

**CRISTINA WESTPHAL HARTKE**

**AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE COCÇÃO  
DE ALIMENTOS POR RADIAÇÃO  
INFRAVERMELHA**

**FLORIANÓPOLIS  
2008**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**CENTRO TECNOLÓGICO**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

**AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE COCÇÃO DE  
ALIMENTOS POR RADIAÇÃO INFRAVERMELHA**

Dissertação submetida ao Curso de Pós –  
Graduação em Engenharia de  
Alimentos da Universidade Federal de  
Santa Catarina como requisito parcial à  
obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia de Alimentos. Área de  
concentração: Desenvolvimento de  
Processos da Indústria de Alimentos.

*Orientador: Prof. Dr. José Carlos Cunha Petrus*  
*Co-orientadores: Prof<sup>te</sup> Dr<sup>a</sup> Sandra Regina Salvador Ferreira*  
*Prof. Dr. Vicente de Paulo Nicolau*

**CRISTINA WESTPHAL HARTKE**

Engenheira de Alimentos

Florianópolis, Agosto 2008.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. José Carlos Cunha Petrus, pelo apoio, compreensão e confiança no meu trabalho.

À minha co-orientadora Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Sandra Regina Salvador Ferreira pela atenção dedicada e contribuições ao trabalho.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Vicente de Paulo Nicolau pela paciência e tempo dedicado às explicações sobre Radiação e pelo carinho.

À querida amiga Franciny pela ajuda com os artigos e pelo incentivo.

Aos colegas de trabalho, especialmente ao Emmanuel, pela ajuda nos experimentos, análises e sugestões que muito contribuíram.

À minha mãe Marise, à minha família, ao meu marido Marcos, aos queridos amigos Bianca, Cheryl, Karoline, Patrícia e Samuel pelo amor e incentivo de sempre.

A Deus!

Muito obrigada!

*Dedico este trabalho ao meu pai, que sempre me apoiou, amou e se dedicou para que eu alcançasse meus objetivos.*

*Saudades!!!!*

“Procure ser uma pessoa de valor, ao invés de procurar ser uma pessoa de sucesso. O sucesso é consequência.”

*Albert Einstein*

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>iii</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b>	<b>v</b>
<b>RESUMO</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>viii</b>
<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>Ojetivos do trabalho</b>	<b>3</b>
<b>Etrutura do trabalho</b>	<b>3</b>
<b>1 REVISÃO DA LITERATURA</b>	<b>5</b>
<b>1.1 Transferência de calor por radiação</b>	<b>5</b>
<b>1.2 Carne</b>	<b>11</b>
1.2.1 Transformação do músculo em carne	11
1.2.2 Tipos de carne	12
1.2.2.1 Embutidos	12
1.2.2.2 Carne de frango	14
1.2.2.3 Carne suína	15
<b>1.3 Reações na carne durante o cozimento</b>	<b>16</b>
<b>1.4 Composição química da carne</b>	<b>21</b>
1.4.1 Água	21
1.4.2 Minerais	21
1.4.3 Carboidratos	22
1.4.4 Vitaminas	22
1.4.5 Matéria Graxa	23
1.4.6 Proteínas	23
<b>1.5 Microbiologia de alimentos</b>	<b>24</b>
1.5.1 Fatores Intrínsecos	25
1.5.1.1 Atividade de água (Aa)	25
1.5.1.2 Potencial hidrogeniônico – pH	26
1.5.2 Fatores extrínsecos	26
1.5.2.1 Temperatura	26
1.5.2.2 Umidade relativa (UR)	27
1.5.2.3 Atmosfera - presença de gases	27
<b>1.6 Refletores</b>	<b>28</b>
1.6.1 Teoria da reflexão especular da luz	28
1.6.2 Espelhos esféricos	29
1.6.3 Condições de nitidez de Gauss	29
1.6.4 Espelhos parabólicos	30
1.6.5 Espelhos elípticos	31
1.6.6 Espelhos planos	31
<b>2 MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>32</b>
<b>2.1 Modelos de aquecedores</b>	<b>32</b>

<b>2.2</b>	<b>Amostras de alimento</b>	<b>33</b>
2.2.1	Carne de frango	33
2.2.2	Carne suína	33
2.2.3	Salsicha	34
2.2.4	Hambúrguer	34
2.2.5	Batata	35
<b>2.3</b>	<b>Avaliação das amostras após o cozimento</b>	<b>35</b>
<b>2.4</b>	<b>Determinação da distribuição espectral da energia emitida pela lâmpada halógena</b>	<b>36</b>
<b>2.5</b>	<b>Medição da condutividade térmica das amostras</b>	<b>39</b>
<b>2.6</b>	<b>Refletores</b>	<b>39</b>
2.6.1	Etapa 1 – Geometria circular e elíptica	39
2.6.2	Etapa 2 – Geometria circular, parabólica e plana	40
<b>2.7</b>	<b>Medição do fluxo de calor</b>	<b>40</b>
2.7.1	Método dos blocos metálicos	40
2.7.2	Método do transdutor de fluxo de calor a gradiente tangencial	42
<b>2.8</b>	<b>Bancada de testes</b>	<b>42</b>
<b>2.9</b>	<b>Metodologia estatística ANOVA</b>	<b>43</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>44</b>
<b>3.1</b>	<b>Determinação da distribuição espectral da energia emitida pela lâmpada halógena</b>	<b>44</b>
<b>3.2</b>	<b>Avaliação de desempenho dos aquecedores</b>	<b>48</b>
3.2.1	Amostras de carne	48
3.2.2	Amostras de batata	56
<b>3.3</b>	<b>Avaliação da influência do percentual de gordura</b>	<b>58</b>
<b>3.4</b>	<b>Avaliação da geometria dos refletores</b>	<b>64</b>
3.4.1	Etapa 1 – Geometria circular e elíptica	64
3.4.1.1	Método dos blocos metálicos	64
3.4.2	Etapa 2 – Geometria circular, parabólica e plana	67
3.4.2.1	Simulação numérica	67
3.4.2.2	Método do fluxo de calor a gradiente tangencial	68
3.4.2.3	Cozimento de hambúrgueres	69
	<b>RESUMO DOS RESULTADO</b>	<b>71</b>
	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>73</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>75</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>79</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Curva da emitância espectral para um corpo negro a diferentes temperaturas. ___	6
Figura 1.2 – Fração da radiação emitida no intervalo de 0 a $\lambda_1$ . _____	7
Figura 2.1 - Bancada para a medição espectral da radiação emitida pela fonte. _____	37
Figura 2.3 - Bandeja com os blocos metálicos. _____	41
Figura 2.4 Esquema da bancada utilizada nos testes. _____	43
Figura 3.1 - Curvas de emissão espectral relativa para as diferentes tensões aplicadas à lâmpada halógena, comparadas com as curvas dos modelos de Planck para diferentes temperaturas. _____	45
Figura 3.2 Curva de emissão espectral relativa para a tensão de 120V, comparada com as curvas dos modelos de Planck para diferentes temperaturas. _____	46
Figura 3.3 - Curva de emissão espectral relativa para a tensão de 80V, comparada com as curvas dos modelos de Planck para diferentes temperaturas. _____	46
Figura 3.4 - Curva de emissão espectral relativa para a tensão de 50V, comparada com as curvas dos modelos de Planck para diferentes temperaturas. _____	47
Figura 3.5 - Perfil de elevação da temperatura interna das amostras de frango, para os comprimentos de onda de 3,3 e 1,5 $\mu\text{m}$ , no intervalo de 10 minutos de cozimento. _____	49
Figura 3.6 - Perfil de elevação da temperatura interna das amostras de bisteca suína, para os comprimentos de onda de 3,3 e 1,5 $\mu\text{m}$ , no intervalo de 10 minutos de cozimento. _____	49
Figura 3.7 - Perfil de elevação da temperatura interna das amostras de salsicha, para os comprimentos de onda de 3,3 e 1,5 $\mu\text{m}$ , no intervalo de 5 minutos de cozimento. _____	49
Figura 3.8 - Douramento na superfície das amostras de frango após o cozimento, para os aquecedores com pico de emissão em 3,3 e 1,5 $\mu\text{m}$ , respectivamente. _____	51
Figura 3.9 - Douramento na superfície das amostras de bisteca após o cozimento, para o aquecedores com pico de emissão em 3,3 e 1,5 $\mu\text{m}$ , respectivamente. _____	51
Figura 3.10 - Douramento na superfície das amostras de salsicha após o cozimento, para os aquecedores com pico de emissão em 3,3 e 1,5 $\mu\text{m}$ , respectivamente. _____	51
Figura 3.11 - Curva da temperatura média no centro das amostras de batata cozidas com 3,3 e 1,5 $\mu\text{m}$ após 10 minutos de cozimento. _____	57

Figura 3.12 - Douramento na superfície das amostras de batata, cozidas com 3,3 e 1,5 $\mu\text{m}$ , respectivamente, após o cozimento. _____	57
Figura 3.13 - Elevação da temperatura interna para as amostras de hambúrguer cozidas com o comprimento de onda 3,3 $\mu\text{m}$ , para os diferentes teores de gordura adicionada. _____	59
Figura 3.14 - Elevação da temperatura interna para as amostras de hambúrguer cozidas com o comprimento de onda 1,5 $\mu\text{m}$ , para os diferentes teores de gordura adicionada. _____	59
Figura 3.15 – Distribuição de temperatura para o refletor circular alongado. _____	65
Figura 3.16 – Distribuição de temperatura para o refletor elíptico menor. _____	65
Figura 3.17 – Distribuição de temperatura para o refletor circular ondulado. _____	65
Figura 3.18 – Distribuição de temperatura para o refletor elíptico maior. _____	66
Figuras 3.19 - Curvas do fluxo de calor médio absorvido na superfície dos blocos metálicos _____	66
Figura 3.20 - Simulação do fluxo de calor e temperatura para refletor plano, circular e parabólico, respectivamente. _____	67
Figura 3.21 - Distribuição de fluxo de calor para o refletor circular. _____	68
Figura 3.22 - Distribuição de fluxo de calor para o refletor plano. _____	68
Figura 3.23 - Distribuição de fluxo de calor para o refletor parabólico. _____	68
Figura 3.24 - Amostras de carne cozidas com os conjuntos circular, parabólico e plano, respectivamente. _____	70

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Coeficientes de absorção espectral da água	20
Tabela 2.1 Redes de difração usadas nos ensaios	38
Tabela 3.1 - Perda de massa para as amostras de frango, cozidas com o comprimento de onda de 3,3 $\mu\text{m}$	52
Tabela 3.2 - Perda de massa para as amostras de frango, cozidas com o comprimento de onda de 1,5 $\mu\text{m}$ .	52
Tabela 3.3 - Perda de massa para as amostras de bife suína, cozidas com o comprimento de onda de 3,3 $\mu\text{m}$	53
Tabela 3.4 - Perda de massa para as amostras de bife suína, cozidas com o comprimento de onda de 1,5 $\mu\text{m}$	53
Tabela 3.5 - Tempo médio para atingir 82°C no centro das amostras de frango, cozidas com o queimador com pico de emissão em 3,3 $\mu\text{m}$	54
Tabela 3.6 - Tempo médio para atingir 82°C no centro das amostras de frango, cozidas com o queimador com pico de emissão em 1,5 $\mu\text{m}$	54
Tabela 3.7 - Tempo médio para atingir 74°C no centro das amostras de salsicha, cozidas com o queimador com pico de emissão em 3,3 $\mu\text{m}$	54
Tabela 3.8 - Tempo médio para atingir 74°C no centro das amostras de salsicha, cozidas com o queimador com pico de emissão em 1,5 $\mu\text{m}$ .	55
Tabela 3.9 – Tempo médio para atingir 65°C no centro das amostras de bife suína, cozidas com o queimador com pico de emissão em 3,3 $\mu\text{m}$ .	55
Tabela 3.10 - Tempo médio para atingir 65°C no centro das amostras de bife suína, cozidas com o queimador com pico de emissão em 1,5 $\mu\text{m}$	55
Tabela 3.11 - Tempo para atingir 70°C no centro das amostras de batata cozidas com 3,3 $\mu\text{m}$	56
Tabela 3.12 - Tempo para atingir 70°C no centro das amostras de batata cozidas com 1,5 $\mu\text{m}$	56
Tabela 3.13 - Temperatura no centro das amostras de hambúrguer para os diferentes níveis de gordura após 10 minutos de cozimento	58
Tabela 3.14 - Medida da condutividade térmica de amostras de carne moída com gordura adicionada	60

Tabela 3.15 - Tempo para atingir 65°C no centro das amostras de hambúrguer para os diferentes percentuais de gordura_____	61
Tabela 3.16 – Perda de massa das amostras com 0, 25 e 50% de gordura, cozidas com 3,3 e 1,5 μm_____	63
Tabela 3.17 - Temperaturas máxima, mínima e média dos blocos metálicos, para cada modelo de refletor _____	64
Tabela 3.18 - Tempo para atingir a elevação de 30°C no centro do hambúrguer_____	69

## Resumo

Realizou-se um estudo para avaliação de diferentes sistemas de cocção por radiação infravermelha, com enfoque no cozimento de carnes. Amostras de carne de frango, suína e de salsicha foram avaliadas quanto à velocidade de aquecimento interno, perda de massa e douramento superficial. Para comparação com outra categoria de alimentos, amostras de batata também foram testadas. A influência do modelo de aquecedor infravermelho, e respectivo pico de radiação espectral emitida, foi verificada através do uso de duas fontes distintas, com picos de emissão em 1,5 e 3,3  $\mu\text{m}$ . O efeito do percentual de gordura da carne no cozimento também foi avaliado quanto à velocidade de aquecimento e perda de massa, utilizando-se amostras de carne bovina moída. A influência da geometria do refletor no desempenho do aquecedor em relação à intensidade da radiação emitida, e a distribuição desta radiação, foram estudadas para os refletores circulares, elípticos, planos e parabólicos.

Os dois níveis de comprimento de onda estudados apresentam capacidades de penetração diferentes, bem como diferentes níveis de absorção da radiação na superfície do alimento. Para todos os tipos de carnes estudadas o aquecedor com pico de emissão em 1,5  $\mu\text{m}$  apresentou uma maior elevação da temperatura interna do alimento, bem como menores tempos de cozimento. Esta diferença foi menor para as carnes com maior conteúdo de gordura, como bife de porco e salsicha. O douramento superficial de todas as amostras de alimentos testadas foi mais intenso para o aquecedor com pico de emissão em um comprimento de onda maior, 3,3  $\mu\text{m}$ .

A adição de gordura até 25 % não apresentou influência significativa no tempo de cozimento dos hambúrgueres para ambos comprimentos avaliados. Para a adição de 50 % de gordura, o efeito no tempo de cozimento pode ser percebido para as amostras cozidas em maiores comprimentos de onda, 3,3  $\mu\text{m}$ . A perda de peso foi maior para o maior conteúdo de gordura, sendo 25, 30 e 40 % para os conteúdos de 0, 25 e 50 % de gordura adicionada, respectivamente.

Quanto à forma dos refletores, a geometria parabólica se mostrou mais eficiente em conciliar a intensidade da radiação refletida com a homogeneidade desta reflexão, apresentando maiores valores de fluxo de calor com melhor homogeneidade na superfície de cozimento.

Os resultados deste estudo demonstram a influência do comprimento de onda emitido pela fonte de radiação IV na qualidade final do alimento, bem como nos parâmetros do processo de cozimento. Estes dados podem ser utilizados para melhor escolha do modelo de aquecedor de acordo com o objetivo da aplicação do processo. A geometria do refletor também se mostrou parâmetro importante permitindo ganhos consideráveis no processo.

## ABSTRACT

A study to evaluate different infrared cooking systems was done, focused on meat cooking. Samples of chicken breast, pork, and sausage were used to evaluate cooking speed, mass loss and surface browning. For comparison purposes with other food category, potato samples were also evaluated. The influence of heater model, and respective peak of spectral emission, was verified through the use of two distinct heating sources with peak at 1,5 and 3,3  $\mu\text{m}$ . The effect of the addition of fat on cooking of beefburgers samples was also evaluated for cooking speed and mass loss. The influence of the reflector geometry used in the IR system was studied for the circular, elliptic, plane and parabolic reflectors.

The two peak wavelengths tested present different penetration properties, as well as different surface absorption characteristics on food. For all meat types the 1,5  $\mu\text{m}$  wavelength presented the shorter cooking times, as well as higher internal temperature rising. This difference was lower for the meat types with higher fat content as pork and sausage. Surface browning was more intense for all samples cooked with 3,3  $\mu\text{m}$  heater.

Fat addition until 25 % did not present a significative influence on cooking time of beefburgers for both wavelengths. When fat was added up to 50 % the effect on cooking time could be perceived for samples cooked under 3,3  $\mu\text{m}$ . Mass loss was higher for the higher fat content, being 25, 30 e 40 % for 0, 25 e 50 % fat added levels, respectively.

Concerning the reflectors shape, the parabolic geometry presented a better balance between heat intensity and distribution homogeneity at the sample level.

The results from this study have demonstrated the influence of the wavelength emitted by the heater on the final quality of the food, as well as on the cooking process parameters. These data can be used to better choose the most adequate heater for each food and application, based on its peak emitted wavelength. Reflector geometry also proved to be an important parameter contributing for the cooking process in the infrared spectral region.

## INTRODUÇÃO

## ***INTRODUÇÃO***

O aquecimento por infravermelho (IV), transfere grande quantidade de energia em pouco tempo. Não apenas superfícies, mas também sólidos de geometria simples ou complexa, podem ser aquecidos rapidamente. Os aquecedores infravermelhos estão disponíveis em diferentes formas, materiais e potências, atendendo às diferentes especificações de processo. O comprimento de onda no qual o aquecedor emite a radiação IV influencia significativamente na eficiência do processo de aquecimento. Emissores de baixo comprimento de onda em geral apresentam maior capacidade de penetração no material, enquanto aquecedores com comprimentos de onda maiores são mais utilizados para o rápido aquecimento de superfícies e filmes finos. Aquecedores com picos de emissão combinados com as necessidades do processo de aplicação podem proporcionar um significativo ganho no desempenho.

O conhecimento das propriedades radiativas dos alimentos em relação ao espectro infravermelho é fundamental para a otimização do processo de cozimento utilizando esta faixa do espectro eletromagnético. Dagerskog e Österström (1979) avaliaram as propriedades de transmissividade e reflectividade para a faixa de IV curto, concluindo que a radiação abaixo de 1,25  $\mu\text{m}$  apresenta maior capacidade de penetração no alimento. O estudo também mostrou que, apesar de maior penetração, estes menores comprimentos de onda são mais refletidos quando comparados com os comprimentos de onda maiores, os quais são fortemente absorvidos pela superfície do alimento. Bolshakov et al.

(1976) mostraram a maior penetração dos menores comprimentos de onda ao avaliarem três picos de emissão, 1,07; 2,4 e 4,2  $\mu\text{m}$ . Para a carne de porco crua a capacidade de penetração foi de 3,9; 1,5 e 1,1 mm respectivamente. A influência da capa de gordura, presente na superfície da carne, no percentual de radiação refletida foi avaliada por Dagerskog (1979), concluindo que a carne com capa de gordura reflete mais a radiação do que a carne sem capa de gordura.

---

***Objetivos do trabalho:***

---

O presente trabalho teve como objetivo principal a avaliação de diferentes sistemas de cocção por radiação infravermelha, com foco no cozimento de carnes.

Os objetivos específicos foram:

- Avaliar a influência do modelo de aquecedor, e respectivo pico de radiação espectral emitida, no tempo de cozimento, elevação da temperatura interna, perda de massa e douramento superficial de amostras de carne de frango, suína e salsicha;
- Verificar a interação entre o comprimento de onda, da radiação emitida pelo aquecedor, e a composição do alimento no resultado do processo de cocção;
- Avaliar a influência da adição de gordura no tempo de cozimento, elevação da temperatura interna e perda de massa de amostras de hambúrguer bovino;
- Verificar o desempenho do sistema de cozimento por IV com a utilização de diferentes geometrias de refletores.

---

***Estrutura do trabalho:***

---

Este trabalho está estruturado em capítulos. No primeiro capítulo apresenta-se uma revisão da literatura, abordando os assuntos referentes à transferência de calor por radiação, reações na carne durante o cozimento, composição e estrutura da carne, tipos de carne, microbiologia de alimentos e teoria da reflexão da luz e da reflexão em espelhos. O segundo capítulo, referente à metodologia aplicada, descreve os modelos de fonte IV utilizados, o preparo das amostras utilizadas nos ensaios, o método de medição da condutividade térmica, a medição do espectro de emissão da lâmpada halógena,

a medição de temperatura das amostras, os modelos de refletores estudados, os métodos de medição de fluxo de calor, a bancada de testes e a metodologia estatística utilizados. Os resultados experimentais são apresentados e discutidos no terceiro capítulo. As seções seguintes apresentam o resumo dos resultados, conclusões, referências e anexos.

## **1 REVISÃO DA LITERATURA**

Este capítulo foi dividido em tópicos. No primeiro tópico apresenta-se uma revisão sobre a transferência de calor por radiação. O segundo tópico descreve a transformação do músculo em carne e exemplifica alguns tipos de carne, matéria-prima utilizada neste trabalho. O terceiro tópico trata das reações na carne durante o cozimento. No quarto tópico é apresentada uma descrição da composição química das carnes. O quinto tópico aborda o tema microbiologia de alimentos. Finalizando este capítulo, apresenta-se a teoria a respeito dos refletores, incluindo tópicos sobre a reflexão da luz e reflexão em espelhos.

### ***1.1 Transferência de calor por radiação***

---

O espectro eletromagnético abrange diferentes tipos de radiação. A radiação é geralmente categorizada por comprimento de onda. Comprimentos de onda curtos possuem maior energia, como exemplos têm-se os raios gama, raios X e o ultravioleta. Os maiores comprimentos apresentam menor intensidade de radiação e têm como exemplos as ondas de rádio, microondas e o infravermelho.

Radiação térmica é a energia emitida por todo corpo com uma temperatura não nula. O fluxo de calor por radiação emitido por uma superfície é igual a

$$Q'' = \epsilon \sigma T^4 \quad (1.1)$$

sendo,  $T$  a temperatura absoluta em graus Kelvin,  $\sigma$  a constante de Stefan-Boltzmann e  $\varepsilon$  a emissividade (propriedade da superfície).

A máxima energia que pode ser irradiada por um corpo é denominada radiação de corpo negro. O corpo negro representa um modelo teórico definido como o corpo ou superfície que absorve toda e qualquer radiação incidente, independentemente do comprimento de onda e da direção. Em consequência, é o corpo que apresenta o maior valor de emissão, em qualquer comprimento de onda, para uma dada temperatura. A radiação emitida pelo corpo negro abrange todo o espectro eletromagnético, variando em intensidade e pico de emissão de acordo com a temperatura do objeto. A equação de Planck descreve a curva da radiação emitida por um corpo negro, figura 1.1 e equação (1.2). Para cada temperatura, o corpo negro emite um padrão de energia, representado pela área abaixo desta curva (INCROPERA e DE WITT, 2003).

$$E_{\lambda b} = C_1 / (\lambda^5 \exp(C_2 / \lambda T) - 1) \quad (1.2)$$

sendo,  $C_1 = 3,74 \times 10^8 \text{ W } \mu\text{m}^4/\text{m}^2$  e  $C_2 = 1,439 \times 10^4 \text{ } \mu\text{m K}$ ,  $T$  a temperatura absoluta e  $\lambda$  o comprimento de onda em  $\mu\text{m}$ .

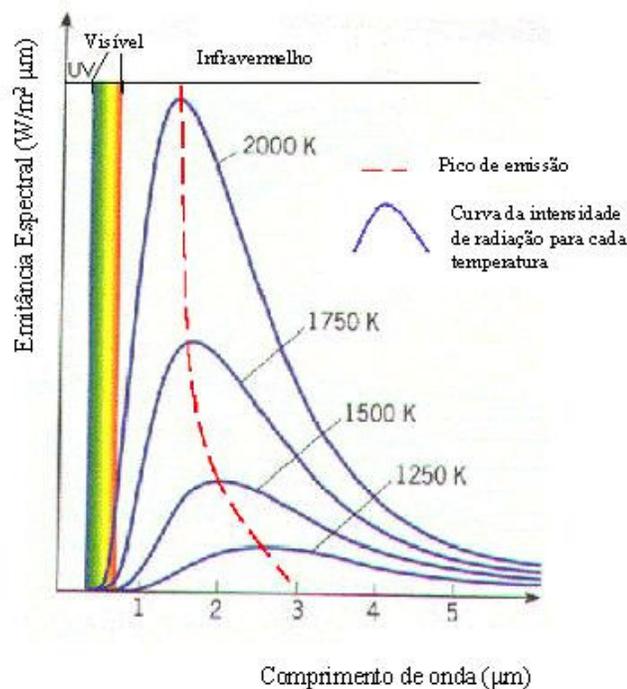


Figura 1.1 - Curva da emitância espectral para um corpo negro a diferentes temperaturas.

A posição espectral do pico de emissão para cada temperatura do corpo negro varia de acordo com a Lei do deslocamento de Wien, equação (1.3):

$$\lambda_{max} T = 2898 \mu m.K \quad (1.3)$$

Dados do coeficiente de absorção da água mostram que abaixo de 1,4  $\mu m$  a radiação é gradativamente menos absorvida. Para ambos aquecedores avaliados no presente estudo, é possível calcular o percentual da radiação emitida localizada nesta banda de emissão, abaixo de 1,4  $\mu m$ . Para uma dada temperatura e o intervalo de 0 a  $\lambda$ , essa fração é determinada pela equação (1.4):

$$F_{(0 \rightarrow \lambda)} \equiv \frac{\int_0^{\lambda} E_{\lambda,b} d\lambda}{\int_0^{\infty} E_{\lambda,b} d\lambda} = \frac{\int_0^{\lambda} E_{\lambda,b} d\lambda}{\sigma T^4} = \int_0^{\lambda T} \frac{E_{\lambda,b}}{\sigma T^5} d(\lambda T) = f(\lambda T) \quad (1.4)$$

Uma vez que o integrando é função exclusivamente do produto do comprimento de onda e da temperatura, a integral pode ser calculada para se obter  $F(0 \rightarrow \lambda)$  como uma função apenas de  $\lambda T$ . A figura 1.2 ilustra o cálculo descrito acima.

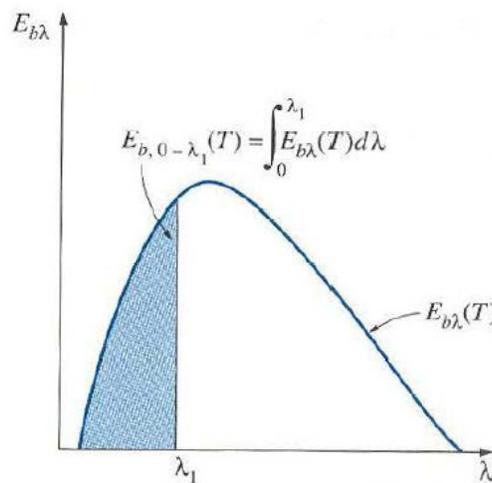


Figura 1.2 – Fração da radiação emitida no intervalo de 0 a  $\lambda_1$ .

No caso dos aquecedores avaliados neste estudo, o cálculo mostra que o aquecedor com 1,5  $\mu\text{m}$  de pico apresenta 23% da sua radiação emitida em comprimentos de onda abaixo de 1,4  $\mu\text{m}$ , enquanto o aquecedor com 3,3  $\mu\text{m}$  de pico apresenta apenas 0,2 % da radiação emitida abaixo de 1,4  $\mu\text{m}$ .

Em relação ao transporte da radiação, um feixe incidente em uma superfície pode ser dividido em três parcelas: absorção, reflexão e transmissão. Considerando a conservação da energia, a equação (1.5) apresenta um balanço na superfície:

$$q''_{inc} = q''_{ref} + q''_{trans} + q''_{abs} \quad (1.5)$$

Dividindo-se cada termo pelo fluxo incidente tem-se a equação (1.6):

$$1 = \underbrace{\frac{q''_{ref}}{q''_{inc}}}_{=\rho \text{ refletividade}} + \underbrace{\frac{q''_{trans}}{q''_{inc}}}_{=\tau \text{ transmissividade}} + \underbrace{\frac{q''_{abs}}{q''_{inc}}}_{=\alpha \text{ absortividade}} \quad (1.6)$$

Estas parcelas são definidas respectivamente como a refletividade  $\rho$ , transmissividade  $\tau$  e absortividade  $\alpha$ . Assim, a equação (1.7) apresenta o resultado em termos das propriedades da superfície:

$$\rho + \tau + \alpha = 1 \quad (1.7)$$

Todo este raciocínio pode também ser feito para os valores espectrais, gerando a equação (1.8), que envolve as propriedades espectrais e vale para o caso de incidência de um feixe monocromático.

$$\rho_{\lambda} + \tau_{\lambda} + \alpha_{\lambda} = 1 \quad (1.8)$$

O valor de cada parcela depende do material da superfície atingida pela radiação, bem como do comprimento de onda emitido pela fonte.

A reflexão que ocorre na superfície do objeto pode ser especular ou difusa, dependendo das características desta superfície. Reflexão difusa é aquela que ocorre em uma superfície rugosa, com os raios sendo refletidos igualmente em várias direções, não havendo uma direção preferencial. A reflexão especular é a reflexão que ocorre em uma superfície polida como os espelhos, por exemplo. Neste caso a reflexão ocorre com o mesmo ângulo da radiação incidente em relação à direção normal à superfície (SIEGEL e HOWELL, 1993).

No caso de meios participantes difusores, a radiação ultrapassa a superfície e penetra no material podendo ser absorvida ou espalhada pelas partículas ou fibras componentes do meio. Como o espalhamento ocorre em várias direções, parte da radiação pode ser reenviada à superfície do meio, surgindo de forma difusa (SIEGEL e HOWELL, 1993).

A energia transportada do emissor para a superfície receptora depende de alguns fatores, tais como: áreas superficiais, temperaturas superficiais, emissividades e posição da fonte emissora em relação à superfície receptora, parâmetro este denominado de fator de forma. O fator de forma é a fração da radiação que deixa uma área  $A_1$  e é interceptada por uma outra área  $A_2$ . Para determiná-lo existem vários métodos, dependendo da posição relativa e forma das superfícies envolvidas (INCROPERA e DE WITT, 2003).

A radiação IV é usualmente dividida em 3 partes: infravermelho curto entre 0,75 e 1,4  $\mu\text{m}$ , infravermelho médio entre 1,4 to 3,0  $\mu\text{m}$  e infravermelho longo entre 3,0 e 1000  $\mu\text{m}$  (SAKAI e HANZAWA, 1994). Para promover o aquecimento de um objeto, a radiação infravermelha é útil entre os comprimentos de onda de 0,76 a 10  $\mu\text{m}$ . Os diferentes comprimentos de onda penetram nos objetos em diferentes profundidades. Em geral, menores comprimentos de onda penetram mais e promovem maior transferência de calor e massa no interior do objeto. Maiores comprimentos de onda penetram menos,

promovendo maior aquecimento superficial. Isso pode ser utilizado para se obter diferentes resultados no processamento.

## 1.2 *Carne*

---

### 1.2.1 *Transformação do músculo em carne*

A carne é uma organização complexa de músculo esquelético, tecido conjuntivo e gordura, resultante de reações físico-químicas que ocorrem no tecido muscular a partir do abate, ou mesmo antes, e que determinam a qualidade final do produto (MANTESE, 2002).

O tecido muscular esquelético é formado por feixes de células muito longas, cilíndricas e multinucleadas, chamadas fibras musculares esqueléticas. No músculo, os feixes de fibras musculares estão envolvidos por uma membrana externa de tecido conjuntivo, o epimísio. Cada fibra muscular, por sua vez, é envolvida por uma camada muito fina de fibras reticulares, formando o endomísio. A fibra muscular é delimitada por uma membrana, o sarcolema, e seu citoplasma apresenta-se preenchido principalmente por fibras paralelas, as miofibrilas (MANTESE, 2002).

Após o abate do animal, há a interrupção do fluxo sanguíneo e, com isso, é interrompido também o aporte de nutrientes e a excreção de metabólitos. O tecido muscular continua exercendo suas funções metabólicas provavelmente na tentativa de manter sua homeostase. Os processos bioquímicos do músculo após o abate são, principalmente, processos de degradação e ressíntese de ATP. Com a interrupção do aporte de oxigênio, a síntese de ATP se realiza exclusivamente por via anaeróbica. Em condições anaeróbicas o ácido pirúvico é reduzido a ácido lático ao invés de ser metabolizado a acetil coenzima A e entrar na cadeia respiratória como acontece por via aeróbica. Como não há mais fluxo sanguíneo o ácido lático produzido se acumula no músculo. Conseqüentemente há um declínio do pH no músculo *post mortem* essencialmente ligado à quantidade de glicogênio presente no músculo no momento do abate. A glicólise vai diminuindo até que as reservas de glicogênio estejam esgotadas ou até que o pH

seja tão baixo a ponto de inibir completamente as enzimas glicolíticas. O enrijecimento do músculo ocorre quando a concentração de ATP não é mais suficiente para manter as miofibrilas em estado de relaxamento. Neste ponto, actina e miosina interagem formando o complexo actomiosina de maneira irreversível, responsável pelo endurecimento muscular. O tempo de instalação do *rigor mortis* depende de fatores externos, como a temperatura, e internos, como as reservas de glicogênio. A resolução ou final do rigor mortis é indicada pelo amaciamento das massas musculares e resulta de alterações causadas por degradação da ultraestrutura da fibra muscular. Até este momento, dois fenômenos são de extrema importância na transformação do músculo em carne: a queda do pH muscular e a resolução do rigor mortis. Do ponto de vista tecnológico, considera-se carne o músculo que tenha passado pelo rigor mortis (MANTESE, 2002).

### ***1.2.2 Tipos de carne***

#### ***1.2.2.1 Embutidos***

A Salsicha é um embutido de carne oriunda de uma emulsão, caracterizada como uma massa fina. Essa emulsão é formada após a mistura de carnes, aditivos e condimentos, promovendo uma mistura íntima dos glóbulos de gordura com uma matriz de proteína e água. A massa fina incorporada à tripa recebe tratamentos térmicos, sendo então feita a remoção deste envoltório para seu acabamento. A salsicha pode ser então congelada ou enlatada, sendo esta com esterilização devidamente programada. Com o intuito de se obter uma maior preservação da salsicha, ela pode ser curada ou até defumada (ODERICH, 2007).

A produção da salsicha apresenta uma ampla variedade de ingredientes cárneos e não cárneos, cada um exercendo uma função específica de acordo com a sua propriedade. As carnes mais usadas pela indústria de salsicharia são as de bovino (boi, vaca, vitela), suínos (porco e leitão) e aves (galinha e frango). A carne representa o principal componente na produção da salsicha, pois além do poder ligador, atribuí suas características (cor e valor alimentício) ao produto. Uma parte das carnes utilizadas é constituída de retalhos (coração, medula, miolo, tendões, peles, rins, estômago, beíço, pulmão, entre outros), oriundos da desossa das carcaças. Os ingredientes não cárneos visam modificar as características químicas, físicas e biológicas, de acordo com a formulação da salsicha produzida, destacando-se os aditivos, envoltórios, especiarias e condimentos. Os demais componentes são as embalagens, como recipientes metálicos e embalagens plásticas, que têm o propósito de conservar o produto, conferir resistência a choques térmicos e mecânicos e facilitar seu transporte (ODERICH, 2007).

As salsichas podem ser classificadas de diversas maneiras: pelo tipo de carne da qual ela é feita ou pela sua consistência. A classificação mais popular é de acordo com a composição da matéria-prima e das técnicas de fabricação. As mais populares são: salsicha; salsicha Viena; salsicha Frankfurt; salsicha tipo Viena; salsicha de carne de ave; salsicha hot dog (ODERICH, 2007).

O teor dos elementos químicos orgânicos máximos nas salsichas é de 1 a 2 % de amido, 1 – 7 % de carboidratos totais, 65 % de umidade, 30 % de gordura e 12 % de proteínas (ODERICH, 2007).

### 1.2.2.2 *Carne de frango*

O consumo de carne de frango é antigo, sendo um dos tipos de carne mais consumidos na Idade Média. Durante a segunda guerra mundial, o consumo de carne de frango aumentou devido a falta de carne de gado e suína.

Tipicamente, o tecido muscular (peito, coxas, asas) e os miúdos (fígado, coração) são industrializados para o consumo. Os ovos de galinha também são amplamente consumidos. A carne de frango é comercializada de diferentes maneiras, podendo ser encontrada em cortes congelados e resfriados, temperados ou não, bem como em peças inteiras.

A carne de frango é conhecida como carne branca, diferenciando sua característica de cor da carne de gado e carne suína. Essa diferença na pigmentação do músculo se deve à menor presença de mioglobina no tecido muscular do frango. Como o frango raramente voa, o músculo do peito é pouco utilizado, necessitando de menos reservas de oxigênio para suas atividades. Como a mioglobina é a reserva de oxigênio nos músculos que exercem atividades constantes, esta molécula está pouco presente no músculo do peito. Por outro lado, o músculo das coxas é utilizado com maior frequência e, por este motivo, apresenta uma maior concentração de mioglobina o que resulta em uma carne com coloração mais escura. Aves selvagens, como os patos, voam constantemente e apresentam uma carne com coloração mais escura, com maior concentração de mioglobina (McGEE, 2005).

A composição centesimal da carne de frango varia com o corte analisado. Para o peito sem pele e sem osso cru, a cada 100 gramas de parte comestível obtém-se 22 gramas de proteínas e 3 gramas de lipídios. O valor de umidade é 75 % (UNICAMP, 2004).

### 1.2.2.3 Carne suína

O consumo de carne suína vem crescendo continuamente ao longo dos últimos anos. De 1970 a 2000, cresceu na proporção de 2 % ao ano. Se continuar nesse ritmo, no ano 2010 o consumo de carne suína será de 16,5 kg por habitante. O maior consumo ocorre nos países mais desenvolvidos, sendo a carne suína a mais consumida mundialmente quando comparada à carne de gado e à carne de frango (SILVA, 2005).

Para tornar a espécie economicamente mais viável e pelas exigências da população por um animal com menos gordura, técnicos e criadores passaram a desenvolver um novo tipo de suíno. Esses animais começaram a apresentar menores teores de gorduras na sua carcaça e a desenvolver massas musculares proeminentes, especialmente nas suas carnes nobres, como o lombo e o pernil. No início o porco apresentava 40 a 45% de carne magra e espessuras de toucinho de 5 a 6 centímetros. Atualmente o suíno moderno apresenta de 55 a 60 % de carne magra na carcaça e apenas 1,5 a 1 centímetro de espessura de toucinho. Nos últimos 20 anos, o teor de gordura diminuiu 35 %, o de calorias em 20 % e o de colesterol em 15%. O nível de colesterol é igual ou até menor que o de outras carnes (SILVA, 2005).

A carne suína, classificada como carne vermelha, é um alimento rico em nutrientes, apresentando diversos benefícios à saúde humana. Ela é rica em proteína de alto valor biológico, ácidos graxos monoinsaturados, vitaminas do complexo B e diversos minerais. O teor de gordura e valor calórico depende da localização da carne no animal, mas a quantidade dos demais nutrientes é pouca afetada. Atualmente a composição geral da carne suína consiste de 72% de água, 20% de proteínas, 7% de gordura, 1% de minerais e menos de 1% de carboidratos. Quando comparada aos outros alimentos, a carne suína é um alimento rico em proteínas e pobre em carboidratos, fato que auxilia na redução

calórica do produto, 100 gramas de carne possui cerca de 147 kcal (SARCINELLI et al, 2007).

### ***1.3 Reações na carne durante o cozimento***

---

O cozimento da carne tem por objetivos principais a melhoria sensorial do sabor, odor e textura, e a eliminação de possíveis patogênicos presentes na carne. As reações químicas que ocorrem na carne para deixá-la macia, e aquelas que conferem à carne a coloração dourada e o sabor e odor característicos da carne assada, ocorrem a temperaturas bastante diferentes. Os microorganismos patogênicos são eliminados a temperaturas intermediárias entre estes dois extremos.

A carne contém diferentes tipos de proteínas, cada uma com uma função diferente. As proteínas são macromoléculas orgânicas formadas pela seqüência de vários aminoácidos unidos por ligações peptídicas. A seqüência de aminoácidos e ligações peptídicas em uma proteína representa a estrutura primária. A estrutura secundária é dada pelo arranjo espacial de aminoácidos próximos entre si na seqüência primária da proteína. Ocorre devido à possibilidade de rotação das ligações entre os carbonos dos aminoácidos e seus grupamentos amina e carboxila. Em decorrência à existência de pontes de hidrogênio, entre o hidrogênio (carga positiva +) de um aminoácido com o oxigênio ou nitrogênio (carga negativa -) de um outro aminoácido não adjacente, é proporcionada uma torção na cadeia filamentosa, assumindo a proteína uma forma helicoidal. As propriedades químicas dos aminoácidos podem ter efeitos de atração ou repulsão uns para com os outros, principalmente pelo estabelecimento de pontes bissulfeto, causando flexões sobre si mesma chamada de estrutura terciária. A estrutura terciária confere a atividade biológica à proteína. O agrupamento de duas ou mais estruturas terciárias combinadas a

outras substâncias (vitaminas, minerais, etc.) forma a estrutura quaternária (ENQ, 2008; BRASIL, 2008).

Quanto submetidas ao calor, durante o cozimento, as proteínas sofrem modificações na sua estrutura causando o que se denomina de desnaturação. A desnaturação é um processo que ocorre quando a proteína perde sua estrutura secundária ou terciária, perdendo assim sua função e forma (McGEE, 2004).

Quando a proteína desnaturada, na presença de calor, reage com o açúcar presente na carne ocorre a reação denominada de Reação de Maillard. Esta reação é responsável pela formação do sabor e aromas relacionado a carne cozida, bem como da coloração dourada característica da superfície da carne (McGEE, 2004).

No interior da carne, a coloração também é modificada devido à ação do calor sobre as proteínas. Com o aquecimento em torno de 50 °C as proteínas miofibrilas desnaturam e coagulam, conferindo uma certa opacidade à carne. Com a temperatura no interior da carne em torno de 60 °C, a mioglobina perde sua habilidade de ligação com o oxigênio e o átomo de ferro, presente no interior da molécula, perde um elétron. Esse processo forma um composto de cor dourada denominado hemicromo. Com o aumento da temperatura interna, os níveis de hemicromo aumentam e a mioglobina se transforma em metamioglobina, cuja coloração é acinzentada. Estes níveis de coloração caracterizam o grau de cozimento da carne. Para os tipos de carne menos ricos em mioglobina, como a carne de frango e a de peixe, não há esta variação no grau de cozimento evidenciada pela cor. A variação da temperatura interna também influencia na textura da carne. No início do aquecimento, as proteínas miofibrilares (actina e miosina) desnaturam liberando o fluido presente no músculo, provocando o enrijecimento da carne. Em torno de 70 °C o colágeno inicia sua solubilização, amaciando a carne devido a gelatinização do colágeno (McGEE, 2004).

Os processos de transferência de calor e massa durante o cozimento são fenômenos complexos devido às mudanças transientes das propriedades do alimento. No interior do alimento, transformações como o derretimento da gordura e a migração de água para a superfície alteram as propriedades térmicas e físicas deste alimento. O processo de cozimento provoca o encolhimento da carne, sendo acompanhado da redução da capacidade de retenção de água, o que resulta em perda de líquido. Essas mudanças físicas são influenciadas pelas propriedades do produto, taxas de transferência de calor e massa, e as condições de cozimento (SINGH, 2000).

Durante o cozimento a temperatura da superfície excede 100 °C, resultando na formação da chamada crosta. A espessura desta crosta aumenta no decorrer do cozimento. As propriedades físicas e térmicas da crosta são diferentes daquelas do interior do alimento. A crosta, caracterizada por sua estrutura porosa, afeta as taxas de transferência de calor e de massa, influenciando o transporte de vapor e gordura. Em adição, a crosta altera, também, a textura da carne (SINGH, 2000).

A influência da composição da amostra de carne no processo de cozimento, bem como na qualidade final do produto, foi estudada por diferentes autores. Troutt et al (1992), reportaram que uma amostra de hambúrguer com alto teor de gordura requer um tempo maior de cozimento para atingir a temperatura central desejada. O estudo também mostrou que a perda de massa durante o cozimento aumentou de 24,8 para 32,1 % quando o conteúdo de gordura foi aumentado de 5 para 30 %. As mudanças nas propriedades térmicas e físicas de amostras de hambúrgueres também foram estudadas por Pan e Singh (2000) que apontaram que a condutividade térmica variou entre 0,35 e 0,41 W/m° K no intervalo de temperatura de 5 a 70 °C. Eles também mostraram a diminuição da densidade do hambúrguer com o aumento da temperatura, achando uma densidade mínima no intervalo de temperatura entre 50 e 60 °C. O volume diminui com o aumento da temperatura de 30 para 70 °C.

Durante o cozimento por radiação IV, considerando-se uma aplicação unilateral da radiação, uma zona superficial, uma zona central e uma camada de evaporação são formadas abaixo da superfície aquecida. A camada de evaporação é o plano no qual a evaporação ocorre e se localiza abaixo da superfície aquecida. A camada se estabelece no nível do menisco dos capilares - poros da carne. Como os capilares não possuem o mesmo comprimento e diâmetro, a camada não possui forma plana, e sim, segue o nível dos meniscos de cada capilar, ou poro (SHERIDAN e SHILTON, 2000).

A evaporação se inicia logo nos primeiros instantes do cozimento e continua no decorrer do processo. As perdas por evaporação são quase exclusivamente perdas de água. Durante o cozimento os mecanismos de migração se combinam para entregar água suficiente para que ocorra a evaporação na superfície do menisco. O vapor de água passa pela zona superficial, também conhecida como crosta, e é liberado no ambiente. Ao passar pela crosta, o vapor é novamente aquecido, devido à zona de alta temperatura ali formada. Logo, ele é liberado no ambiente na forma de vapor superaquecido. O excesso de água, abaixo e acima da taxa de evaporação, é liberada por gotejamento, que constitui uma forma líquida de perda (SHERIDAN e SHILTON, 2000).

A zona superficial é definida como uma área de alta absorção e transmissão da radiação infravermelha, e também de alta transferência por condução e convecção, no exterior da qual a crosta superficial se forma (SKJOLDEBRAND E OLSSON, 1980). O conteúdo de umidade da zona superficial se aproxima de zero no decorrer do cozimento. A fração de gordura da zona superficial também diminui com o cozimento, tanto por gotejamento da gordura derretida, como pela dispersão de parte desta gordura no vapor de água liberado durante o processo (SHERIDAN e SHILTON, 2000).

A zona central se localiza abaixo da camada de evaporação. A partir do centro, a umidade migra para as extremidades e é liberada no ambiente através

da camada de evaporação. Esta camada central diminui sua área ao longo do cozimento, enquanto a camada externa se move para o interior da carne (SHERIDAN e SHILTON, 2000).

A perda de massa durante o cozimento se dá por evaporação e por perda líquida. A evaporação em carnes é basicamente água. Já a perda de líquidos durante o cozimento é constituída por perda de gordura e de água. Nas carnes com baixo teor de gordura, a perda de massa ocorre mais por evaporação de água do que por perda de constituintes na forma líquida. Nas carnes com alto teor de gordura, a perda de massa por gotejamento da gordura derretida é considerável e pode ser equivalente a perda de massa por evaporação de água (SHERIDAN e SHILTON, 2000).

No tocante à penetração da radiação térmica, a água possui comportamento diversificado conforme o comprimento de onda da radiação incidente. A interação entre a radiação e a água é dada pela equação (1.9) (SIEGEL e HOWELL, 1993).

$$I_{\lambda}(x) = I_{\lambda_0} e^{-\alpha_{\lambda} x} \quad (1.9)$$

Sendo  $I_{\lambda}(x)$  a intensidade espectral de radiação remanescente a uma distância  $x$  da superfície do material e  $I_{\lambda_0}$  a intensidade espectral incidente na superfície da amostra. A tabela 1.1 apresenta o coeficiente de absorção da água,  $\alpha_{\lambda}$ , em função do comprimento de onda  $\lambda$ . Observa-se uma menor absorção no início do espectro,  $\lambda = 1 \mu\text{m}$ . A absorção aumenta rapidamente para comprimentos de ondas maiores.

Tabela 1.1 – Coeficientes de absorção espectral da água.

$\lambda, \mu\text{m}$	$\alpha_{\lambda}, \text{cm}^{-1}$						
1,0	0,363	1,8	8,03	2,6	153	3,4	721
1,2	1,04	2,0	69,1	2,8	5160	3,6	180
1,4	12,4	2,2	16,5	3,0	11400	3,8	112
1,6	6,72	2,4	50,1	3,2	3630	4,0	145

Fonte: Siegel e Howell, 1993.

## ***1.4 Composição química da carne***

---

A carne magra apresenta em torno de 75 % de água, 21 a 22 % de proteína, 1 a 2 % de gordura, 1 % de minerais e menos de 1 % de carboidratos. A carne magra dos diferentes animais de abate possui uma variação química pequena. As carnes cozidas ou assadas perdem água durante os preparos culinários, aumentando o teor dos outros componentes, como gordura e proteínas. Uma comparação entre a composição da carne magra, preparada, com outros alimentos mostra que a carne é um alimento rico em proteínas, pobre em carboidratos e relativamente pobre em gordura (ROÇA, 2000).

### ***1.4.1 Água***

A água é muito importante para a atividade muscular, uma vez que a pressão e descompressão, contração e relaxamento somente são possíveis em presença da água. A carne vermelha magra possui ao redor de 75 % de água, em peso. Por ser um componente abundante, a água influi na qualidade da carne, afetando a suculência, textura, cor e sabor. Sendo a água o meio universal das reações biológicas, sua presença afeta diretamente as reações que ocorrem na carne durante o armazenamento e processamento (ROÇA, 2000).

### ***1.4.2 Minerais***

O conteúdo de cinzas ou resíduo mineral fixo, obtido após incineração da carne a 500-600 °C, está em torno de 0,8 a 1,8 %. Entre as funções importantes que exercem os íons orgânicos e inorgânicos destacam-se: o cálcio e o magnésio, que desempenham papel importante na contração muscular; os

compostos orgânicos do fósforo, como diversos ésteres do ácido fosfórico que intervêm nas modificações post - mortem, no processo de maturação da carne e hidratação da carne. A carne possui quase todos os minerais de importância para a nutrição humana. Em termos quantitativos, o fósforo e o potássio são os mais importantes. Entretanto, os produtos cárneos processados são ricos em sódio devido a adição de sal refinado durante a elaboração. A carne também é uma boa fonte de oligoelementos como zinco e ferro. A importância da carne como fonte de ferro não se baseia somente no elevado teor, e sim porque o ferro proveniente da carne possui uma melhor biodisponibilidade que os alimentos vegetais (ROÇA, 2000).

### **1.4.3 Carboidratos**

A carne é pobre em carboidratos, podendo ser constituída de polissacarídeos (glicogênio) e monossacarídeos (glicose e frutose). O conteúdo de glicogênio varia com o tipo de músculo e atividade. No animal vivo, está em torno de 1,5 %, e após as modificações post - mortem, em torno de 0,1 %. As vísceras comestíveis são mais ricas em carboidratos do que a carne muscular. O fígado bovino possui de 2 a 4 % e de suíno, 1 % de carboidratos. Quando a carne é assada, os carboidratos combinam-se com aminoácidos livres, formando melanoidinas que dão sabor e odor característicos (ROÇA, 2000).

### **1.4.4 Vitaminas**

A carne possui vitaminas hidrossolúveis do grupo B, como vitaminas B1, B2, B6 e B12. As vitaminas lipossolúveis, como as vitaminas A e D, encontram-se em quantidades importantes somente nas vísceras, principalmente no fígado.

O fígado e os produtos derivados da carne possuem quantidades consideráveis de vitamina C. A carne suína é importante fonte de vitamina B1, enquanto as carnes de outros animais de abate contêm esta vitamina em menores teores. A carne e produtos derivados também possuem ácido nicotínico, pantotênico e fólico (ROÇA, 2000).

#### ***1.4.5 Matéria Graxa***

A gordura está armazenada no tecido animal de quatro modos: extracelular, constituída dos depósitos de tecido adiposo subcutâneo e demais depósitos no organismo animal; a intermuscular entre os músculos; a intramuscular, conhecida como marmorização, constituídas de fibras muito finas no tecido muscular; e também como uma pequena quantidade de gordura no tecido muscular, a qual é encontrada formando pequenas gotículas no líquido intercelular. A marmorização é desejável na carne, desde que não seja em excesso. Contribui para a suculência, firmeza e sabor da carne (ROÇA, 2000).

A tabela A1 em anexo, apresenta o conteúdo de gordura nos diferentes tipos de carne e produtos cárneos. A tabela mostra também o conteúdo de gorduras saturadas, mono - insaturadas e poli - insaturadas.

#### ***1.4.6 Proteínas***

O teor em proteínas com alto valor biológico é uma característica positiva da carne. O valor biológico de uma proteína está determinado pelo seu conteúdo em aminoácidos essenciais. As proteínas de origem animal possuem, devido à sua composição em aminoácidos, um valor biológico mais elevado que as proteínas de origem vegetal.

A solubilidade das proteínas da carne é o principal fator que determina as propriedades de suculência. A solubilidade é influenciada pelo pH, temperatura e início do rigor - mortis. Na técnica de avaliação da solubilidade, por métodos de extração, são separadas: proteínas solúveis em água, proteínas solúveis em sal (1 %), proteínas sarcoplasmáticas e proteínas miofibrilares (ROÇA, 2000).

### ***1.5 Microbiologia de alimentos***

---

A microbiologia de alimentos estuda a influência dos microorganismos nas características dos produtos alimentícios de consumo humano ou animal. A qualidade microbiológica dos alimentos está condicionada primeiro, à quantidade e ao tipo de microorganismos inicialmente presentes (contaminação inicial), e depois à multiplicação destes germes no alimento. A qualidade das matérias - primas e a higiene (de ambientes, manipuladores e superfícies) representam a contaminação inicial. O tipo de alimento e as condições ambientais regulam a multiplicação (USP, 2008).

As espécies ou grupos de microorganismos predominantes em um alimento irão depender das características inerentes a esse produto ou fatores intrínsecos, bem como das condições ambientais prevalecentes e, portanto, fatores extrínsecos. As bactérias, mofos e leveduras são os microorganismos de maior destaque como agentes potenciais de deterioração e como eventuais patogênicos ao homem. Na grande maioria das situações, as bactérias são os microorganismos numericamente predominantes nos alimentos, principalmente por apresentarem um tempo de geração reduzido, sendo capazes de utilizar muitos substratos e ampla variação de comportamento frente a fatores ambientais. O conhecimento dos fatores intrínsecos e extrínsecos dos alimentos, que favorecem ou inibem a multiplicação dos microorganismos é essencial para entender os princípios que regem tanto a alteração como a conservação dos alimentos (USP, 2008).

A competição da microbiota do alimento também atua favorecendo ou inibindo algumas espécies ou grupos de microrganismos. As bactérias lácticas podem produzir ácido láctico, ou mesmo bacteriocinas, que inibem ou eliminam certos microrganismos patogênicos do alimento. Alguns tipos de leveduras podem consumir os ácidos orgânicos dos alimentos ácidos, fornecendo condições para a multiplicação de microrganismos, que tinham sua multiplicação inibida pela acidez.

O *Staphylococcus aureus* e o *Clostridium botulinum*, são maus competidores e não se desenvolvem adequadamente em alimentos que apresentem elevadas contagens de outros microrganismos (USP, 2008).

### ***1.5.1 Fatores Intrínsecos***

#### *1.5.1.1 Atividade de água (Aa)*

O crescimento e o metabolismo microbiano exigem a presença de água em forma disponível e a Aa é um índice desta disponibilidade para utilização nas reações químicas e no crescimento microbiano. A Aa de um alimento ou solução pode ser definida como sendo a relação entre a pressão de vapor da solução P e a pressão de vapor do solvente P<sub>o</sub>. A adição de solutos a um líquido puro irá causar uma redução na pressão de vapor da solução e conseqüentemente diminuir a Aa. Sendo 1 o valor de Aa na água pura, os valores de Aa oscilarão entre 0 e 1 (USP, 2008).

A atividade de água da carne fica na faixa de 0,93 a 0,98. As bactérias normalmente necessitam valores superiores a 0,90 para se desenvolver. As leveduras e bolores atuam em atividades de água mais intermediárias. Em valores abaixo de 0,60 não há crescimento microbiano, o que não significa que

estes sejam eliminados, apenas nestas condições eles não podem se multiplicar (USP, 2008).

#### *1.5.1.2 Potencial hidrogeniônico – pH*

O pH do alimento é um dos principais fatores intrínsecos capazes de determinar o crescimento dos microorganismos nele presentes. Os alimentos podem ser classificados, de acordo com o pH, em alimentos de baixa acidez (pH > 4,5), alimentos ácidos (pH entre 4,5 e 4,0) e alimentos muito ácidos (pH < 4,0). Nos alimentos de baixa acidez há predominância de crescimento bacteriano. Nos alimentos ácidos há predominância de leveduras oxidativas ou fermentativas e de bolores. Algumas bactérias lácticas e esporogênicas, como *Bacillus* e *Clostridium*, também podem ocorrer. Nos alimentos muito ácidos o crescimento fica restrito quase que exclusivamente às leveduras e bolores. Podem ocorrer bactérias lácticas, acéticas e *Zymomonas*, sendo esta até pH 3,7 (USP, 2008).

O pH da carne situa-se geralmente entre 5,3 e 6,5, o que propicia crescimento de todos os tipos de microorganismos. O *Clostridium botulinum* é o patógeno que suporta o menor pH – 4,5 (USP, 2008).

### ***1.5.2 Fatores extrínsecos***

#### *1.5.2.1 Temperatura*

O crescimento microbiano apresenta uma faixa muito ampla de temperaturas (-5 até +90 °C). Os microorganismos são classificados de acordo com a temperatura ótima de crescimento (Anexo A4). Entre os mesófilos

destacam-se as bactérias patogênicas e deteriorantes, alguns bolores e leveduras. A maior parte das bactérias termófilas de importância alimentícia estão incluídas no gênero *Bacillus* e *Clostridium* (USP, 2008).

#### *1.5.2.2 Umidade relativa (UR)*

A umidade relativa interfere diretamente na atividade de água do alimento. Um alimento de baixa atividade de água, quando armazenado em um ambiente com alta UR, apresentará um aumento na  $A_w$  podendo sofrer deterioração por microrganismos. O binômio UR - temperatura é de grande importância, sendo que no geral, quanto mais elevada a temperatura de estocagem, menor deverá ser a UR, sendo o inverso verdadeiro (USP, 2008).

#### *1.5.2.3 Atmosfera - presença de gases*

A armazenagem de alimentos em atmosfera contendo  $\text{CO}_2$  é conhecida como estocagem em “atmosfera controlada ou modificada”, sendo utilizada com o intuito de retardar a deterioração, causada por fungos filamentosos. Tal efeito se deve à inibição do etileno, que atua nas frutas como fator de envelhecimento, pelo gás carbônico. A concentração de dióxido de carbono geralmente não excede 10%. Atmosferas controladas são também utilizadas para estender o armazenamento de carnes, sendo as bactérias Gram – negativas (*Pseudomonas*) mais sensíveis ao gás carbônico do que as Gram - positivas, ou seja, as bactérias lácticas e as anaeróbias são mais resistentes. Atmosfera contendo ozônio (2 - 3 ppm) também é utilizada na preservação de vegetais, não sendo recomendada a sua utilização em alimentos com elevado teor lipídico, cuja rancidez pode ser acelerada na presença de ozônio. Tanto o ozônio, como o gás carbônico, são

eficientes para retardar as alterações superficiais em carnes estocadas por período longo (USP, 2008).

## ***1.6 Refletores***

---

### ***1.6.1 Teoria da reflexão especular da luz***

Em física, o fenômeno da reflexão consiste na mudança da direção de propagação da onda eletromagnética (desde que o ângulo de incidência não seja 0°). Consiste no retorno da energia incidente à região ou meio de onde ela é oriunda, após entrar em contato com uma superfície refletora. A energia transportada pode se manifestar tanto na forma de ondas, como em fótons, conforme o fenômeno considerado. A reflexão difere da refração porque, nesta segunda, é considerado o percurso da energia para meio diverso do meio de onde se originou (HALLIDAY, 2001).

A reflexão pode ser explicada totalmente com base em apenas duas leis, de cunho geral:

1- O raio incidente, a reta normal e o raio refletido são coplanares, ou seja, estão no mesmo plano.

2- O ângulo de incidência com a reta normal é igual ao ângulo de reflexão com a reta normal (HALLIDAY, 2001).

A reflexão luminosa é a base da construção e utilização dos espelhos. Os espelhos têm larguíssima utilização e são a base, por exemplo, dos telescópios refletores. No caso deste trabalho, serão usados para distribuir a radiação sobre as amostras durante ensaios de cocção.

### ***1.6.2 Espelhos esféricos***

Denomina-se por espelho esférico qualquer porção de uma superfície esférica capaz de exibir, em predominância, o fenômeno da reflexão especular. Portanto, o espelho esférico constitui uma região de uma casca esférica, isto é, uma calota esférica, onde se verificam condições para que se dê com máxima intensidade o fenômeno da reflexão especular da luz.

O fenômeno da reflexão da luz nos espelhos esféricos se processa exatamente da mesma maneira como nos espelhos planos: cada raio de luz refletido obedecendo às duas leis da reflexão, citadas anteriormente (ÓPTICA GEOMÉTRICA, 2008).

### ***1.6.3 Condições de nitidez de Gauss***

Um sistema óptico é dito estigmático, quando a um ponto objeto ele conjuga um único ponto imagem. Um sistema óptico é dito aplanético quando, a um objeto plano frontal ele conjuga uma imagem plana frontal. Um sistema óptico é dito ortoscópico, quando a um objeto plano ele conjuga uma imagem plana, geometricamente semelhante ao objeto (ÓPTICA GEOMÉTRICA, 2008).

Para os espelhos esféricos de Gauss, todo raio de luz que incide paralelamente ao eixo principal reflete na direção que passa pelo foco principal. Da mesma forma, todo raio de luz que incide no espelho, com sua direção passando pelo foco principal, reflete paralelamente ao eixo principal (ÓPTICA GEOMÉTRICA, 2008).

A prática põe em detalhe que os espelhos esféricos só em determinadas circunstâncias podem ser considerados, e ainda aproximadamente, estigmáticos, aplanéticos e ortoscópicos. Essas circunstâncias especiais são conhecidas como condições de nitidez de Gauss. Os raios incidentes devem ser para-axiais,

isto é, raios próximos ao eixo principal, paralelos ou pouco inclinados em relação a ele.

Assim, para se ter nitidez na imagem, o ângulo de abertura do espelho tem que ser inferior a 10 graus. Se essas condições forem obedecidas, esses espelhos são chamados de espelhos esféricos de Gauss (ÓPTICA GEOMÉTRICA, 2008).

Quando os espelhos esféricos não satisfazem as condições de Gauss, apresentam a aberração de esfericidade. Supondo que um espelho côncavo, nessas condições, sofra a incidência de raios paralelos ao eixo principal, os raios refletidos não se cruzam em único ponto. O cruzamento se dá tanto mais próximo ao vértice quanto mais distante estiver o ponto de incidência do vértice do espelho. O conjunto dos pontos de cruzamento em torno do eixo principal individualiza uma mancha luminosa em forma cônica, denominada cáustica de reflexão (ÓPTICA GEOMÉTRICA, 2008).

#### ***1.6.4 Espelhos parabólicos***

A superfície refletora dos espelhos parabólicos constitui um parabolóide de revolução, que, numa seção principal, é representada por uma parábola. Esses espelhos são rigorosamente estigmáticos em relação ao seu foco principal. Assim, eles fazem convergir para o foco todos os raios incidentes paralelos, daí decorrendo suas principais aplicações: fornos solares, telescópios e faróis de carros. Da mesma forma, todos os raios que incidem no espelho provenientes do foco, refletem paralelos ao eixo principal (ÓPTICA GEOMÉTRICA, 2008).

### ***1.6.5 Espelhos elípticos***

A superfície refletora dos espelhos elípticos é um elipsóide de revolução. Numa seção principal esses espelhos ficam representados por uma elipse. Os espelhos elípticos são rigorosamente estigmáticos em relação aos seus focos,  $F$  e  $F'$ , que são conjugados entre si. Assim, qualquer raio que passe por  $F$ , incidindo no espelho, obrigatoriamente se reflete passando por  $F'$  e vice-versa. Os espelhos elípticos são utilizados na iluminação de palcos de teatro. Num dos focos do espelho se situa o objeto a ser iluminado e no outro a fonte (ÓPTICA GEOMÉTRICA, 2008).

### ***1.6.6 Espelhos planos***

São espelhos constituídos por superfícies planas e polidas capazes de refletir regularmente a luz, como acontece com a superfície do mercúrio em equilíbrio numa cuba. Para que a superfície considerada seja um bom espelho é ainda necessário que a variação do poder refletor com o ângulo de incidência seja a menor possível. Por esta razão os espelhos devem ser superfícies metálicas. Nos espelhos comuns, o vidro é usado como uma proteção transparente para que a camada metálica não sofra ação do ar e da umidade, impedindo ainda, a remoção por agentes mecânicos. Uma camada de verniz superposta à camada metálica completa a proteção (ÓPTICA GEOMÉTRICA, 2008).

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

No primeiro tópico deste capítulo são apresentados os modelos de aquecedores utilizados como fontes emisoras da radiação IV. O segundo tópico descreve o procedimento de preparo das amostras de alimentos, utilizadas nos experimentos. O terceiro tópico apresenta os parâmetros utilizados para a avaliação das amostras após o cozimento. Em seguida, o método utilizado para medição da distribuição espectral emitida pela lâmpada halógena é apresentado. O quinto tópico descreve o método de medição da condutividade térmica. O sexto tópico, mostra os modelos de refletores avaliados. No sétimo tópico, os métodos utilizados para medição do fluxo de calor são explicados. Por fim, o esquema da bancada de testes e a metodologia estatística são apresentados.

### ***2.1 Modelos de aquecedores***

---

Dois modelos de aquecedores foram utilizados. Uma lâmpada halógena com temperatura do filamento de 1950 K, correspondendo a um pico de emissão de 1,5  $\mu\text{m}$ . Um queimador cerâmico com temperatura superficial de 873 K, correspondendo a um pico de emissão de 3,3  $\mu\text{m}$ . Cada aquecedor foi montado junto a um refletor de geometria plana. Um aquecedor de cada modelo foi utilizado. Para se obter um fluxo de calor semelhante incidente na superfície do alimento, para ambos aquecedores testados, a distância entre cada aquecedor e o

alimento foi variada. O fluxo de energia emitido por cada aquecedor foi previamente medido utilizando-se o método de medição do fluxo de calor com transdutor a gradiente tangencial.

## ***2.2 Amostras de alimento***

---

### ***2.2.1 Carne de frango***

Amostras de peito de frango resfriado, do mesmo fabricante, foram utilizadas para o ensaio. Os peitos foram cortados, manualmente, em pedaços de 40 x 30 x 20 mm, de largura, profundidade e altura respectivamente. Cada amostra pesou 30 gramas +/- 2 gramas. As amostras foram resfriadas até 10 °C, previamente aos testes. Dois pedaços foram utilizados em cada teste. Os testes com frango foram realizados em quatriplicata, sendo quatro repetições para cada comprimento de onda avaliado. As amostras foram cozidas até atingirem 82 °C no centro do frango e o tempo de cozimento foi registrado. Ao término do teste, o peso final foi medido para cada amostra. O douramento superficial foi avaliado visualmente e registrado utilizando-se uma câmera digital.

### ***2.2.2 Carne suína***

Amostras de bisteca suína foram adquiridas em um mesmo estabelecimento comercial de Joinville. A espessura média das amostras foi de 17 mm na parte mais espessa da bisteca, e o peso médio das amostras foi de 160 gramas. As amostras foram resfriadas até 10 °C, previamente aos testes. Uma amostra foi utilizada em cada teste. Os testes foram realizados em triplicata, sendo 3 testes para cada comprimento de onda avaliado. As amostras foram

cozidas até atingirem 65 °C na parte mais espessa e o tempo de cozimento foi registrado. Ao término do teste, o peso final foi medido para cada amostras. O douramento superficial foi avaliado visualmente e registrado utilizando-se uma câmera digital.

### **2.2.3 Salsicha**

Amostras de salsicha tipo Viena, do mesmo fabricante, foram utilizadas para o ensaio. As salsichas foram cortadas em cilindros com 20 mm de altura e diâmetro médio de 24 mm. O peso das amostras estava entre 8 e 10 gramas. As amostras foram resfriadas até 10 °C, previamente aos testes. Duas amostras foram utilizadas em cada teste. Os testes com salsicha foram realizados em quadruplicata, sendo quatro repetições para cada comprimento de onda avaliado. As amostras foram cozidas até atingirem 74 °C no centro do cilindro e o tempo de cozimento foi registrado. O douramento superficial foi avaliado visualmente e registrado utilizando-se uma câmera digital.

### **2.2.4 Hambúrguer**

Porções de carne moída bovina, tipo coxão mole, provenientes do mesmo estabelecimento comercial foram utilizadas para a preparação das amostras. As mesmas foram moldadas em formato circular, com dimensões médias de 89 mm x 19 mm, de diâmetro e altura, respectivamente. O peso final de cada amostra foi de 130 gramas, com variação de +/- 2 gramas. A gordura utilizada na preparação das amostras foi retirada das peças de coxão mole, provenientes do mesmo estabelecimento comercial. Tanto a carne magra, quanto a gordura, foram moídas no estabelecimento, separadamente. As amostras foram

preparadas com 0, 25 e 50% de gordura adicionada, em peso. Para cada amostra, foi pesada a quantidade de carne magra e de gordura, correspondente ao percentual a ser estudado. Em seguida, as partes de carne magra e gordura moídas foram misturadas mecanicamente em um multiprocessador, até formarem uma massa homogênea. Para cada quantidade de gordura estudada, foram preparadas quatro amostras. Os testes foram realizados em duplicata, sendo dois testes para cada percentual de gordura avaliado. Depois de moldadas, as amostras foram refrigeradas até a temperatura de 10 °C. As amostras foram cozidas até atingirem 65 °C no centro do hambúrguer. O tempo de cozimento foi registrado para cada amostra. Ao término do teste, o peso final foi medido.

### **2.2.5 Batata**

Amostras de batata inglesa foram adquiridas no comércio local. As amostras foram cortadas em cilindros com dimensões médias de 35 mm de diâmetro e 20 mm de altura. As amostras foram deixadas à temperatura ambiente. Foram utilizadas 2 amostras em cada teste. O teste foi realizado em duplicata, sendo 2 testes para cada comprimento de onda avaliado. As amostras foram cozidas até atingirem 70 °C no centro do cilindro. O tempo de cozimento foi registrado. O douramento superficial foi avaliado visualmente e registrado utilizando-se uma câmera digital.

## **2.3 Avaliação das amostras após o cozimento**

---

A temperatura de cada amostra foi monitorada através de termopares do tipo J, composto pela junção metálica Ferro – Constantan, cuja temperatura de trabalho varia entre -40 e 750 °C. Os termopares foram previamente calibrados

pelo fornecedor. A temperatura interna foi medida com o termopar posicionado no centro da amostra, com uma tolerância de +/- 1 mm. A temperatura superficial, quando medida, foi realizada com o termopar posicionado 4 mm abaixo da superfície, +/- 1 mm. Os dados foram monitorados a cada 3 segundos e gravados diretamente no computador.

A massa das amostras foi medida antes e após o cozimento utilizando-se uma balança digital com tolerância de 2 gramas. Através dos valores da massa, a perda durante o cozimento foi calculada.

O douramento na superfície das amostras foi avaliado visualmente e registrado utilizando-se uma câmera digital.

#### ***2.4 Determinação da distribuição espectral da energia emitida pela lâmpada halógena***

---

Para o conhecimento da distribuição espectral da radiação emitida pela lâmpada halógena, foram realizadas medições relativas às emissões espectrais de energia em comprimentos de onda visível e infravermelho próximo. Os testes foram realizados no Laboratório de Ciências Térmicas do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina.

Foi utilizada uma bancada para medição de propriedades espectrais, montada com monocromador, fontes, sistema de medição Merlin e detectores. A figura 2.1 representa esquematicamente a bancada de medição com os respectivos componentes.

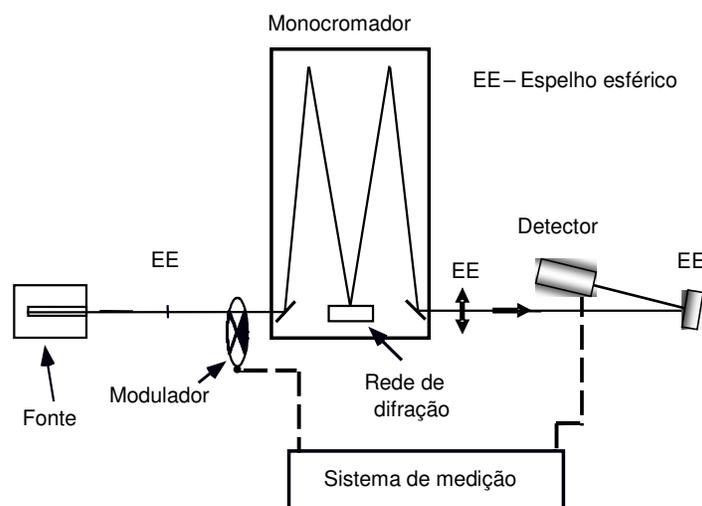


Figura 2.1 - Bancada para a medição espectral da radiação emitida pela fonte.

Durante a medição, o feixe emitido pela fonte é captado por um espelho esférico e dirigido à fenda do monocromador. O espelho projeta a imagem da fonte sobre a fenda de entrada, formando um feixe cônico. O espelho do monocromador, na parte superior da figura, possui a fenda em seu ponto focal; logo, o feixe que incide sobre a rede de difração é um feixe quase-paralelo. Este feixe incidente retorna ao lado direito do mesmo espelho que o concentra em direção à fenda de saída. O detector recebe o feixe proveniente do monocromador, através de um segundo espelho esférico. É um detector piroelétrico, em que a radiação incidente aquece um material piezoelétrico, gerando um sinal de tensão elétrica na ordem de milivolts. Este detector tem resposta linear para ampla faixa de comprimento de onda, sendo adequado para o caso.

Um sistema de modulação do feixe é utilizado, através de um disco perfurado, colocado na entrada do monocromador. A rotação do disco é monitorada por um pequeno sensor infravermelho, que informa o valor da frequência ao sistema de detecção. A radiação incide sobre o detector, em pulsos, acionando o material piezoelétrico. O sistema de medição atua apenas

na frequência indicada, eliminando as radiações parasitas, geradas no ambiente, que são constantes. Para se obter a energia espectral que é emitida pela fonte, deve-se registrar o sinal do detector em cada comprimento de onda. A influência de cada componente da bancada entre a fonte e o detector, deve ser descontada. A maior participação provém da própria rede de difração que possui refletividade variável com o comprimento de onda. Filtros passa - alto, usados a partir de um certo comprimento de onda, também devem ser considerados (NICOLAU ET AT., 2003).

Devido à intensa radiação de toda a lâmpada, um envoltório de contenção com um tubo de saída foi montado para limitar os ângulos de incidência no monocromador e garantir a sua resolução espectral.

Quatro diferentes redes foram usadas nas medições, conforme as faixas indicadas na tabela 2.1. Os valores obtidos são relativos, resultando do sinal obtido no detector, incluindo neste sinal todos os valores da cadeia de medição - parte eletrônica e parte óptica. Todos os ganhos estão incluídos e foram considerados os rendimentos das redes em cada comprimento de onda, bem como as transmitâncias dos filtros empregados.

Tabela 2.1 Redes de difração usadas nos ensaios.

<b>Código Oriel</b>	<b>Faixa de Uso [nm]</b>	<b>Multiplicador</b>
74233	180 - 1200	1
77235	1250 - 2400	4
77236	2450 - 4650	8
77237	4700 - 5000	16

A curva de emissão da fonte a ser medida será comparada com a curva do corpo negro para que se possa estimar a sua temperatura de emissão.

## **2.5 Medição da condutividade térmica das amostras**

---

Amostras de hambúrguer formadas com carne bovina moída, misturada com gordura bovina moída, foram utilizadas para medição da condutividade térmica. As amostras foram elaboradas com 0, 10 e 30 % de gordura adicionada. A medição foi realizada com o equipamento KD2, do fabricante Decagon. O equipamento calcula o valor da condutividade térmica, monitorando a dissipação de calor proveniente de uma fonte linear, dada uma tensão conhecida. Duas amostras de cada conteúdo de gordura foram utilizadas para a medição. A amostra com o sensor já posicionado ficou em repouso por 5 minutos antes da medida a fim de estabilizar a temperatura entre a amostra e o sensor utilizado pelo equipamento.

## **2.6 Refletores**

---

### **2.6.1 Etapa 1 – Geometria circular e elíptica**

Na primeira etapa de testes, duas geometrias elípticas e duas circulares foram avaliadas. O primeiro modelo de refletor circular possui uma inclinação de 45 °, tangencial ao foco, em um dos lados. O segundo é um refletor circular duplo, formando uma geometria dita ondulada. O aquecedor é posicionado no foco dos refletores. Para a geometria elíptica foram utilizados modelos com mesmo raio na direção do eixo x, e raios diferentes na direção do eixo y. Para cada modelo avaliado, um conjunto com dois refletores e duas lâmpadas foi preparado. Os modelos foram montados nas extremidades opostas da cavidade. A avaliação foi baseada na medição do fluxo de calor emitido por cada modelo, considerando-se a intensidade da radiação que atinge o medidor de fluxo, bem como a homogeneidade desta radiação incidente.

### ***2.6.2 Etapa 2 – Geometria circular, parabólica e plana***

Na segunda etapa, o estudo foi realizado por meio de simulação numérica, medição de fluxo de calor e, por fim, experimentos com amostras de carne. Três geometrias foram avaliadas: refletores planos, circulares e parabólicos. Para a simulação numérica e a medição de fluxo de calor foi utilizado um conjunto com quatro refletores e quatro lâmpadas para cada geometria. Na avaliação de cozimento, com amostras de carne, o conjunto foi reduzido para dois refletores e duas lâmpadas, posicionados da mesma maneira que a utilizada para os testes anteriores. Em seguida, o conjunto completo, com 4 refletores e 4 lâmpadas, foi utilizado para confirmação dos resultados obtidos com a simulação e a medição de fluxo de calor.

## ***2.7 Medição do fluxo de calor***

---

### ***2.7.1 Método dos blocos metálicos***

Um experimento baseado no método da Capacitância Global foi utilizado para estimar o fluxo emitido pelos diferentes conjuntos de refletores e absorvido pelas amostras. Blocos metálicos de alumínio pintado, com 19,05 mm de diâmetro e 5 mm de altura, foram utilizados. Cada bloco foi isolado na base e lateral, a fim de considerar apenas a transferência de calor na superfície. Termopares tipo J foram inseridos no centro de cada bloco. Um suporte contendo 30 blocos metálicos é utilizado, posicionado a uma distância fixa abaixo do conjunto de refletores. Um pré-aquecimento é realizado para que o emissor atinja sua emissão máxima. A figura 2.3 mostra o experimento montado.



Figura 2.3 - Bandeja com os blocos metálicos.

Os dados são posteriormente tratados utilizando-se o programa computacional *Matlab*. O fluxo de calor absorvido, por cada bloco, é calculado através da equação do balanço de energia na superfície do bloco metálico, conforme equação (2.1):

$$Q_{\text{absorvido}} [\text{W}] = m C_p dT/dt + \varepsilon A_{\text{sup}} \sigma T_{\text{sup}}^4 + h A_{\text{sup}} (T_{\text{sup}} - T_{\text{ambiente}}) \quad (2.1)$$

A variação da energia interna do bloco,  $m C_p dT/dt$ , é igual ao calor absorvido por radiação,  $Q_{\text{absorvido}}$ , menos o calor perdido por radiação na superfície do bloco,  $\varepsilon A \sigma T_{\text{sup}}^4$ , e menos o calor trocado por convecção com o ambiente,  $hA(T_{\text{sup}} - T_{\text{ambiente}})$ . Isolando o termo que se deseja conhecer,  $Q_{\text{absorvido}}$ , obtém-se a equação 2.1 acima. Os valores de temperatura medidos nos blocos são inseridos na equação para o cálculo do calor absorvido em cada instante do teste. Como o alumínio possui uma alta condutividade, e o bloco metálico uma baixa espessura, a temperatura no centro foi utilizada também para os cálculos de superfície. A média dos 30 blocos é plotada graficamente, representando o fluxo de cada conjunto aquecedor - refletor. As medições foram realizadas em duplicata para cada modelo.

### ***2.7.2 Método do transdutor de fluxo de calor a gradiente tangencial***

O fluxo de calor foi medido utilizando-se um sensor denominado Transdutor de Fluxo de Calor a Gradiente Tangencial (Guths et al., 1995). O princípio de funcionamento desse tipo de transdutor consiste em desviar as linhas de fluxo de calor de modo a gerar um gradiente de temperatura em um plano tangencial ao plano de medição. Tal gradiente é medido por termopares planares a eletrodos depositados, ligados em série. Cada um dos termopares converte a diferença de temperatura em força eletromotriz, a qual pode ser medida e registrada durante a realização de um experimento. O equipamento possui 40 sensores distribuídos em 4 linhas e 10 colunas. O fluxo medido é o fluxo total incidente na amostra (radiativo + convectivo). O equipamento é posicionado abaixo dos refletores a uma distância fixa.

## ***2.8 Bancada de testes***

---

Um forno do tipo doméstico foi utilizado para a realização dos testes. Os aquecedores foram montados na parte superior do forno, posicionados perpendicularmente às amostras de alimento. Uma bandeja foi utilizada para posicionar as amostras dentro do forno. Esta bandeja foi fixada em uma grade garantindo o mesmo posicionamento durante os testes. A figura 2.3 apresenta um esquema da bancada utilizada.

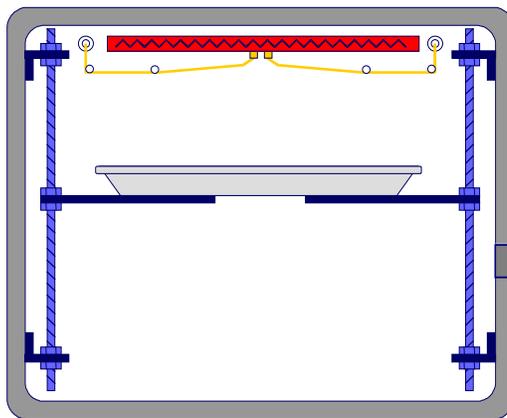


Figura 2.4 Esquema da bancada utilizada nos testes.

## 2.9 Metodologia estatística ANOVA

---

Para a análise estatística dos dados foi utilizado o método de análise de variância, ANOVA. A análise de variância é um teste estatístico que visa fundamentalmente verificar se existe uma diferença significativa entre as médias e se os fatores exercem influência em alguma variável dependente. A principal aplicação da ANOVA (Análise of Variance) é a comparação de médias oriundas de grupos diferentes, também chamados tratamentos. A metodologia ANOVA calcula a existência de diferenças significativas entre os tratamentos através da estimativa da variância ( $\sigma^2$ ) entre os dados de um determinado grupo (erro), e a estimativa da variância entre grupos diferentes (modelo). Estas duas estimativas são então comparadas. A comparação das estimativas é calculada através do valor F. O valor F é obtido dividindo-se a média quadrada entre grupos, pela média quadrada dos dados de cada grupo (erro). Essa razão pode ser comparada a uma tabela de valores F para que seja avaliada a probabilidade de o valor F calculado ser obtido devido às variações entre grupos ( $p < F$ ). Valores baixos de p sugerem que existem diferenças significativas entre grupos. A probabilidade mostra a que nível os resultados são estatisticamente significativos (ROSS, 2008).

## CAPÍTULO 3

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Neste capítulo, primeiramente são apresentados os resultados da emissão espectral da lâmpada halógena. No próximo tópico, os resultados da avaliação do modelo de aquecedor, e respectivo comprimento de onda, são discutidos. Em seguida, a avaliação da influência do percentual de gordura é apresentada. Por último, são discutidos os resultados da avaliação da influência da geometria do refletor no cozimento por radiação IV.

#### ***3.1 Determinação da distribuição espectral da energia emitida pela lâmpada halógena***

---

A lâmpada halógena foi testada para três diferentes tensões de alimentação sendo 120V, 80V e 50 V, com o objetivo de avaliar a variação no pico de comprimento de onda emitido. Os resultados estão colocados na figura 3.1, em conjunto, para avaliação relativa. Estão também colocados em separado nas figuras 3.2 a 3.4, como forma de se comparar o ajuste com diferentes curvas teóricas, obtidas em diferentes temperaturas. Os valores obtidos são relativos, resultando do sinal obtido no detector, incluindo neste sinal todos os valores da cadeia de medição - parte eletrônica e parte óptica. Todos os ganhos estão

inclusos e foram considerados os rendimentos das redes em cada comprimento de onda, bem como as transmitâncias dos filtros empregados.

Diferentes curvas teóricas, representativas da emissão espectral de corpos negros, são utilizadas para a comparação com os resultados experimentais das emissões. A comparação com a curva do corpo negro permite estimar a temperatura de emissão do aquecedor. A curva indica o ponto de máxima emissão, bem como a concentração de energia radiante emitida pelo filamento, que pode ser usada para o processo de cocção.

O pico de emissão medido está entre 1,5 e 1,6  $\mu\text{m}$ , o que está em acordo com a temperatura declarada do filamento, 1950K. O cálculo teórico pela equação do deslocamento de Wien, equação (1.3), mostra um valor de pico similar para um corpo negro a esta temperatura. Deste modo para  $T = 1950 \text{ K}$  resulta um  $\lambda_{\text{máx}} = 1,49 \mu\text{m}$ .

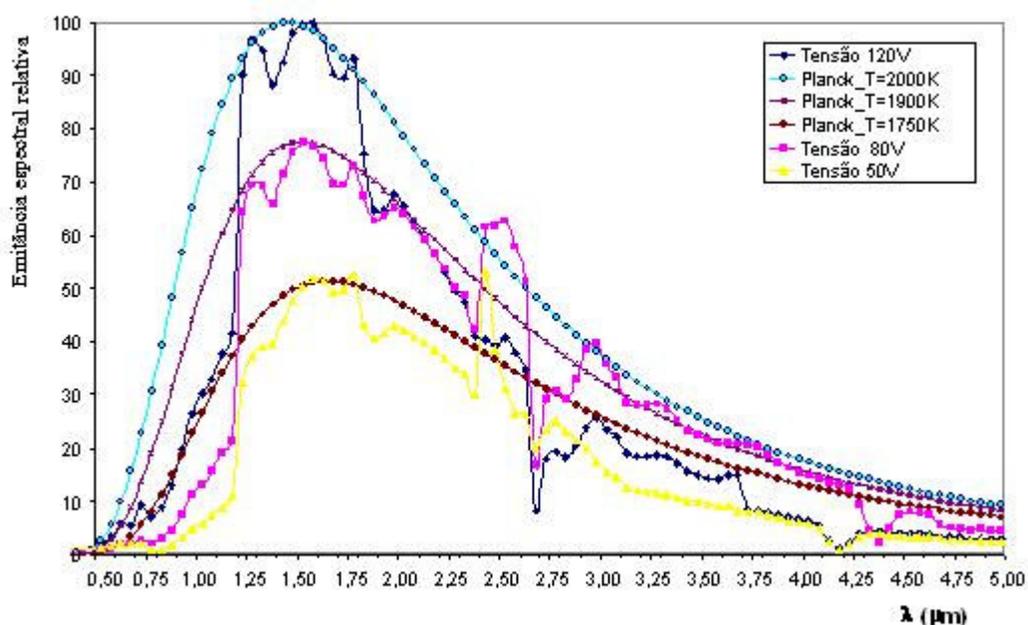


Figura 3.1 - Curvas de emissão espectral relativa para as diferentes tensões aplicadas à lâmpada halógena, comparadas com as curvas dos modelos de Planck para diferentes temperaturas.

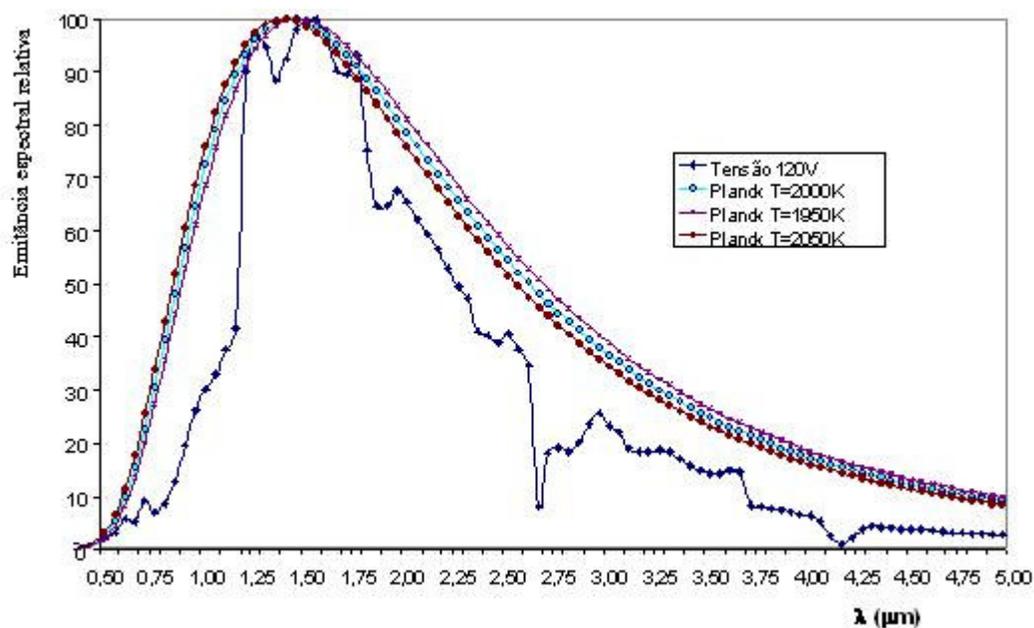


Figura 3.2 Curva de emissão espectral relativa para a tensão de 120V, comparada com as curvas dos modelos de Planck para diferentes temperaturas.

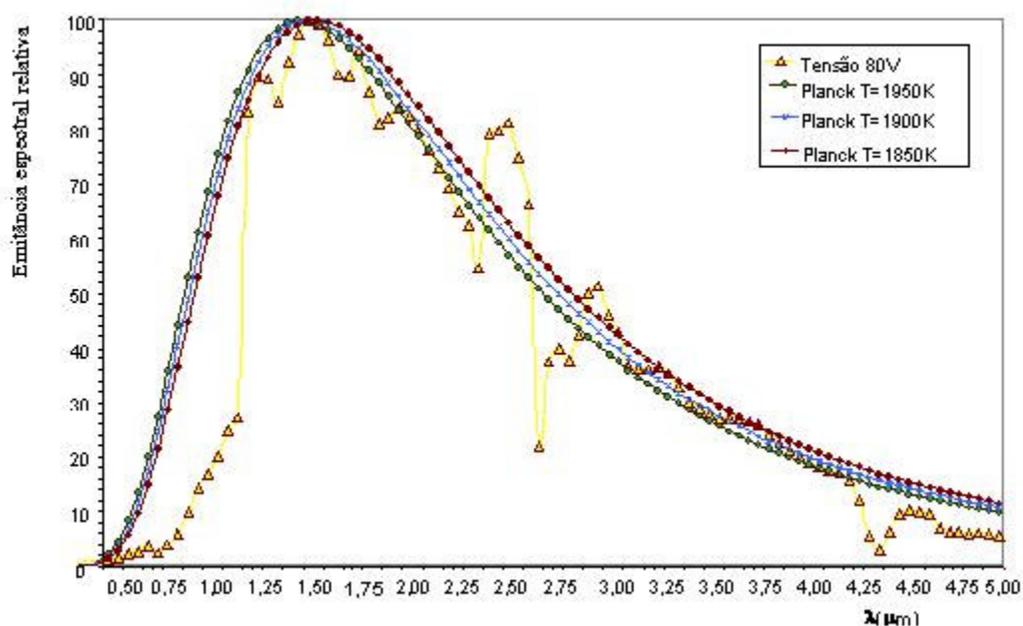


Figura 3.3 - Curva de emissão espectral relativa para a tensão de 80V, comparada com as curvas dos modelos de Planck para diferentes temperaturas.

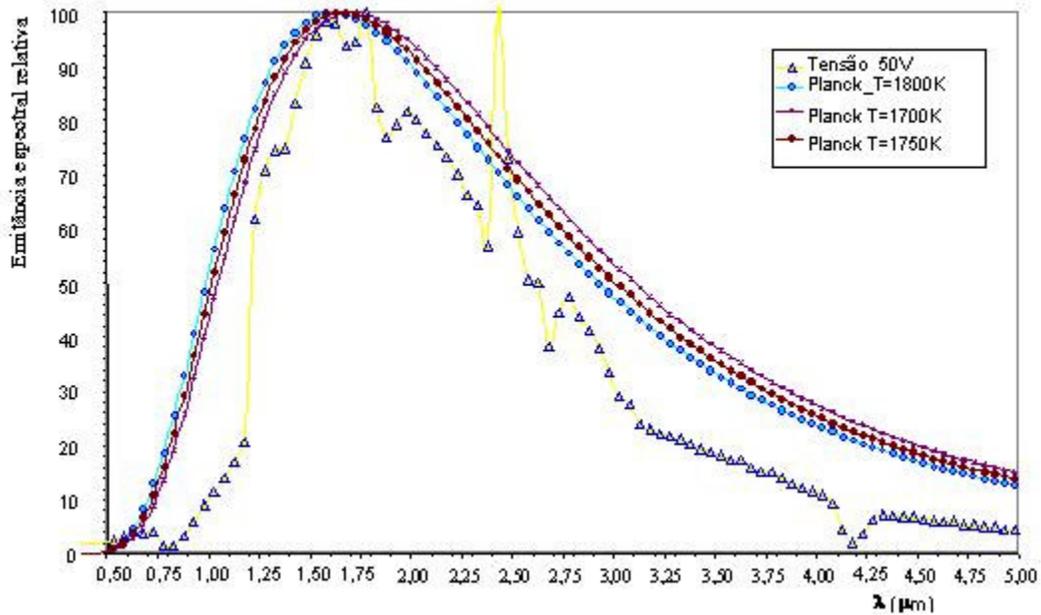


Figura 3.4 - Curva de emissão espectral relativa para a tensão de 50V, comparada com as curvas dos modelos de Planck para diferentes temperaturas.

Os dados experimentais mostram a redução na quantidade de energia radiante emitida pela fonte aquecedora com a redução da tensão elétrica aplicada na lâmpada. Segundo a teoria de corrente contínua, a potência elétrica dissipada é igual a tensão aplicada ao quadrado, dividida pela resistência do filamento, conforme equação (3.1):

$$P_1 = U_1^2/R_1 \quad (3.1)$$

Assim, reduzindo a tensão aplicada pela metade,  $U_2 = U_1/2$ , obtém-se uma potência dissipada,  $P_2$ , que será igual a  $P_1/4$ .

Portanto, reduzindo-se a potência elétrica aplicada, e mantendo-se a área do filamento, reduz-se a densidade de potência emitida, que é igual à potência dividida pela área de emissão. Logo, a quantidade de energia emitida também deve diminuir. Sabe-se que haverá convecção para o ar e condução pelos suportes da lâmpada, e que todas as parcelas serão reduzidas com a redução da potência elétrica dissipada.

## ***3.2 Avaliação de desempenho dos aquecedores***

---

### ***3.2.1 Amostras de carne***

A análise dos dados de temperatura interna das amostras de carne mostra um aquecimento mais lento das amostras cozidas com o aquecedor de maior comprimento de onda, de 3,3  $\mu\text{m}$ . Para melhor comparar as curvas de aquecimento, os gráficos apresentam os 10 primeiros minutos de cozimento para as amostras de frango e bife, e os 5 primeiros minutos para as amostras de salsicha. Os gráficos com os tempos totais de cozimento estão apresentados nos anexos. Para a carne de frango, após 10 minutos de cozimento, as amostras submetidas ao comprimento de onda maior apresentaram temperatura média no centro inferior em 10 °C, em comparação às amostras submetidas ao menor comprimento de onda, de 1,5  $\mu\text{m}$ . Para a carne suína essa diferença foi de 9 °C. No caso das amostras de salsicha a diferença foi mais sutil, cerca de 1 °C.

As figuras 3.5 a 3.7, apresentam a comparação entre os perfis de elevação de temperatura no centro das amostras para os dois comprimentos de onda estudados. A curva representa a média das temperaturas das amostras para cada comprimento durante o cozimento.

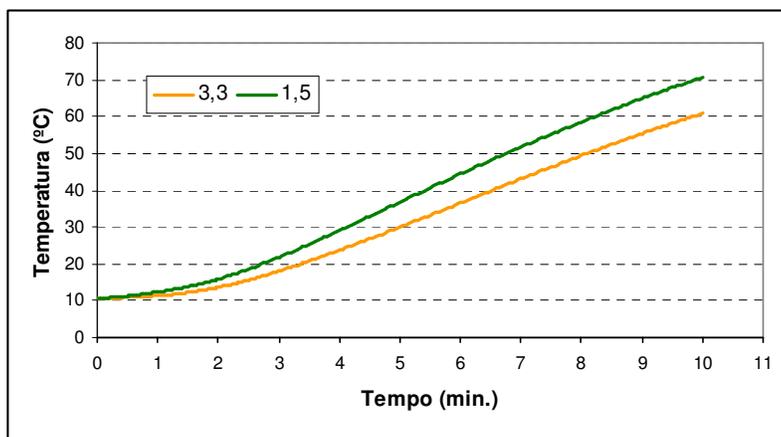


Figura 3.5 - Perfil de elevação da temperatura interna das amostras de frango, para os comprimentos de onda de 3,3 e 1,5 μm, no intervalo de 10 minutos de cozimento.

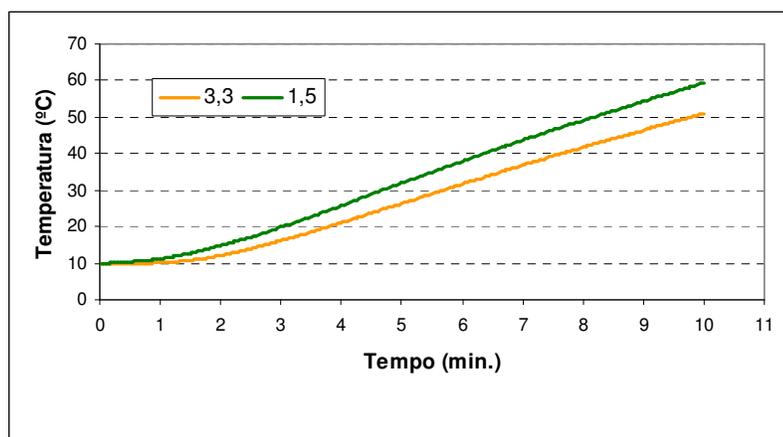


Figura 3.6 - Perfil de elevação da temperatura interna das amostras de bife suína, para os comprimentos de onda de 3,3 e 1,5 μm, no intervalo de 10 minutos de cozimento.

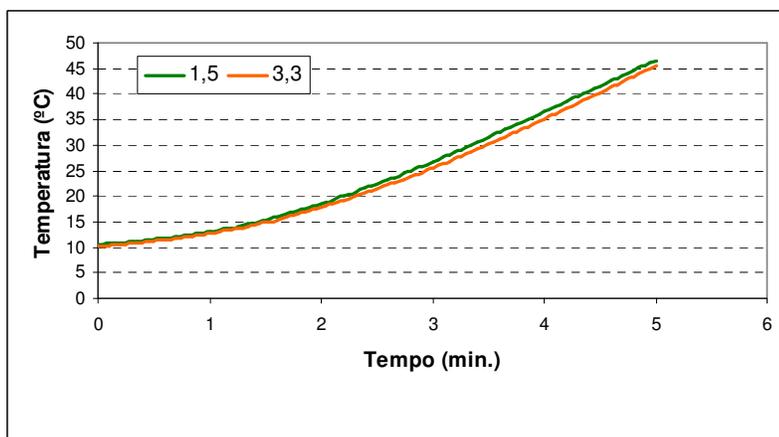


Figura 3.7 - Perfil de elevação da temperatura interna das amostras de salsicha, para os comprimentos de onda de 3,3 e 1,5 μm, no intervalo de 5 minutos de cozimento.

O modelo de aquecedor com pico de emissão em 1,5  $\mu\text{m}$  apresentou uma maior capacidade de penetração no alimento, elevando mais rapidamente a temperatura interna das amostras. A radiação proveniente do aquecedor com pico de emissão em 1,5  $\mu\text{m}$  atua em uma faixa do espectro em que a água é mais transparente, resultando em maior penetração no alimento, que tem a água como principal constituinte (Tabela 1.1). Tomando o caso de uma camada de água de 1mm de espessura e os comprimentos de onda de máxima emissão dos aquecedores utilizados, tem-se uma avaliação pela equação (1.9).

Para a lâmpada halógena,  $\lambda_{\text{máx}} = 1,5 \mu\text{m}$ , a interpolação dos dados da tabela 1.1 fornece  $\alpha_{\lambda}$  em torno de  $10 \text{ cm}^{-1}$ , resultando em uma relação  $I_{\lambda}/I_0 = 0,37$ .

Para o aquecedor cerâmico,  $\lambda_{\text{máx}} = 3,3 \mu\text{m}$ ,  $\alpha_{\lambda}$  está em torno de  $2.000 \text{ cm}^{-1}$ , resultando em um valor nulo.

Assim, no comprimento de onda de 1,5  $\mu\text{m}$ , 37% da radiação incidente passam a camada de 1 mm de água. Para  $\lambda = 3,3 \mu\text{m}$  toda radiação incidente é bloqueada por esta fina camada.

O estudo de Dagerskog (1979) avaliou a transmissividade da radiação na faixa do IV curto e mostrou que os comprimentos de onda abaixo de 1,25  $\mu\text{m}$  apresentam uma maior capacidade de penetração. Bolshakov et al. (1976) mostraram a maior penetração dos menores comprimentos de onda ao avaliarem 3 picos de emissão: 1,07; 2,4 e 4,2  $\mu\text{m}$ . Para a carne de porco crua a capacidade de penetração foi de 3,9; 1,5 e 1,1 mm respectivamente.

O coeficiente de absorção da água é maior para o comprimento de onda de 3,3  $\mu\text{m}$ , o que resulta em maior absorção na superfície e menor penetração. Esta maior absorção pode ser observada através dos dados de temperatura superficial, bem como pelo douramento superficial das amostras. Nas amostras de frango, a temperatura média final na superfície foi de 90 °C para o maior comprimento de onda, e de 85 °C para o menor comprimento. Nas

amostras de carne suína, a temperatura superficial das amostras cozidas com o maior comprimento de onda foi 14 % maior, em comparação às amostras cozidas com o menor comprimento de onda, 83 e 71 ° C, respectivamente. A superfície das amostras cozidas com 3,3  $\mu\text{m}$  apresentou um douramento mais intenso, com partes queimadas. As amostras cozidas com 1,5  $\mu\text{m}$  apresentaram um douramento menos intenso, sem partes queimadas na superfície.

As figuras 3.8 a 3.10 apresentam o douramento na superfície das amostras de carne de frango, carne suína e salsicha, para ambos comprimentos de onda.



Figura 3.8 - Douramento na superfície das amostras de frango após o cozimento, para os aquecedores com pico de emissão em 3,3 e 1,5  $\mu\text{m}$ , respectivamente.

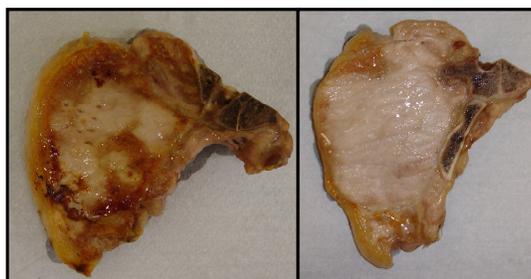


Figura 3.9 - Douramento na superfície das amostras de bisteca após o cozimento, para os aquecedores com pico de emissão em 3,3 e 1,5  $\mu\text{m}$ , respectivamente.



Figura 3.10 - Douramento na superfície das amostras de salsicha após o cozimento, para os aquecedores com pico de emissão em 3,3 e 1,5  $\mu\text{m}$ , respectivamente.

A análise da perda de massa durante o cozimento mostra uma maior perda para as amostras cozidas com o maior comprimento de onda, 3,3  $\mu\text{m}$ . A perda de massa foi 12 % maior na carne de frango, e 20 % maior na carne suína. As tabelas 3.1 a 3.4, apresentam os dados de massa antes e depois do cozimento.

Tabela 3.1 - Perda de massa para as amostras de frango, cozidas com o comprimento de onda de 3,3  $\mu\text{m}$ .

Teste	Amostra	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Perda de massa (%)	Geral (%)
1	1	30,00	24,00	20,00	27,50
	2	30,00	20,00	33,33	
2	3	30,00	20,00	33,33	
	4	30,00	22,00	26,67	
3	5	30,00	22,00	26,67	
	6	30,00	24,00	20,00	
4	7	30,00	20,00	33,33	
	8	30,00	22,00	26,67	

Tabela 3.2 - Perda de massa para as amostras de frango, cozidas com o comprimento de onda de 1,5  $\mu\text{m}$ .

Teste	Amostra	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Perda de massa (%)	Geral (%)
1	1	30,00	22,00	26,67	24,17
	2	30,00	24,00	20,00	
2	3	30,00	22,00	26,67	
	4	30,00	24,00	20,00	
3	5	30,00	22,00	26,67	
	6	30,00	22,00	26,67	
4	7	30,00	24,00	20,00	
	8	30,00	22,00	26,67	

Tabela 3.3 - Perda de massa para as amostras de bisteca suína, cozidas com o comprimento de onda de 3,3  $\mu\text{m}$ .

Teste	Amostra	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Perda de massa (%)	Geral (%)
1	1	156,00	122,00	21,79	
2	2	156,00	114,00	26,92	24,27
3	3	166,00	126,00	24,10	

Tabela 3.4 - Perda de massa para as amostras de bisteca suína, cozidas com o comprimento de onda de 1,5  $\mu\text{m}$ .

Teste	Amostra	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Perda de massa (%)	Geral (%)
1	1	140,00	112,00	20,00	
2	2	176,00	146,00	17,05	19,63
3	3	174,00	136,00	21,84	

A análise do tempo de cozimento mostrou um cozimento 20 % menor nas amostras de frango, 9 % nas amostras de carne suína, e 4 % nas amostras de salsicha para o menor comprimento de onda, 1,5  $\mu\text{m}$ . Essa maior diferença na carne de frango está relacionada ao maior conteúdo de água presente neste tipo de carne, em comparação com a carne suína e a salsicha. Por possuir um maior conteúdo de água, a influência do comprimento de onda na capacidade de penetração da radiação no alimento é mais evidente. Os dados também indicam uma menor diferença no tempo de cozimento para as carnes com maior conteúdo de gordura. Dados experimentais encontrados na literatura (Anexo A2), indicam que os lipídios possuem uma boa absorção dos comprimentos de onda entre 3 e 4  $\mu\text{m}$ , o que contribui para uma melhor penetração do aquecedor de 3,3  $\mu\text{m}$ , levando a um desempenho mais próximo entre os dois aquecedores.

As tabelas 3.5 a 3.10 apresentam os tempos de cozimento para os aquecedores de 3,3 e 1,5  $\mu\text{m}$ , para as amostras de carne de frango, salsicha e carne suína, respectivamente.

Tabela 3.5 - Tempo médio para atingir 82 °C no centro das amostras de frango, cozidas com o aquecedor com pico de emissão em 3,3  $\mu\text{m}$ .

Teste	Amostra	Tempo por amostra (min)	Média por repetição (min)	Média das repetições	Desvio padrão entre amostras
1	1	16,9	15,40	15,85	1,44
	2	13,9			
2	3	13,5	14,53		
	4	15,55			
3	5	16,4	16,58		
	6	16,75			
4	7	16,3	16,90		
	8	17,5			

Tabela 3.6 - Tempo médio para atingir 82 °C no centro das amostras de frango, cozidas com o aquecedor com pico de emissão em 1,5  $\mu\text{m}$ .

Teste	Amostra	Tempo por amostra (min)	Média por repetição (min)	Média das repetições	Desvio padrão entre amostras
1	1	13,05	13,28	12,95	0,54
	2	13,5			
2	3	12,6	12,95		
	4	13,3			
3	5	12,6	12,83		
	6	13,05			
4	7	11,95	12,75		
	8	13,55			

Tabela 3.7 - Tempo médio para atingir 74 °C no centro das amostras de salsicha, cozidas com o aquecedor com pico de emissão em 3,3  $\mu\text{m}$ .

Teste	Amostra	Tempo por amostra (min)	Média por repetição (min)	Média das repetições	Desvio padrão entre amostras
1	1	7,7	7,75	7,96	0,22
	2	7,8			
2	3	8,05	8,18		
	4	8,3			
3	5	7,75	7,83		
	6	7,9			
4	7	7,95	8,10		
	8	8,25			

Tabela 3.8 - Tempo médio para atingir 74 °C no centro das amostras de salsicha, cozidas com o aquecedor com pico de emissão em 1,5 µm.

Teste	Amostra	Tempo por amostra (min)	Média por repetição (min)	Média das repetições	Desvio padrão entre amostras
1	1	6,35	7,65	7,64	0,72
	2	8,95			
2	3	7,7	7,75		
	4	7,8			
3	5	7,5	7,55		
	6	7,6			
4	7	7,35	7,63		
	8	7,9			

Tabela 3.9 – Tempo médio para atingir 65 °C no centro das amostras de bisteca suína, cozidas com o aquecedor com pico de emissão em 3,3 µm.

Teste	Amostra	Tempo por amostra (min)	Média por repetição (min)	Desvio padrão entre amostras
1	1	12,05	12,38	0,29
2	2	12,6		
3	3	12,5		

Tabela 3.10 - Tempo médio para atingir 65 °C no centro das amostras de bisteca suína, cozidas com o aquecedor com pico de emissão em 1,5 µm.

Teste	Amostra	Tempo por amostra (min)	Média por repetição (min)	Desvio padrão entre amostras
1	1	10,9	11,27	0,59
2	2	10,95		
3	3	11,95		

A análise estatística mostra uma diferença significativa entre os tempos de cozimento dos dois comprimentos de onda para a carne de frango e a bisteca suína. O valor F foi de 28,36 para as amostras de frango e 8,56 para a bisteca. O valor de p foi menor que 0,05 em ambos os casos, sendo 0,0001 para as

amostras de frango e 0,0429 para as amostras de bisteca. Para a salsicha não houve diferença significativa entre os tempos de cozimento dos comprimentos de onda avaliados.

### 3.2.2 Amostras de batata

Amostras de batatas foram testadas para verificar a repetibilidade dos resultados de cozimento em outra categoria de alimentos. Os resultados foram semelhantes aos encontrados no cozimento de carnes, com um tempo de cozimento 11 % menor para o menor comprimento de onda, e um maior douramento na superfície para o maior comprimento de onda.

As tabelas 3.14 e 3.15 mostram os tempos para atingir 70 °C no centro das amostras cozidas com 3,3 e 1,5  $\mu\text{m}$ .

Tabela 3.11 - Tempo para atingir 70 °C no centro das amostras de batata cozidas com 3,3  $\mu\text{m}$ .

Teste	Amostra	Tempo (min)	Média por teste (min)	Média geral (min)	Desvio entre amostras
1	1	11,55	11,65	11,70	0,5
	2	11,75			
2	3	11,15	11,75		
	4	12,35			

Tabela 3.12 - Tempo para atingir 70 °C no centro das amostras de batata cozidas com 1,5  $\mu\text{m}$ .

Teste	Amostra	Tempo (min)	Média por teste (min)	Média geral (min)	Desvio entre amostras
1	1	10,40	10,78	10,39	0,79
	2	11,15			
2	3	10,70	10,00		
	4	9,30			

A figura 3.11 mostra a curva da média de elevação de temperatura no centro das amostras, para os dois modelos de aquecedores testados. Após 10 minutos de cozimento, a diferença média de temperatura é de 4 °C.

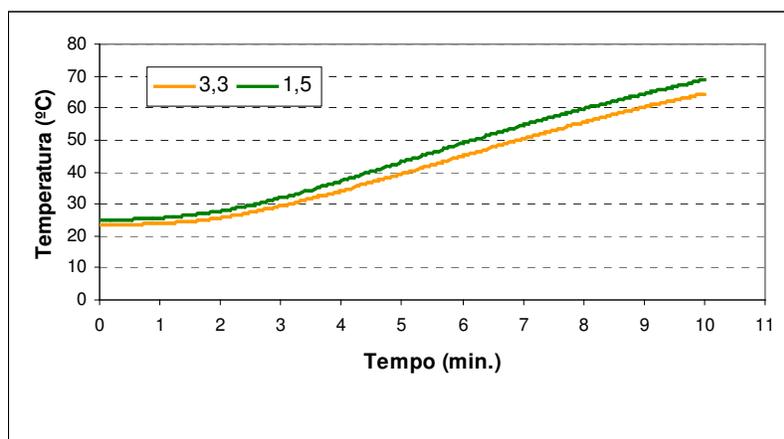


Figura 3.11 - Curva da temperatura média no centro das amostras de batata cozidas com 3,3 e 1,5  $\mu\text{m}$  após 10 minutos de cozimento.

A figura 3.12 apresenta o douramento na superfície das amostras de batata, cozidas com os comprimentos de 3,3 e 1,5  $\mu\text{m}$ , respectivamente.



Figura 3.12 - Douramento na superfície das amostras de batata, cozidas com 3,3 e 1,5  $\mu\text{m}$ , respectivamente, após o cozimento.

Os resultados de tempo de cozimento e douramento da superfície encontrados para as batatas, confirmam o dados obtidos nos ensaios com carnes. Tem-se um maior douramento na superfície para o maior comprimento de onda, e uma maior elevação da temperatura no centro do alimento, para o menor comprimento de onda.

### 3.3 Avaliação da influência do percentual de gordura

A análise dos dados de temperatura mostra que a influência da adição de gordura na elevação da temperatura no centro das amostras de hambúrguer é semelhante para ambos comprimentos de onda avaliados. Para o aquecedor de 3,3  $\mu\text{m}$ , após 10 minutos de cozimento a média das temperaturas no centro das amostras sem adição de gordura foi de 37 °C, valor 8 % maior que a média das amostras com 50 % de gordura adicionada. No caso do aquecedor de 1,5  $\mu\text{m}$ , essa diferença foi de 40,5 e 37,5 °C, para 0 % e 50 % de gordura adicionada respectivamente. Os dados de temperatura podem ser observados na tabela 3.13.

Tabela 3.13 - Temperatura no centro das amostras de hambúrguer para os diferentes níveis de gordura após 10 minutos de cozimento.

Gordura (%)	Comprimento de onda ( $\mu\text{m}$ )	Teste	Amostra	Temperatura (°C)	Temperatura média (°C)
0	3,3	1	1	36,6	37,1
			2	36,1	
		2	3	38,6	
			4	*47,2	
	1,5	1	1	41,9	40,6
			2	40,0	
		2	3	40,8	
			4	39,9	
25	3,3	1	1	34,2	35,6
			2	37,3	
		2	3	35,7	
			4	35,0	
	1,5	1	1	38,1	39,9
			2	38,2	
		2	3	41,9	
			4	41,4	
50	3,3	1	1	31,1	34,0
			2	32,9	
		2	3	35,4	
			4	36,5	
	1,5	1	1	*41,2	37,5
			2	36,4	
		2	3	39,0	
			4	37,2	

\* Dados desconsiderados para o cálculo por terem sido identificados como causa especial ocorrida durante o experimento.

As figuras 3.13 e 3.14 comparam as curvas de aquecimento interno das amostras com 0 %, 25 % e 50 % de gordura adicionada, para ambos aquecedores.

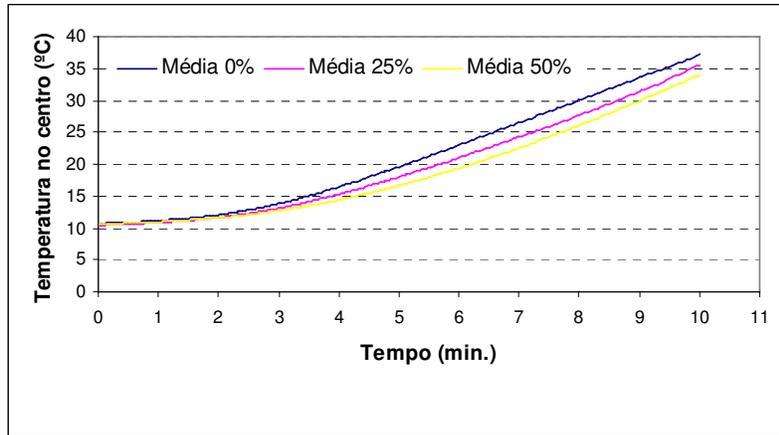


Figura 3.13 - Elevação da temperatura interna para as amostras de hambúrguer cozidas com o comprimento de onda 3,3  $\mu\text{m}$ , para os diferentes teores de gordura adicionada.

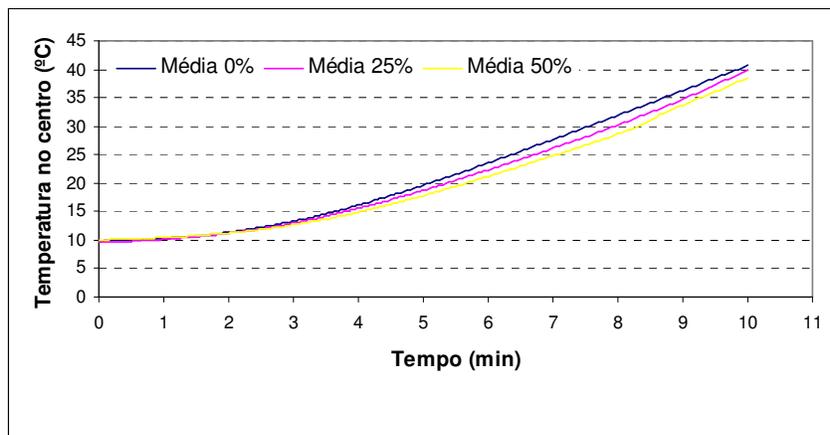


Figura 3.14 - Elevação da temperatura interna para as amostras de hambúrguer cozidas com o comprimento de onda 1,5  $\mu\text{m}$ , para os diferentes teores de gordura adicionada.

A análise estatística de variância indicou uma diferença significativa entre os percentuais de gordura, com relação à elevação de temperatura no centro. O valor de p foi inferior a 0,05, sendo 0,01 e 0,02 para os comprimentos de 1,5 e 3,3  $\mu\text{m}$ , respectivamente.

Dados da literatura mostram que o acréscimo do teor de gordura diminui a condutividade térmica do alimento, prejudicando a transferência de calor. Troutt et al (1992) reportaram que uma amostra de hambúrguer com alto teor de gordura requer um tempo maior de cozimento para atingir a temperatura central desejada. Marcotte e Taherian reportaram a forte interação entre o valor da condutividade térmica e o percentual de gordura ao estudarem emulsões de carne bovina e de frango. O estudo mostrou que a relação é inversa, ou seja, o aumento no teor de gordura diminui o valor da condutividade térmica do produto.

A tabela 3.14 apresenta os valores da medição da condutividade térmica realizada em amostras de carne moída com gordura adicionada em peso, nos percentuais de 0, 10 e 30 %. É possível verificar a concordância com os dados da literatura.

Tabela 3.14 - Medida da condutividade térmica de amostras de hambúrguer com gordura adicionada.

% gordura	Amostra	Condutividade (W/m.K)	R2	T amostra (°C)
0	1	0,456	1,0000	21,0
	2	0,455	1,0000	21,0
10	1	0,401	1,0000	22,0
	2	0,405	1,0000	23,0
30	1	0,343	1,0000	20,5
	2	0,372	0,9999	21,5

O estudo de Dagerskog e Osterstrom (1979) mostrou o aumento da refletividade da radiação IV em amostras de carne de porco e boi com capa de gordura, comparativamente às carnes sem capa de gordura. Com uma maior

reflectância, menos energia é absorvida pelo alimento, diminuindo a taxa de aquecimento interno.

Com base nos resultados apresentados acima e o suporte da literatura, é possível afirmar que a adição de gordura ao hambúrguer diminui a taxa de aquecimento interno para os percentuais estudados no presente experimento.

A análise dos tempos de cozimento mostrou que para as amostras com 0 e 25 % de gordura adicionada a diferença foi inferior a 1 minuto para ambos comprimentos de onda avaliados. Comparando-se os tempos de cozimento das amostras com 0 e 50 % de gordura adicionada, a diferença no tempo de cozimento permaneceu inferior a 1 minuto para o menor comprimento de onda e aumentou para quase 3 minutos para o maior comprimento de onda. A tabela 3.15 apresenta os dados de tempo de cozimento.

Tabela 3.15 - Tempo para atingir 65 °C no centro das amostras de hambúrguer para os diferentes percentuais de gordura.

% Gordura	Comprimento de onda	Teste	Amostra	Tempo (min)	Média por repetição (min)	Média por % de gordura (min)
0	1,5	1	1	14,60	15,30	15,31
0	1,5	1	2	16,00		
0	1,5	2	3	15,20	15,33	
0	1,5	2	4	15,45		
0	3,3	1	1	14,95	15,63	14,98
0	3,3	1	2	16,30		
0	3,3	2	3	12,95	14,33	
0	3,3	2	4	15,70		
25	1,5	1	1	13,70	15,00	15,06
25	1,5	1	2	16,30		
25	1,5	2	3	14,60	15,13	
25	1,5	2	4	15,65		
25	3,3	1	1	14,05	14,73	14,74
25	3,3	1	2	15,40		
25	3,3	2	3	13,85	14,75	
25	3,3	2	4	15,65		
50	1,5	1	1	14,60	15,78	15,83
50	1,5	1	2	16,95		
50	1,5	2	3	15,75	15,88	
50	1,5	2	4	16,00		
50	3,3	1	1	18,50	18,63	17,88
50	3,3	1	2	18,75		
50	3,3	2	3	17,10	17,13	
50	3,3	2	4	17,15		

A análise estatística mostra uma diferença não significativa entre os tempos de cozimento para o menor comprimento de onda e a existência de diferenças significativas entre os tempos de cozimento com o maior comprimento de onda, com o valor p igual a 0,0135.

Comparando-se os tempos de aquecimento das amostras com 0 e 50 % de gordura adicionada para o aquecedor de 3,3  $\mu\text{m}$  de pico, percebe-se que, apesar do comprimento de onda emitido ser coincidente com uma boa absorção da gordura (Anexo A2), a amostra com 50 % de adição de gordura apresentou um maior tempo de cozimento. O efeito de uma menor condutividade e de uma maior refletividade parece se sobrepor ao efeito da absorção preferencial.

Com relação à perda de massa durante o cozimento, as amostras com maior teor de gordura apresentaram maior perda de massa. Houve grande perda de massa na forma líquida, fato evidenciado pela quantidade de líquido presente na bandeja coletora ao final do experimento. Nas carnes com alto teor de gordura, a perda de massa por gotejamento da gordura derretida é considerável e pode ser equivalente a perda de massa por evaporação de água (SHERIDAN E SHILTON, 2000). Troutt et al. (1992) reportaram que a perda de massa durante o cozimento aumentou de 24,8 para 32,1 % quando o conteúdo de gordura foi aumentado de 5 para 30 %. Esses valores são semelhantes aos encontrados no presente experimento, onde a perda de massa aumentou de 25,5 para 30 % quando o conteúdo de gordura adicionada passou de 0 para 25 %. A tabela 3.16 apresenta os dados de perda de massa das amostras após o cozimento.

Tabela 3.16 – Perda de massa das amostras com 0, 25 e 50 % de gordura, cozidas com 3,3 e 1,5  $\mu\text{m}$ .

Gordura (%)	Comprimento de onda ( $\mu\text{m}$ )	Teste	Amostra	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Perda de massa por amostra (%)	Perda de massa por comprimento de onda (%)	Perda de massa por % de gordura (%)	
0	3,3	1	1	130,00	96	26,15	26,92	25,58	
			2	130,00	90	30,77			
		2	3	130,00	98	24,62			
			4	130,00	96	26,15			
	1,5	1	1	130,00	92	29,23	24,23		
			2	130,00	104	20,00			
		2	3	130,00	96	26,15			
			4	130,00	102	21,54			
	25	3,3	1	1	130,00	90	30,77		31,54
				2	130,00	88	32,31		
			2	3	130,00	90	30,77		
				4	130,00	88	32,31		
1,5		1	1	130,00	88	32,31	28,46		
			2	130,00	98	24,62			
		2	3	130,00	90	30,77			
			4	130,00	96	26,15			
50		3,3	1	1	130,00	70	46,15	43,08	
				2	130,00	76	41,54		
			2	3	130,00	76	41,54		
				4	130,00	74	43,08		
	1,5	1	1	130,00	76	41,54	38,46		
			2	130,00	82	36,92			
		2	3	130,00	80	38,46			
			4	130,00	82	36,92			

### 3.4 Avaliação da geometria dos refletores

#### 3.4.1 Etapa 1 – Geometria circular e elíptica

##### 3.4.1.1 Método dos blocos metálicos

Os dados da avaliação através do uso de blocos metálicos estão apresentados na tabela 3.17 e figuras 3.21 a 3.25. A tabela 3.17 mostra os valores de temperaturas máximas, mínimas e as médias, bem como dos desvios padrão, dos 30 blocos metálicos utilizados nas medições.

Tabela 3.17 - Temperaturas máxima, mínima e média dos blocos metálicos, para cada modelo de refletor.

Refletor	Teste	Temp. máx (°C)	Temp. min (°C)	Temp. média por teste (°C)	Desv. Padrão por teste	Temp. média por geometria (°C)	Desv. Médio por geometria
Circular alongado	1	367,70	160,89	253,43	52,51	<b>255,17</b>	<b>53,03</b>
	2	369,18	160,80	256,91	53,55		
Elíptico menor	1	270,60	143,25	211,61	35,79	<b>211,57</b>	<b>35,96</b>
	2	270,71	147,85	211,54	36,14		
Circular ondulado	1	289,84	138,92	218,65	41,82	<b>217,88</b>	<b>41,15</b>
	2	289,30	142,17	217,11	40,49		
Elíptico maior	1	258,00	141,02	201,04	33,89	<b>199,41</b>	<b>33,51</b>
	2	254,97	138,30	197,79	33,13		

Através da análise dos dados, o refletor circular alongado é o que apresenta maior intensidade de radiação, evidenciada pela maior média de temperaturas atingidas pelos blocos. Comparando-se os dois modelos circulares, o modelo ondulado melhora a distribuição de calor, porém com menor intensidade da radiação emitida. Os modelos elípticos avaliados não apresentaram entre si, grande diferença na intensidade. A média das temperaturas foi cerca de 10 °C superior para o modelo menor, indicando que este concentra um pouco mais a radiação emitida.

Comparando-se as duas geometrias, elíptica e circular, a geometria elíptica apresenta a melhor área de cobertura, distribuindo a radiação mais homogeneamente, sendo a intensidade maior para os refletores circulares.

As figuras 3.15 a 3.18, mostram a distribuição de temperatura na bandeja ao longo do tempo. No lado direito do gráfico é apresentada a escala de temperatura utilizada, em graus Celsius.

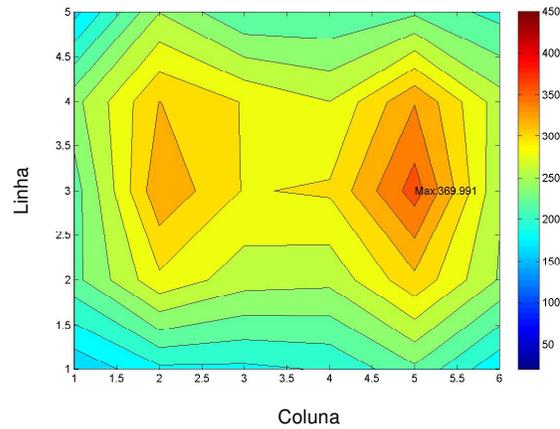


Figura 3.15 – Distribuição de temperatura para o refletor circular alongado.

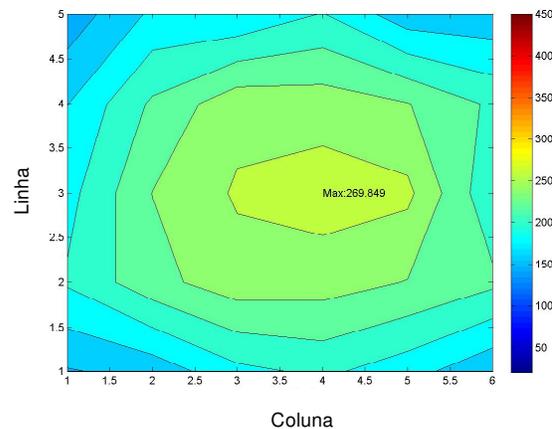


Figura 3.16 – Distribuição de temperatura para o refletor elíptico menor.

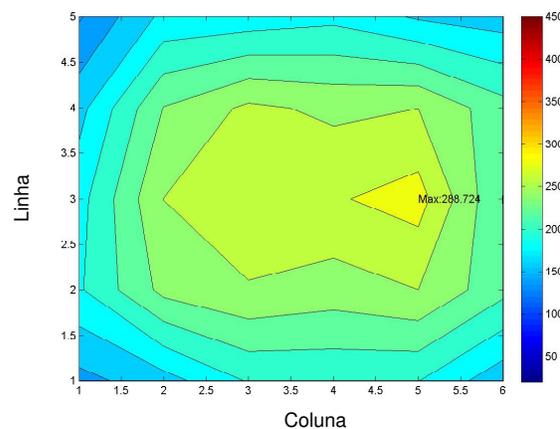


Figura 3.17 – Distribuição de temperatura para o refletor circular ondulado.

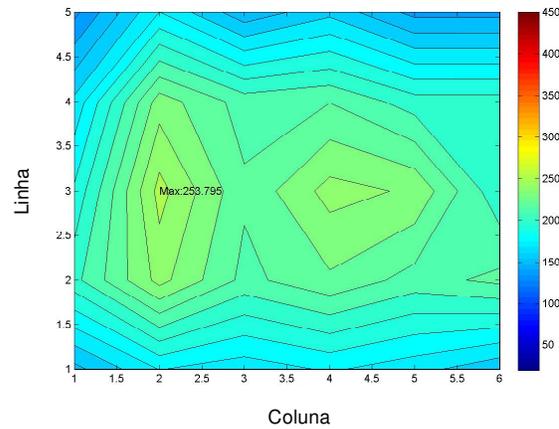
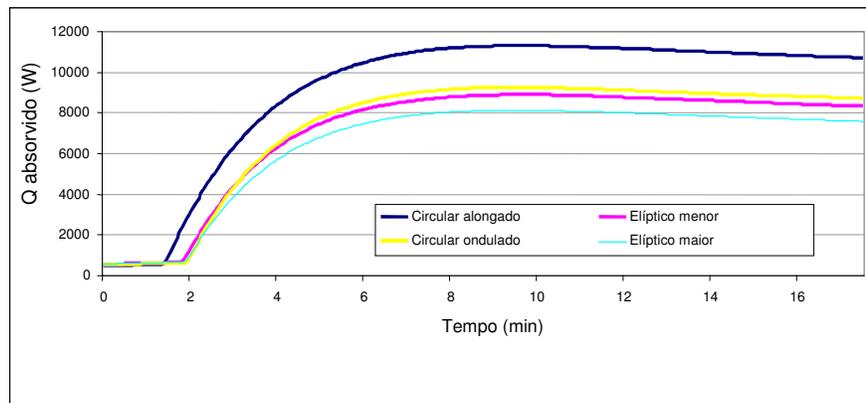


Figura 3.18 – Distribuição de temperatura para o refletor elíptico maior.

Pela análise das figuras é possível identificar a concentração de calor abaixo das lâmpadas para a geometria circular, sendo a concentração mais intensa para o refletor circular alongado conforme observado também na análise dos dados de temperatura máxima e média. O cálculo da equação de balanço de energia na superfície dos blocos resulta nas curvas da figura 3.19.



Figuras 3.19 - Curvas do fluxo de calor médio absorvido na superfície dos blocos metálicos.

A análise estatística mostra uma diferença significativa na temperatura média atingida pelos modelos estudados. O valor  $p$  calculado foi de 0,0008 e o valor  $F$  de 38,95.

### 3.4.2 Etapa 2 – Geometria circular, parabólica e plana

#### 3.4.2.1 Simulação numérica

A simulação numérica realizada mostrou os seguintes perfis para as geometrias estudadas:

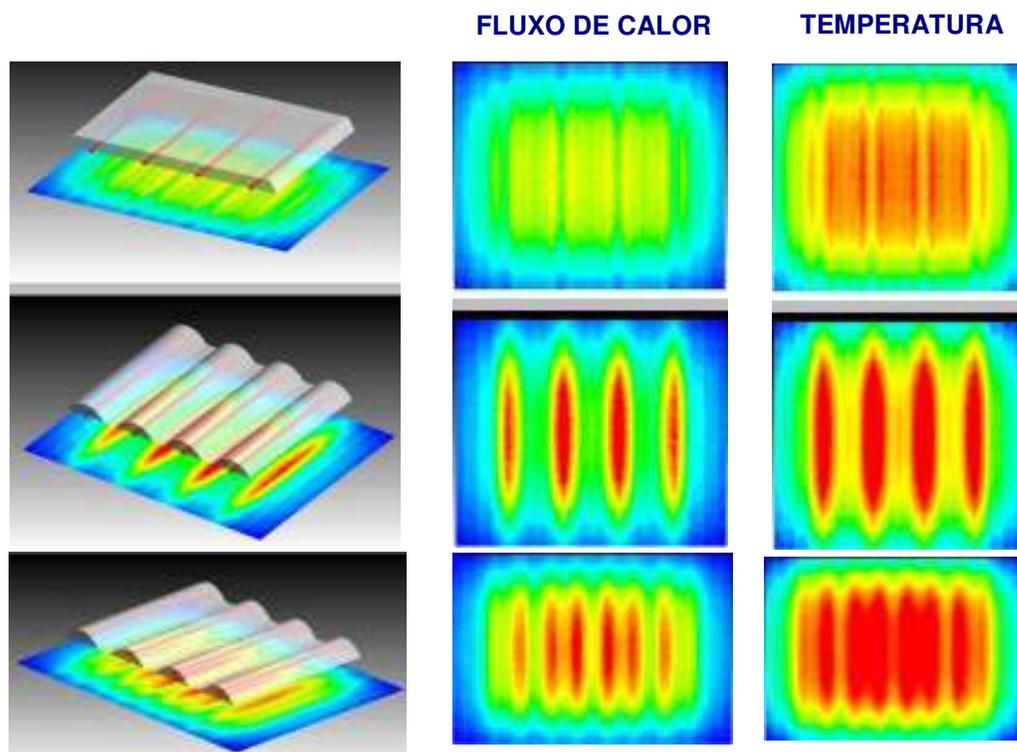


Figura 3.20 - Simulação do fluxo de calor e temperatura para refletor plano, circular e parabólico, respectivamente.

O refletor circular, assim como verificado na etapa 1, apresenta uma boa concentração da radiação, porém com baixa homogeneidade. Mesmo a utilização de um maior número de refletores, não resolve a característica de má distribuição da radiação emitida. O refletor plano possui uma boa homogeneidade, porém com menor intensidade. O refletor parabólico possui ambas características, boa intensidade e homogeneidade. Isso se deve às suas características de reflexão, onde todos os raios emitidos a partir do foco, onde se encontra posicionado o aquecedor, refletem paralelamente ao eixo principal, fazendo com que a radiação seja concentrada e ao mesmo tempo homogênea.

### 3.4.2.2 Método do fluxo de calor a gradiente tangencial

Os dados das medições de fluxo de calor estão representados nas figuras abaixo. As linhas 2 e 3, representam os sensores intermediários, onde o fluxo de calor é mais intenso. As linhas 1 e 4, representam os sensores posicionados nas extremidades do equipamento.

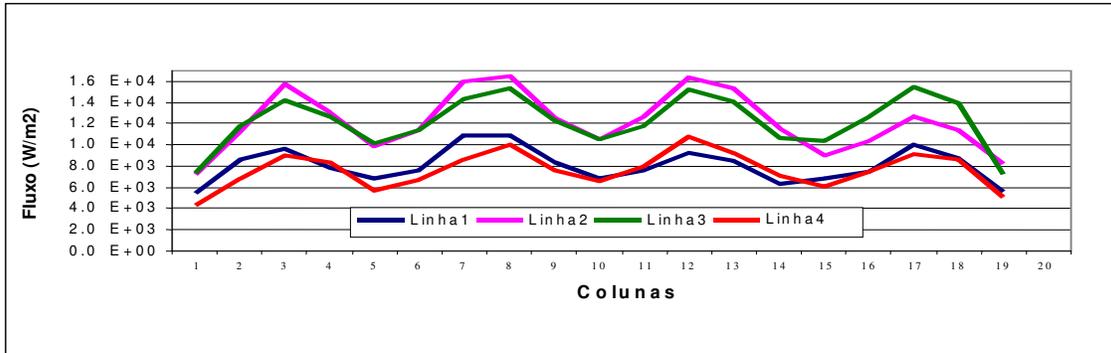


Figura 3.21 - Distribuição de fluxo de calor para o refletor circular.

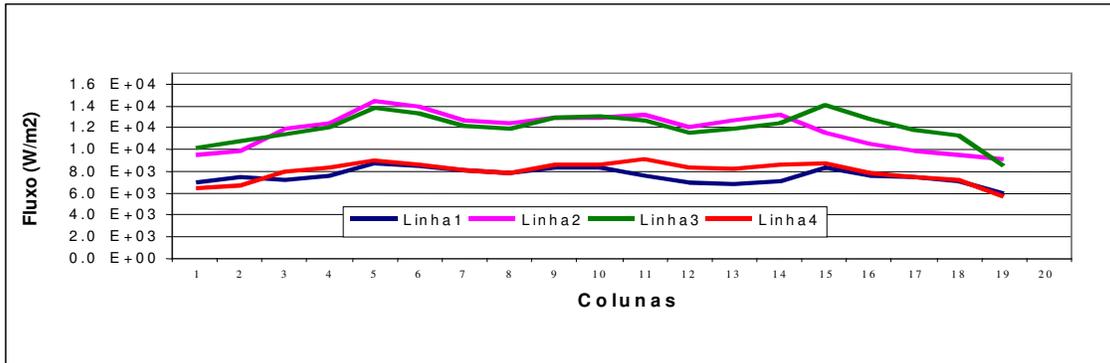


Figura 3.22 - Distribuição de fluxo de calor para o refletor plano.

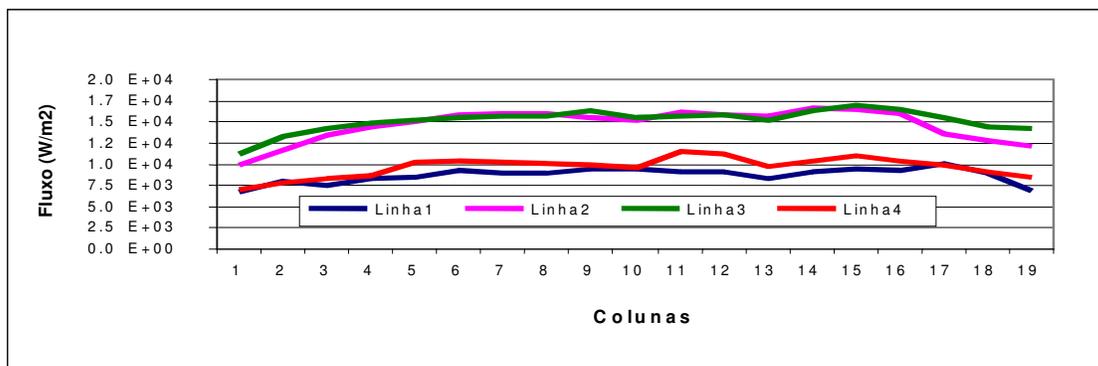


Figura 3.23 - Distribuição de fluxo de calor para o refletor parabólico.

Para o refletor circular, é possível observar os picos de fluxo posicionados logo abaixo das lâmpadas, indicando uma distribuição pouco homogênea da radiação refletida por este modelo de refletor. A geometria plana apresenta um gráfico com picos mais suaves, demonstrando uma boa homogeneidade na distribuição da radiação refletida. Os valores de fluxo são menores, indicando uma menor concentração da radiação refletida. As curvas para a geometria parabólica indicam uma boa distribuição da radiação refletida, bem como boa intensidade desta radiação evidenciada pelos valores de fluxo.

### 3.4.2.3 Cozimento de hambúrgueres

A tabela 3.18 mostra os tempos para atingir a elevação de 30 °C no interior das amostras de hambúrguer, a partir da temperatura inicial de 10 °C, para os 3 modelos de refletor.

Tabela 3.18 - Tempo para atingir a elevação de 30°C no centro do hambúrguer.

Geometria	Teste	Amostra	Tempo (min)	Média tempo por teste	Média tempo por geometria
<b>Circular</b>	Teste 1	1	11,00	11,23	11,15
		2	11,45		
	Teste 2	3	11,05	11,08	
		4	11,10		
<b>Parabólica</b>	Teste 1	1	10,00	10,45	10,55
		2	10,90		
	Teste 2	3	10,05	10,65	
		4	11,25		
<b>Plana</b>	Teste 1	1	11,15	11,53	11,70
		2	11,90		
	Teste 2	3	11,60	11,88	
		4	12,15		

As três geometrias apresentam tempos similares de elevação da temperatura no centro com uma diferença de 1 minuto entre a geometria parabólica e a plana.

A análise estatística mostrou não haver diferença significativa entre os tempos, com o valor de  $p$  igual a 0,2406.

A figura 3.24 mostra o douramento na superfície dos hambúrgueres cozidos com os três modelos de refletor. O refletor circular apresenta um douramento com baixa homogeneidade, a radiação fica concentrada na região logo abaixo da lâmpada. Já o refletor plano homogeneiza melhor a radiação emitida, porém com menor intensidade de douramento na superfície da carne. O refletor parabólico unindo essas duas características doura bem a superfície e homogeneiza a radiação emitida. A diferença de douramento observada entre as amostras do centro e das laterais é devido à potência aplicada à lâmpada, que foi maior nas lâmpadas posicionadas nas extremidades.



Figura 3.24 - Amostras de carne cozidas com os conjuntos circular, parabólico e plano, respectivamente.

A perda de peso foi similar para todas as geometrias, sendo 6; 5,5 e 4 % para a geometria parabólica, circular e plana respectivamente. O refletor parabólico promove uma maior evaporação na superfície o que acarreta uma maior perda de massa, bem como um douramento mais intenso da superfície.

## RESUMO DOS RESULTADOS

### **RESUMO DOS RESULTADOS**

- ✓ O modelo de aquecedor com pico de emissão em 1,5  $\mu\text{m}$  apresentou uma maior capacidade de penetração no alimento, elevando mais rapidamente a temperatura interna das amostras.
- ✓ A radiação proveniente do aquecedor com pico de emissão em 1,5  $\mu\text{m}$  atua em uma faixa do espectro em que a água é mais transparente, resultando em maior penetração no alimento que tem a água como principal constituinte.
- ✓ O modelo de aquecedor com pico de emissão em 3,3  $\mu\text{m}$  promove um douramento mais intenso na superfície, evidenciando a maior absorção da radiação emitida nesta faixa do espectro pela água.
- ✓ As carnes com menor conteúdo de água, como a salsicha, apresentam uma menor diferença nos tempos de cozimentos entre os dois comprimentos de onda estudados, indicando um aquecimento interior bastante semelhante.
- ✓ Para uma maior penetração da radiação, com menor aquecimento superficial, um aquecedor com comprimento na faixa de 1,5  $\mu\text{m}$ , ou abaixo, deve ser utilizado.

- ✓ A adição da gordura alterou significativamente a elevação da temperatura interna das amostras de hambúrguer bovino. Entretanto, o tempo final de cozimento foi significativamente maior apenas para o maior comprimento de onda, de 3,3  $\mu\text{m}$ .
- ✓ O aumento do teor de gordura aumentou a perda de massa das amostras, sendo 25, 30 e 40 % para os conteúdos de 0, 25 e 50 % de gordura adicionada, respectivamente.
- ✓ O uso de refletores com diferentes geometrias possibilita o direcionamento do sistema conforme o objetivo do processo, maior intensidade ou maior homogeneidade.
- ✓ No caso em que há necessidade de uma ampla área de cobertura, o refletor plano é uma boa opção, inclusive tendo como outra vantagem a sua maior facilidade de manufatura. A sua menor intensidade de radiação pode ser solucionada utilizando-se um aquecedor com maior potência.
- ✓ A geometria parabólica é a mais indicada para conciliar intensidade e homogeneidade do fluxo de calor radiativo.

## CONCLUSÕES

### **CONCLUSÕES**

No presente trabalho foram estudados diferentes sistemas de cocção por radiação infravermelha. A partir dos resultados discutidos pode-se destacar as seguintes conclusões:

- ✓ O sistema de cozimento por radiação IV pode ser otimizado através da utilização de um aquecedor com pico de emissão na região do espectro mais adequada ao objetivo do trabalho. Para uma maior penetração da radiação no alimento, diminuindo o tempo de processo, deve-se aplicar uma fonte com pico de emissão correspondente a 1,5  $\mu\text{m}$ , ou abaixo. Para uma maior absorção na superfície, resultando em um maior douramento do alimento, deve-se utilizar comprimentos de onda altamente absorvidos pela água, acima de 2  $\mu\text{m}$ .
- ✓ O aumento do teor de gordura nas amostras de hambúrguer bovino aumentou a perda de massa de 25 para 40 % para os conteúdos de 0 e 50 % de gordura adicionada, respectivamente. O tempo de cozimento não foi alterado significativamente para o aquecedor com pico de emissão em 1,5  $\mu\text{m}$ . Para o aquecedor com pico de emissão em 3,3  $\mu\text{m}$  houve um aumento significativo no tempo de cozimento.

- ✓ Embora os dados mostrem um tempo de cozimento reduzido para aquecedores com pico de emissão em comprimentos de onda menores, esta diferença foi inferior a 5 minutos nos casos estudados. Isso mostra que, ao se aplicar o mesmo fluxo de calor incidente na amostra, é possível a utilização de aquecedores com pico de emissão em maiores comprimentos de onda sem um grande aumento no tempo de processo. Entretanto, algumas características sensoriais, como o douramento da superfície, se mantêm diferentes.
  
- ✓ O uso de diferentes geometrias possibilita o direcionamento do sistema conforme o objetivo do processo, maior intensidade ou maior homogeneidade. A geometria parabólica é a mais indicada para conciliar intensidade e homogeneidade do fluxo de calor radiativo.

## REFERÊNCIAS

## **REFERÊNCIAS**

ALDEN, L. B.; BLODGETT, G. S. Method for cooking food in an infra-red conveyor oven. U.S. patent, 1992.

BIRTH, G. S. Quality Detection in Foods, American Society of Agricultural Engineers, Michigan, 1976.

BOLSHAKOV et al. Paper J5, 22<sup>nd</sup> European meeting of meat research workers, 1976.

BRASIL – SITE BRASIL ESCOLA. Disponível em:  
<<http://www.brasilecola.com/biologia/proteinas.htm>>. Acesso em: novembro de 2008.

CIÊNCIA DA CARNE. Disponível em:  
<<http://www.cnpqg.embrapa.br/publicacoes/doc/doc77/03nocoescarne.html#3.1>>. Acesso em: junho de 2008.

DAGERSKOG, M.; ÖSTERSTRÖM L. Infrared Radiation for Food Processing part I – A study of Fundamental Properties of Infrared Radiation. Lebensmittel Wissenschaft und Technologie, 237-242, 1979.

DAGERSKOG, M. Infrared Radiation for Food Processing part II – Calculation of Heat Penetration During Infrared Frying of Meat Products. Lebensmittel Wissenschaft und Technologie, 252-257, 1979.

ENQ – DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA, UFSC. Disponível em  
<[http://www.enq.ufsc.br/labs/probio/disc\\_eng\\_bioq/trabalhos\\_pos2003/const\\_microor g/proteinas.htm](http://www.enq.ufsc.br/labs/probio/disc_eng_bioq/trabalhos_pos2003/const_microor g/proteinas.htm)>. Acesso em novembro de 2008.

ESPELHOS ESFÉRICOS. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Espelhos>>. Acesso em: junho de 2008.

FONTANA et al. Thermal Properties Of Selected Foods Using A Dual Needle Heat-Pulse Sensor. ASAE/CSAE-SCGR Annual International Meeting, 1999.

GÜTHS, S. "Anémomètre a Effet Peltier et Fluxmètre Thermique: Conception et Réalisation. Application à l'Etude de la Convection Naturelle". Thèse de Doctorat, Université d'Artois, 1994.

GÜTHS, S. et al. "Um Transdutor de Fluxo de Calor a Gradiente Tangencial. Anais do XI Congresso Brasileiro em Engenharia Mecânica, 1995.

HALLIDAY, D.; WALKER, J.; RESNICK, R. Fundamentos de Física - Óptica e Física Moderna, 2001.

HAMM, R. Changes of muscle proteins during the heating of meat. Physical, Chemical and Biological Changes in Food Caused by Thermal Processing. Applied Science Publishers, London, 1977.

INCROPERA, F. P.; DE WITT, D. P. Fundamentos de Transferência de Calor e Massa. 5<sup>a</sup> Edição, 2003.

JUN, S.; IRUDAYARAJ, J. A dynamic fungal inactivation approach using selective infrared heating. Trans ASAE 46(5):1407–12, 2003.

KATHIRAVAN, K. et al. Infrared Heating in Food Processing: An Overview. Comprehensive reviews in Food Science and Food Safety, 2008.

LENTZ, R. R. et al. Method of processing food utilizing infra-red radiation. U.S. patent 5382441, 1995.

MANTESE, F. G. Transformação do músculo em carne. Seminário apresentado no curso de Pós – Graduação em Ciências Veterinárias, UFRGS, 2002.

MARCOTTE, M.; TAHERIAN, A. R. Thermophysical Properties Of Processed Meat And Poultry Products. Food Research and Development Centre, Agriculture and Agri-Food, Canada.

MASAMURA, A. et al. Drying of potato by far-infrared radiation. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi* 35(5):309–14, 1988.

McGEE, H. *On Food and Cooking*, 2004.

MOLONEY. *The fat content of meat and meat products*, Teagasc, Dunsany.

NICOLAU, V. P.; BALEN F. J. Spectral radiative properties identification of glass samples. *High Temperatures-High Pressures*, 2001.

NICOLAU, V. P et al. Spectral radiative properties identification of glass and coatings. *The 6th Brazilian Symposium on Glass and Related Materials and the 2nd International Symposium on Non-Crystalline Solids*, 2003.

ODERICH, C.A L. *Industrialização de Carnes: Produção da Salsicha*. Escola de Engenharia, UFRGS, 2007.

ÓPTICA GEOMÉTRICA. Disponível em <[http://www.feiradeciencias.com.br/sala09/09\\_OG03.asp](http://www.feiradeciencias.com.br/sala09/09_OG03.asp)>. Acesso em: junho de 2008.

ROÇA, R. O. *Composição química da carne*. FCA, UNESP, 2000.

ROSS, B. et al. *Six Sigma Design of Experiments*. Apostila de treinamento, 2008.

SAKAI, N.; HANZAWA, T. Applications and advances in far-infrared heating in Japan. *Trends Food Science Technology* 5:357–62, 1994.

SANDU, C. et al. *Proceedings of the First International Congress on Engineering and Food*, 1976.

SARCINELLI, M. F.; VENTURINI, K. S.; SILVA, L. C. *Características da carne suína*. Universidade Federal do Espírito Santo, 2007.

SHERIDAN, P. S.; SHILTON N. C. Analysis of yield while cooking beefburger patties using far infrared radiation. *Journal of Food Engineering* 51:3-11, 2002.

SHERIDAN, P. S.; SHILTON N. C. Application of far infrared to cooking of meat products. *Journal of Food Engineering* 41:203–8, 1999.

SILVA, L. P. G. Preconceitos e verdades sobre a carne suína. Centro de Ciências Agrárias, UFPB, 2005.

SINGH, R. P. New Approaches to Improve Safety and Quality in Cooking of Hamburger Patties. Disponível em:  
<<http://rpaulsingh.com/research/Presentations/hamburger/hamburgeronweb.htm>>. Acesso em: junho de 2008.

SKJOLDEBRAND, C. Some aspects on frying of meat products in a forced convection oven. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie* 12: 325-329, 1979.

TANAKA, F. et al. Investigation of far infrared radiation heating as an alternative technique for surface decontamination of strawberry. *Journal of Food Engineering* 79:445–52, 2007.

TROUTT, E. S. et al. Chemical, physical, and sensory characterization of ground beef containing 5 to 30 percent fat. *Journal of Food Science* 57:25-29, 1992.

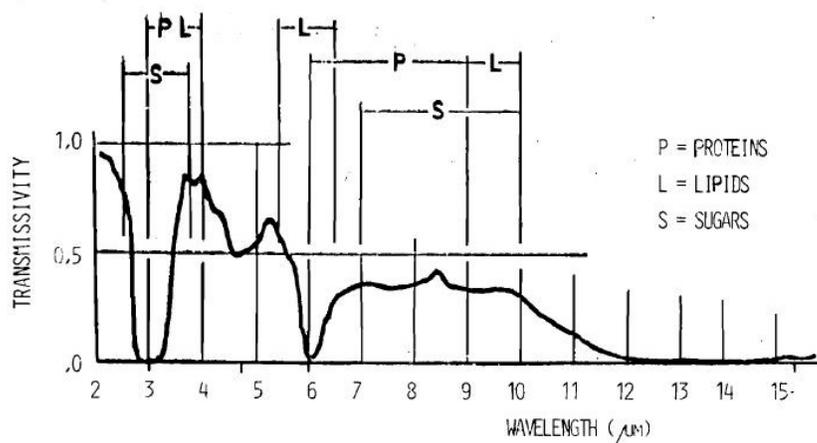
UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas. Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação. Tabela Brasileira de Composição de Alimentos, 2004.

USP – Universidade de São Paulo. Disponível em: <<http://iqsc.usp.br>>. Acesso em: outubro de 2008.

*A1 - Composição química (g / 100g) e conteúdo energético (Kcal / 100g) médio da carne magra crua e da gordura de alguns animais de abate. (ROÇA, 2000).*

Carnes	Água	Proteína	Gordura	Minerais	Cont. energético
Suína	75,1	22,8	1,2	1,0	112
Bovina	75,0	22,3	1,8	1,2	116
Vitelo	76,4	21,3	0,8	1,2	98
Cervo	75,7	21,4	1,3	1,2	103
Frango – peito	75,0	22,8	0,9	1,2	105
Frango – coxa	74,7	20,6	3,1	-	116
Peru – peito	73,7	24,1	1,0	-	112
Peru – coxa	74,7	20,5	3,6	-	120
Pato	73,8	18,3	6,0	-	132
Ganso	68,3	22,8	7,1	-	161
Gordura de suíno	7,7	2,9	88,7	0,7	812
Gordura de Bovino	4,0	1,5	94,0	0,1	854

*A2 - Espectro de absorção dos principais componentes dos alimentos (SANDU et al, 1976)*



---

*A3 – Consumo de carnes suína, bovina e de frango (SILVA, 2005).*

---

	Mundo, kg/hab.	Mundo, %	Am. Sul, kg/hab.	Am. Sul, %
Carne Suína	14,9	41,7	7,8	13,5
Carne Frango	10,8	30,6	20,0	35,0
Carne Bovina	9,8	27,7	29,5	51,5

---

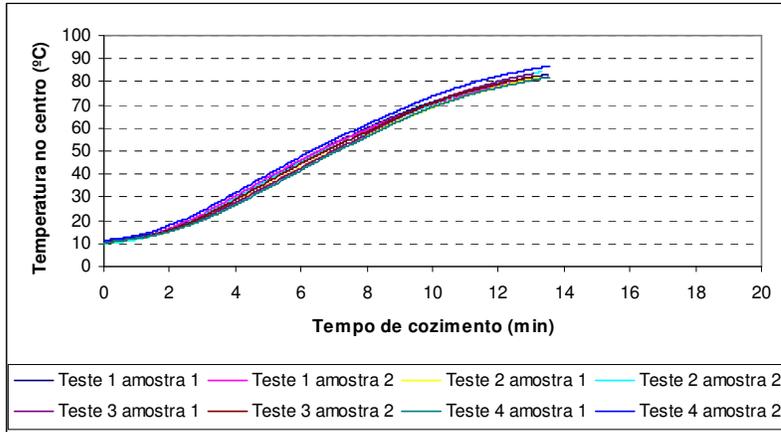
*A4 – Classificação dos microorganismos de acordo com a temperatura ótima de crescimento (USP, 2008).*

---

<b>Microorganismo</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
<b>Termófilos</b>	<b>55 - 75</b>
<b>Mesófilos</b>	<b>30 - 45</b>
<b>Psicrotrófilos</b>	<b>20 - 40</b>
<b>Psicrófilos</b>	<b>12 - 15</b>

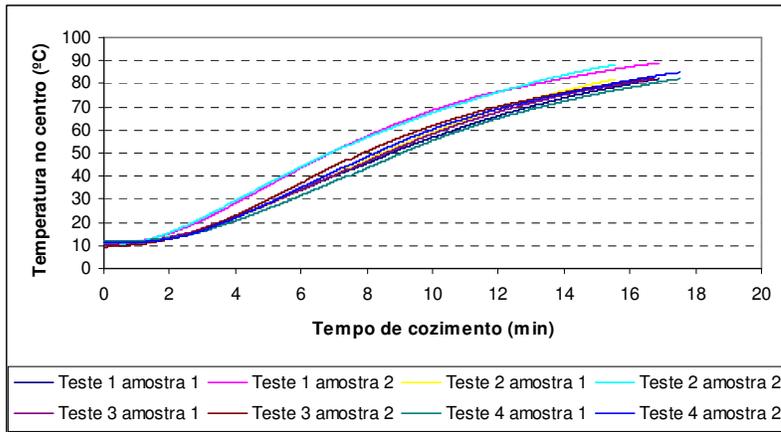
**A5 - Perfil de elevação da temperatura interna das amostras de frango, para o comprimento de onda de 1,5  $\mu\text{m}$ .**

---



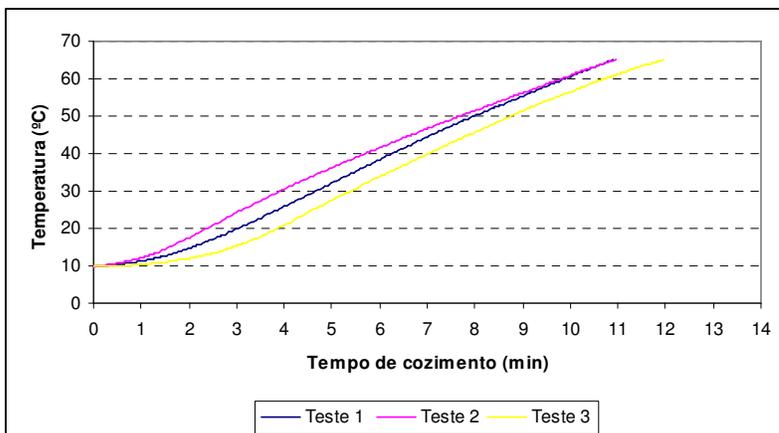
**A.6 - Perfil de elevação da temperatura interna das amostras de frango, para o comprimento de onda de 3,3  $\mu\text{m}$ .**

---

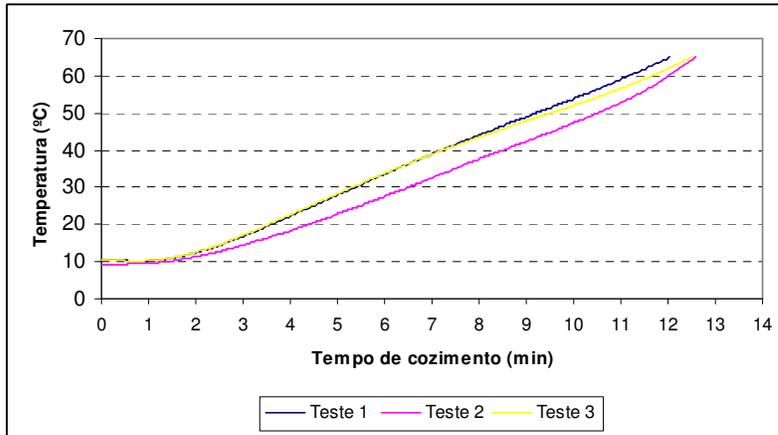


**A7 - Perfil de elevação da temperatura interna das amostras de bisteca, para o comprimento de onda de 1,5  $\mu\text{m}$ .**

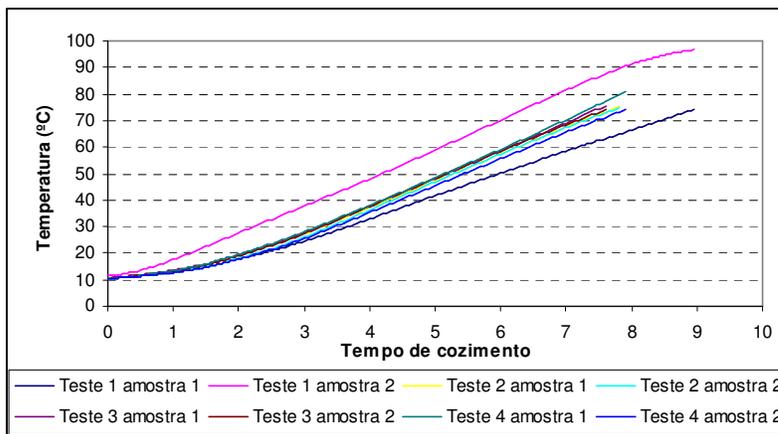
---



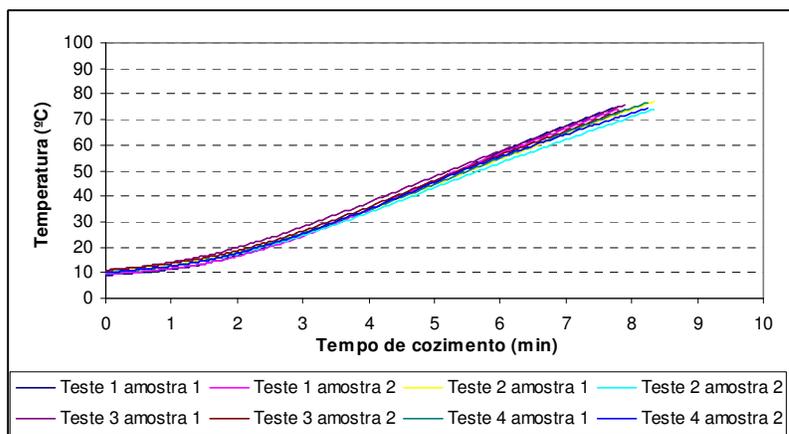
**A8 - Perfil de elevação da temperatura interna das amostras de bisteca, para o comprimento de onda de 3,3  $\mu\text{m}$ .**



**A9 - Perfil de elevação da temperatura interna das amostras de salsicha, para o comprimento de onda de 1,5  $\mu\text{m}$ .**



**A10 - Perfil de elevação da temperatura interna das amostras de salsicha, para o comprimento de onda de 3,3  $\mu\text{m}$ .**



### A11 – Composição centesimal de carnes (UNICAMP, 2004).

Tabela 1. Composição de alimentos por 100 gramas de parte comestível: Centesimal, minerais, vitaminas e colesterol.

Número do Alimento	Descrição do Alimento	Umidade (%)	Energia		Proteína (g)	Lipídeos (g)	Colesterol (mg)	Carbo- idrato (g)	Fibra Alimentar (g)	Cinzas (g)	Cálcio (mg)	Magnésio (mg)
			(kcal)	(kJ)								
<b>Pescados</b>												
101	Atum, fresco, cru	73	118	492	26	1	48	0		1,3	7	32
102	Bacalhau, salgado, cru	48	136	569	29	1	139	0	0,0	22,5	157	49
103	Corimba, cru	76	128	536	17	6	40	0	0,0	1,0	40	23
104	Corvina de água doce, crua	79	101	423	19	2	73	0	0,0	1,0	39	25
105	Corvina do mar, crua	79	94	392	19	2	67	0	0,0	1,1	*	24
106	Merluza, filé, crua	82	89	373	17	2	57	0	0,0	1,1	20	27
106	Pescada, branca, crua	80	111	464	16	5	51	0	0,0	0,9	16	19
108	Pescada, filé, crua	80	107	449	17	4	65	0	0,0	0,9	14	23
109	Pintado, cru	80	91	381	19	1	50	0	0,0	1,1	12	24
110	Porquinho, cru	79	93	389	20	1	49	0	0,0	1,3	26	24
111	Sardinha, inteira, crua	77	114	477	21	3	61	0	0,0	1,6	167	29
<b>Carnes e derivados</b>												
112	Caldo de carne, tablete	3	241	1007	8	17		15		57,6	129	22
113	Carne, bovina, a.o.m, moída, cozida	62	212	888	27	11	103	0	0,0	0,8	4	17
114	Carne, bovina, a.o.m, moída, crua	73	137	571	19	6	58	0	0,0	0,9	3	14
115	Carne, bovina, a.o.m, sem gordura, cozida	60	215	898	27	11	107	0	0,0	0,8	7	14
116	Carne, bovina, a.o.m, sem gordura, crua	72	144	603	21	6	53	0	0,0	1,0	5	13
117	Carne, bovina, bucho, cozida	74	133	557	22	5	245	0	0,0	0,3	13	7
118	Carne, bovina, bucho, crua	75	137	574	21	6	145	0	0,0	0,4	9	6
119	Carne, bovina, capa de contra-filé, com gordura, crua	65	217	908	19	15	63	0	0,0	0,9	6	17
120	Carne, bovina, capa de contra-filé, com gordura, grelhada	48	313	1309	31	20	120	0	0,0	1,1	7	18
121	Carne, bovina, capa de contra-filé, sem gordura, crua	73	132	551	22	4	58	0	0,0	1,0	6	20
122	Carne, bovina, capa de contra-filé, sem gordura, grelhada	54	239	1002	35	10	80	0	0,0	1,3	9	26
123	Carne, bovina, contra-filé de costela, crua	66	202	844	20	13	52	0	0,0	1,0	3	14
124	Carne, bovina, contra-filé de costela, grelhada	52	277	1157	30	16	98	0	0,0	1,2	4	24
125	Carne, bovina, contra-filé, com gordura, crua	66	206	861	21	13	73	0	0,0	0,9	4	18
126	Carne, bovina, contra-filé, com gordura, grelhada	52	278	1163	32	15	144	0	0,0	1,2	4	19
127	Carne, bovina, contra-filé, sem gordura, crua	69	157	655	24	6	59	0	0,0	1,0	4	21
128	Carne, bovina, contra-filé, sem gordura, grelhada	58	194	810	36	4	102	0	0,0	1,3	5	21
129	Carne, bovina, costela de boi, assada	43	373	1561	29	28	95	0	0,0	1,0	*	20
130	Carne, bovina, costela de boi, crua	53	358	1497	17	32	44	0	0,0	0,9	*	12
<b>Continuação da Tabela 1</b>												
Número do Alimento	Descrição do Alimento	Umidade (%)	Energia		Proteína (g)	Lipídeos (g)	Colesterol (mg)	Carbo- idrato (g)	Fibra Alimentar (g)	Cinzas (g)	Cálcio (mg)	Magnésio (mg)
			(kcal)	(kJ)								
166	Carne, frango, asa com pele, crua	67	213	892	18	15	113	0	0,0	0,7	11	23
167	Carne, frango, coração, crua	69	222	927	13	19	159	0	0,0	0,8	6	20
168	Carne, frango, coxa com pele, sem osso, crua	73	161	676	17	10	97	0	0,0	0,8	8	26
169	Carne, frango, coxa sem pele, sem osso, crua	76	120	502	18	5	91	0	0,0	0,9	8	27
170	Carne, frango, fígado, crua	78	106	446	18	3	341	0	0,0	1,2	6	28
171	Carne, frango, inteiro, com pele, sem osso, crua	67	226	947	16	17	85	0	0,0	0,7	6	24
172	Carne, frango, inteiro, sem pele, sem osso, crua	75	129	540	21	5	78	0	0,0	0,9	7	27
173	Carne, frango, peito com pele, sem osso, crua	72	148	619	21	7	80	0	0,0	0,9	8	28
174	Carne, frango, peito sem pele, sem osso, crua	75	118	493	22	3	59	0	0,0	1,0	7	31
175	Carne, frango, sobrecoxa, com pele, sem osso, crua	64	255	1065	15	21	88	0	0,0	0,8	7	22
176	Carne, frango, sobrecoxa, sem pele, sem osso, crua	73	162	677	18	10	84	0	0,0	0,9	6	26