, p. 461-466, 1996.

SAKIYAMA, T., AKUTSU, M.; MIYAWAKI, O.; YANO, T. Effective thermal diffusivity of food gels impregnated with air bubbles. **Journal of Food Engineering**, v. 39, p. 323 – 328, 1999.

SILVA, S. B. Propriedades termofísicas de polpa de abacaxi. 1997. **Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual de Campinas**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos. Campinas, São Paulo, 1997.

SOUZA, D. Estudo das Propriedades Físicas de Polpas e Néctares de Pequenos Frutos. **Dissertação (Programa de pós-graduação em Engenharia Química)** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

SWEAT, V. E. Thermal properties of foods. In: RAO, M. A.; RIZVI, S. S. H. **Engineering Properties of Foods**. New York, Marcel Dekker, 1986. p. 49-87.