

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM PROCESSOS QUÍMICOS

THALLES EDUARDO DE JESUS PEREIRA

**DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA E DIFUSIVIDADE
TÉRMICA DA CARNE DE FRANGO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

APUCARANA

2012

THALLES EDUARDO DE JESUS PEREIRA

**DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA E DIFUSIVIDADE
TÉRMICA DA CARNE DE FRANGO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo em Processos Químicos, do Curso Superior de Tecnologia em Processos Químicos, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Joel Fernando Nicoletti

APUCARANA

2012

TERMO DE APROVAÇÃO

Determinação da condutividade térmica e difusividade térmica da carne de frango

por

Thalles Eduardo de Jesus Pereira

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentada às 16 horas do dia **17 de outubro de 2012** como requisito parcial para obtenção do título de TECNÓLOGO EM PROCESSOS QUÍMICOS, Programa de Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Apucarana. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores: Dr. Joel Fernando Nicoleti (orientador), Msc. Fernanda Lini Seixas e Dr. Marcio Eduardo Berezuk. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado desde que atendidas as recomendações mencionadas.

AGRADECIMENTO

Agradeço imensamente ao meu orientador Prof. Dr. Joel Fernando Nicoleti pela dedicação ao projeto realizado, e a meus familiares e companheiros próximos que me estimularam a conclusão deste trabalho.

RESUMO

PEREIRA, Thalles Eduardo de Jesus. **Determinação da Condutividade Térmica e Difusividade Térmica da Carne de Frango**. 2012. 40 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso de Tecnologia em Processos Químicos - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Apucarana, 2012.

O objetivo deste trabalho foi determinar os valores de condutividade térmica e difusividade térmica das carnes da coxa/sobrecoxa, peito e uma emulsão de pele e gordura de frango em função da temperatura e do conteúdo de umidade. As carnes foram moídas e uma pequena parte reservada para os testes da amostra *in natura*, enquanto outra parte foi disposta sobre bandejas e levadas à estufa de circulação forçada a 60 °C para promover a redução da umidade da amostra, totalizando cinco umidades distintas. Em tempos pré-programados, parcelas das amostras eram removidas para os ensaios da condutividade térmica e difusividade térmica e o respectivo teor de umidade quantificado a 105 °C por 4h em estufa. A condutividade térmica foi avaliada pelo método de sonda linear empregando um cilindro de alumínio. A difusividade térmica foi avaliada pelo método de Dickerson empregando um cilindro de bronze. Ambos os métodos foram previamente calibrados com água imobilizada empregando carragena 1% (p/p). As propriedades térmicas foram bastante afetadas pelo conteúdo de umidade, apresentando um aumento em seus valores conforme o teor de umidade foi aumentado. A elevação da temperatura também conduziu a valores maiores da condutividade e difusividade térmicas. Em conjunto, foram construídas superfícies de respostas e equações empíricas considerando as parcelas significativas ($p < 0,05$) são apresentadas.

Palavras-chave: Difusividade térmica. Condutividade térmica. Transferência de calor.

ABSTRACT

PEREIRA, Thalles Eduardo de Jesus. **Determination of Thermal Conductivity and Thermal Diffusivity of Chicken Meat**. 2012. 40 pages. Working End of Course Technology in Chemical Processes - Federal Technology University - Parana. Apucarana, 2012.

The objective of this study was to determine the values of thermal conductivity and thermal diffusivity of meat from drumstick / thigh, chest, and an emulsion of skin and chicken fat as a function of temperature and moisture content. The meats were ground and a small portion set aside for testing the sample in nature, while others were arranged on trays and put into forced circulation oven at 60 ° C to promote the reduction of the moisture of the sample, a total of five different humidities. In pre-programmed times, portions of the samples were removed for testing of thermal conductivity and thermal diffusivity and its moisture content measured at 105 ° C for 4 h in an oven. The thermal conductivity was evaluated by linear probe employing an aluminum cylinder. The thermal diffusivity was measured by the method of Dickerson employing a brass cylinder. Both methods have previously been calibrated using immobilized water carrageenan (1% w / w). The thermal properties were highly affected by moisture content, an increase in their values as the moisture content was increased. Rising temperatures also led to higher values of conductivity and thermal diffusivity. Together, response surfaces were constructed and empirical equations considering significant effects ($p < 0.05$) are presented.

Keywords: Thermal diffusivity. Thermal conductivity. Heat Transfer.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: (a) Amostras de carne de frango no moedor; (b) carne de frango moída dispostas em bandejas.....	20
Figura 2: Esquema ilustrativo da sonda linear.....	21
Figura 3: sonda de difusividade térmica.....	22
Figura 4: Difusividade térmica da carne de frango em função da temperatura e do conteúdo de umidade: (a) coxa/sobrecoxa; (b) peito; (c) pele/gordura.....	25
Figura 5: Superfícies de resposta para a difusividade térmica da carne de frango em função da temperatura e do conteúdo de umidade: (a) coxa/sobrecoxa; (b) peito; (c) pele/gordura.....	28
Figura 6: Condutividade térmica em função do conteúdo de umidade e temperatura da carne de frango: (a) coxa/sobrecoxa; (b) peito; (c) pele/gordura.....	32
Figura 7: Superfícies de resposta para a condutividade térmica da carne de frango em função da temperatura e do conteúdo de umidade: (a) coxa/sobrecoxa; (b) peito; (c) pele/gordura.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição centesimal e conteúdo energético da coxa e o peito do frango.....	9
Tabela 2: Nível de significância (p) dos efeitos – lineares, quadráticos e interação linear – das variáveis independentes sobre a difusividade térmica da carne da coxa/sobrecoxa de frango.....	29
Tabela 3: Nível de significância (p) dos efeitos – lineares, quadráticos e interação linear – das variáveis independentes sobre a difusividade térmica da carne do peito de frango.....	30
Tabela 4: Nível de significância (p) dos efeitos – lineares, quadráticos e interação linear – das variáveis independentes sobre a difusividade térmica da pele/gordura de frango.....	30
Tabela 5: Nível de significância (p) dos efeitos – lineares, quadráticos e interação linear – das variáveis independentes sobre a condutividade térmica da carne da coxa/sobrecoxa de frango.....	35
Tabela 6: Nível de significância (p) dos efeitos – lineares, quadráticos e interação linear – das variáveis independentes sobre a condutividade térmica da carne peito de frango.....	36
Tabela 7: Nível de significância (p) dos efeitos – lineares, quadráticos e interação linear – das variáveis independentes sobre a condutividade térmica da pele/gordura de frango.....	37

LISTA DE SÍMBOLOS

K Condutividade térmica.

α Difusividade térmica.

% (*p/p*) percentual peso por peso.

mg miligrama.

g grama.

Kcal kilocaloria.

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	9
2.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1.CARNE DE FRANGO E SEUS DERIVADOS	13
2.2.PROPRIDADES TERMOFÍSICAS	15
2.2.1.Condutividade Térmica.....	16
2.2.2.Difusividade Térmica	18
3.METODOLOGIA	20
3.1.AMOSTRAS E PREPARAÇÃO	20
3.2.CONDUTIVIDADE TÉRMICA (K)	21
3.3.DIFUSIVIDADE TÉRMICA (α).....	22
4.RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	23
4.1.DIFUSIVIDADE TÉRMICA	23
4.2.CONDUTIVIDADE TÉRMICA.....	30
5.CONCLUSÃO	38
REFERÊNCIAS.....	39

1. INTRODUÇÃO

A avicultura de corte do estado do Paraná, em 2008, alcançou a liderança na produção e exportação de frango de corte no Brasil, superando Santa Catarina, que liderava o ranking de exportação no ano anterior. Esta consolidação se deve ao grande número de indústrias do setor no Paraná, que fazem constantes investimentos na modernização de seus parques industriais, impulsionando o crescimento e desenvolvimento desta atividade. De acordo com o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), o Brasil foi o quarto maior consumidor de carne de frango (38,5 kg/hab) em 2008, atrás somente dos Estados Unidos, Venezuela e Malásia. O aumento da produção e do consumo de frango é uma tendência mundial, que se deve à demanda por carnes brancas por serem consideradas mais saudáveis e pelo preço baixo comparado às carnes bovina e de pesca (SindiaVIPAR, 2009).

De acordo com Roça (2009), as carnes magras, em geral, apresentam em torno de 75% de água, 21 - 22% de proteína, 1 - 2% de gordura, 1% de mineral e menos de 1% de carboidratos. Em considerações as partes nobres da carne de frango, coxa e peito, as quantidades destes nutrientes são ilustradas na Tabela 1 (Seub, 1991).

Tabela 1: Composição centesimal e conteúdo energético da coxa e o peito do frango

Carne de Frango	Água (g/100g)	Proteína (g/100g)	Gordura (g/100g)	Minerais (g/100g)	Energia (Kcal/100g)
Peito	75,0	22,8	0,9	1,2	105
Coxa	74,7	20,6	3,1	-	116

A carne de frango, segundo Moreira *et al.* (1998), além de ser rica em proteínas, é também fonte importante de energia e de outros nutrientes como ferro, e vitaminas do complexo B, em especial niacina (músculo escuro) e riboflavina (músculo claro).

Além do consumo convencional e caseiro pelo processo de cocção da carne de frango, há uma diversidade de produtos industrializados a base desta carne. Entre

estes se destacam os empanados, pastas ou patês de frango, embutidos fermentados e produtos reestruturados como mortadela e salsichas (Roque-Specht, 1996). Os tratamentos térmicos, empregados de acordo com as tecnologias e suas peculiaridades distintas, requerem o emprego do calor, e em muitos casos, o resfriamento subsequente. A estimativa do calor total a ser adicionado ou removido, em cada processo ou etapa de processamento, está diretamente relacionada aos custos de energia de uma indústria do setor. O calor excessivo pode levar a uma redução da qualidade do produto final e onerar o processo desnecessariamente, enquanto que sua ineficiência pode acarretar em produtos sensorialmente indesejáveis e na falta de segurança alimentar.

As propriedades termofísicas de alimentos, entre elas a condutividade térmica, difusividade térmica e densidade, são parâmetros relevantes na otimização de projetos e operações que envolvem processos térmicos como pasteurização, esterilização, cocção, e sistemas de refrigeração e congelamento (Karunakar *et al.*, 1998). De acordo com Unklesbay *et al.* (1999), estas propriedades térmicas, além de serem essenciais na modelagem e avaliação de operações de processamento de alimentos que envolvem transferência de calor, são especialmente importantes quando os custos de energia, qualidade e segurança alimentar são considerados. Como exemplo, a temperatura do centro geométrico de salsichas deve estar acima de 72 °C no final do aquecimento e abaixo de 15 °C no término do resfriamento para que se consiga um produto microbiologicamente seguro (Akterian, 1997). Consequentemente há a necessidade de se avaliar as características de troca térmica do produto, conseguidas pelo conhecimento das propriedades termofísicas.

Marcotte *et al.* (2008) avaliaram a condutividade térmica, calor específico, difusividade térmica e densidade de emulsões a partir de carne de aves domésticas processadas (mortadela bolonhesa, linguiça italiana, peru, presunto e salsicha defumada). Como resultados, encontraram que a condutividade térmica aumentou linearmente com o aumento da temperatura entre 20 e 60 °C, permanecendo constante entre 60 e 80 °C para a maioria dos produtos, exceto para a mortadela bolonhesa. A densidade teve uma pequena queda em função da temperatura entre 20 e 40 °C, seguida de um aumento até 60 °C, voltando a apresentar um decréscimo até a temperatura final de 80 °C. Tanto a densidade quanto o calor específico foram fortemente influenciados pelo teor de carboidratos, enquanto a condutividade e a difusividade térmicas foram afetadas pelo conteúdo de sal.

A carne bovina magra, gordura e suas misturas em proporções de 1:1 foram investigadas por Faraget *et al.* (2008) na determinação das propriedades térmicas em função da temperatura num alcance de -18 e 10 °C. Considerando a natureza das três matérias-primas, os valores da condutividade térmica, calor específico e difusividade térmica foram inferiores conforme os teores de gordura eram aumentados, avaliados numa mesma faixa de temperatura.

Embora alguns modelos matemáticos da literatura possam ser usados para a obtenção dos parâmetros termofísicos em função da composição de sistemas alimentícios e temperatura (Karunakaret *et al.*, 1998; Gonzo, 2002; Wang *et al.*, 2006; Carson, 2006), há um consenso que estes modelos não podem ser empregados indiscriminadamente devido aos desvios causados pela complexidade das matérias alimentícias (Marcotte *et al.*, 2008).

Os valores das propriedades termofísicas da carne de frango, podem ser conseguidas através de correlações empíricas, no entanto, há umacarência de informações experimentais considerando a carne de frangonacional e dados mais atuais, o que contribui com a relevância destainvestigação. Como justificativa adicional está a expansão do setor industrial avícola do estado do Paraná e sua contribuição econômica e socialà região.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A carne de frango vem ganhando a cada ano maior representatividade nas exportações brasileiras. Prova disso foi que em 2008 o produto subiu duas posições dos dez principais produtos exportados pelo Brasil, indo da sexta para a quarta colocação, respondendo por quase 3% da receita cambial total do país. Dentro da cadeia do agronegócio brasileiro, o frango só perde para as exportações de soja em grão. Neste mesmo ano, o Paraná teve o seu melhor desempenho na história, fechando o ano com recorde de exportação e produção, consolidando o estado como o maior produtor e exportador de frango de corte do Brasil (Sindiavipar, 2009).

Os resultados positivos alcançados pela avicultura paranaense superaram o ritmo geral do crescimento do agronegócio brasileiro. Segundo estudo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a agroindústria brasileira cresceu 4,2% no primeiro semestre de 2008. No entanto, o estudo mostra que no setor de carnes, apenas a avicultura apresentou fase de expansão, enquanto que a produção de derivados de carne bovina e suína teve queda de 3,7% no mesmo período, enquanto o seguimento de aves apresentou alta de 3,27%. Dentre os fatores apontados para o crescente desenvolvimento da avicultura do estado estão a localização geográfica, o modelo de integração adotado pela atividade e o próprio perfil do agronegócio paranaense. O modelo de integração consiste no acompanhamento técnico da indústria junto aos produtores, fornecendo insumos e acompanhamento veterinário durante o período de criação, enquanto que a intensa produção dos principais insumos da avicultura pelo Paraná, que são o milho e a soja, fortalece o agronegócio diferenciado do estado (Sindiavipar, 2008a).

Estima-se que neste ano de 2009, a capacidade de produção de carne de frango no Brasil supere em 15% a produção de 2008 e 25% em relação a 2007, desempenho capaz de ofertar, em média, próximo de 1,1 milhões de toneladas mensais de carne de frango. Com este cenário, há uma previsão de que 12% da produção de frango de corte brasileiro mensalmente excedentes, segundo Sindiavipar (2008b).

Neste contexto, há a necessidade de se buscar soluções para conter prejuízos e desperdícios da produção excedente, sendo que o processamento industrial de produtos tradicionais a base da carne de frango e o lançamento de

novos produtos com grande potencial de consumo são uma alternativa, agregando desta forma, um maior valor ao alimento.

2.1. CARNE DE FRANGO E SEUS DERIVADOS

A carne de frango, além de saborosa, apresenta outros atrativos como o alto valor nutricional e seu preço acessível. De acordo com USDA(2009), além de minerais como Ca, Fe, Mg, P, K, Zn, Mn e Se, a carne é rica em vitaminas, em especial do complexo B e apresenta os nove aminoácidos essenciais ao organismo (histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptofano e valina). O baixo teor de gordura do peito de frango é outra característica que atrai os consumidores que buscam uma dieta mais saudável.

Diversos fatores influenciam na composição química da carne, que por sua vez também podem afetar os resultados de outras propriedades como as termofísicas. Roça (2009) relaciona a espécie, raça, sexo, idade, nutrição e localização anatômica.

De acordo com Sarcinelli *et al.* (2007a), existem diversos tipos de frangos e os mais comuns são: o frango de leite ou galetto que é uma ave de até 3 meses, com aproximadamente 600 g, de carne macia, com pouca gordura e sabor suave; frango comum com idade entre 3 a 7 meses chega a pesar mais de 1 kg, com sabor um pouco mais acentuado e um maior teor de gordura e; o frango capão, assim denominado por ser castrado para promover sua engorda.

Em relação às raças de galinhas domésticas (*Gallus gallus domesticus*), existe mundialmente mais de 300 espécies. As matrizes para produção de frangos de corte são representadas por duas raças distintas: um masculino da raça Cornish de origem inglesa e outro feminino da família Plymouth Rock Branca (Sarcinelli *et al.*, 2007b).

Segundo Roque-Specht (1996), dentre os produtos industrializados, derivados da carne de frango, destacam-se:

- Os *empanados* que são elaborados de partes da ave ou porções reestruturadas que entram em uma esteira de um processo contínuo, passando por uma máquina glazeadora que forma um filme (batter) sobre o produto, seguindo para a aplicação de farinha de rosca. Este alimento geralmente é pré-frito para realizar o cozimento parcial ou completo do produto. As temperaturas

de fritura recomendadas variam entre 175 a 185°C e os tempos entre 1 minuto a 7 minutos, dependendo do tamanho da porção de carne.

- *Produtos em molho* classificados como partes de frango picadas, pré-cozidas e adicionados a molhos. Cortes lesionados que estão fora dos padrões dimensionais da empresa podem ser aproveitados, como também, produtos obtidos de desossa a quente dos ossos com resíduos de carne aderida, porém, com a granulometria um pouco maior do que a recomendada para produtos reestruturados.

- *Patês ou pastas de galinha* que consistem em formulações a base de carne e um tipo de gordura selecionada, seguido das especiarias e condimentos que complementam seu sabor. A principal transformação para a obtenção deste produto é a subdivisão dos pedaços de carne em pequenas partículas com consequente aumento da área superficial, sendo que o uso de CMS (carne mecanicamente separada) facilita esta etapa. A subdivisão proporciona melhor homogeneização do produto e maior exposição das proteínas, cuja estabilidade pode ter pouca importância em produtos de carne em cubos, mas é de extrema importância em produtos emulsificados.

- *Embutidos fermentados* feitos a base de pedaços de carne que sofrem uma fermentação por microrganismos, podendo subsequentemente serem cozidos e defumados. Estes produtos são caracterizados pelo seu sabor pungente e, em muitos casos, pela firmeza da textura. As bactérias mais utilizadas para a fermentação de embutidos são as bactérias lácticas. Os embutidos fermentados podem ser genericamente classificados como semi-secos ou secos. Os embutidos semi-secos, entre os quais se inserem os fermentados cozidos, diferem dos secos geralmente por possuírem sabor mais pungente e textura mais macia. Os embutidos semi-secos são freqüentemente cozidos e defumados até atingirem temperatura interna de 60°C a 68°C, enquanto os embutidos secos não recebem tratamento térmico com temperaturas acima de 32°C em nenhum estágio de sua produção.

- *Produtos reestruturados* que são preparados a partir de emulsões provenientes da mistura de ingredientes hidrossolúveis e lipossolúveis num "cutter", de preferência, a vácuo e baixa temperatura. A mistura resultante, devido à extração das proteínas solúveis, torna-se viscosa e os pedaços de carne tornam-se aderentes. A massa cárnea é então enchida, ou formada, preferencialmente sob vácuo para prevenir bolsões de ar dentro do produto. Este tipo de produto pode ser servido a frio, em fatias. Existem,

hoje, diversos tipos de produtos reestruturados que diferenciam na sua forma, principalmente, em seu sabor.

2.2. PROPRIIDADES TERMOFÍSICAS

Durante os diversos processamentos térmicos de alimentos, que envolvem o aquecimento ou o resfriamento do produto, há uma demanda de energia para que se consiga o aumento ou o abaixamento de sua temperatura. Pela conservação de energia, assumindo as seguintes hipóteses:

- 1 - fluxo de calor unidirecional
- 2 - regime transiente
- 3 - sem geração interna de calor
- 4 - condutividade térmica constante

As equações (1a), (1b) e (1c) são obtidas para geometrias em coordenadas cartesianas, cilíndricas e esféricas, respectivamente.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1a)$$

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

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

Onde T é a temperatura, t o tempo, R a coordenada espacial cartesiana, r a coordenada radial, e α a difusividade térmica.

A difusividade térmica pode ser estimada através das propriedades primárias que são a condutividade térmica (K), o calor específico (C_p) e a densidade (ρ) conforme a equação (2).

$$\alpha = \frac{K}{C_p \rho} \quad (2)$$

De acordo com Zach (2006), a taxa de transferência de calor não depende somente do processo ou do equipamento que está sendo empregado, mas também das propriedades termofísicas do produto. Em substâncias heterogêneas, como é o caso de alimentos, mais especificamente produtos cárneos, os teores de umidade e

de gordura e a orientação das fibras são os principais fatores que influenciam nos valores destas propriedades (Sahin e Summu, 2006).

2.2.1. Condutividade Térmica

A condutividade térmica é uma propriedade que representa a habilidade de um material conduzir calor (Sahin e Summu, 2006). Segundo Kong *et al.* (1994), no caso de alimentos, esta propriedade depende da condutividade térmica intrínseca de cada componente individual e da distribuição espacial em seu interior. Em termos de composição da amostra, a condutividade poderia ser assim obtida de acordo com a equação (3) (Singh e Heldman, 2008).

$$k = \sum_i^n x_i k_i \quad (3)$$

Onde x_i é a fração em peso de cada componente, k_i a condutividade térmica correspondente e n é o número de componentes.

Sweat (1985) desenvolveu a equação (4) para prever os valores de k utilizando-se de um grande conjunto de dados para alimentos sólidos a 25°C.

$$k = 0,58X_w + 0,155X_p + 0,25X_c + 0,16X_f + 0,135X_a \quad (4)$$

Onde x é a fração em peso de cada componente e os subscritos w , p , c , f e a referem-se, respectivamente, a água, proteína, carboidrato, lipídeos e cinzas.

A limitação do uso da equação (4) é que ela é válida para uma faixa estreita de temperatura por não a incluir em um termo específico. Além da composição, a orientação das fibras do alimento é outro fator a ser considerado. A orientação do fluxo de calor, paralela ou transversal, influencia na condução de calor e, neste caso, deve-se considerar que a água é uma fase contínua e os demais componentes sólidos sejam outra fase dispersa. Este fenômeno pode ser matematicamente representado pelas equações (5) e (6), para o modelo paralelo e perpendicular, respectivamente (Sweat, 1985).

$$k = V_s k_s + V_w k_w \quad (5)$$

$$k = [V_s k_s + V_w k_w]^{-1} \quad (6)$$

Onde V_w e V_s são frações volumétricas da água e da fase sólida, enquanto k_w e k_s suas respectivas condutividades térmicas.

Mohsenin (1980) afirma que a temperatura da amostra só tem grande influência sobre a condutividade térmica quando o processo ocorre a temperaturas inferiores ao ponto de congelamento da água e que acima, fatores como a estrutura celular, densidade da amostra e umidade são mais significativos.

Os métodos experimentais para a determinação de k podem ser divididos de acordo com a geometria da aparelhagem e a forma de operação do mesmo, se em regime estacionário ou transiente (Sahin e Sammu, 2006).

Para alimentos, é muito empregado o método da sonda linear em regime transiente, que consiste de um tubo capilar, de boa condutividade térmica com um elemento de aquecimento e um termopar posicionados no interior do tubo e isolados eletricamente entre si (Sahin e Sammu, 2006).

Através de uma corrente elétrica gerada por uma diferença de potencial elétrico, o fio metálico (elemento de aquecimento) é aquecido e o aumento de temperatura deste, que será função das propriedades térmicas do meio, é registrado pelos termopares alocados no meio geométrico do fio de aquecimento. O equacionamento para este sistema pode ser resolvido a partir da equação (1b) com a condição inicial (CI) e condições de contorno (CC) a seguir:

$$CI: t=0 \rightarrow \frac{\partial T}{\partial t} = 0$$

$$CC1: r=0 (t > 0) \rightarrow -2\pi K \frac{\partial T}{\partial r} = Q = cte$$

$$CC2: r \rightarrow \infty (t \neq 0) \rightarrow \frac{\partial T}{\partial r} = 0$$

Onde Q é a taxa de calor por metro linear da sonda térmica.

A solução pode ser dada pela equação (7).

$$T = \frac{Q}{4\pi K} \left[-Ei \left(-\frac{r^2}{4\alpha t} \right) \right] \quad (7)$$

$$\text{Sendo } -Ei(-u) = \int_u^\infty \frac{1}{u} e^{-u} du = -C - \ln(u) + \frac{u}{1 \times 1!} + \frac{u^2}{2 \times 2!} + \dots$$

E com $C=0,577216\dots$ (constante de Euler)

Quando o termo $\left(-\frac{r^2}{4\alpha t}\right)$ é pequena, a função de $-Ei(-u)$ pode ser escrito simplesmente pelos termos $(-C-\ln(u))$ Neste caso, a temperatura da superfície do fio aquecido pode ser representada pela equação (8)

$$T = \frac{Q}{4\pi K} \left[\ln \frac{4\alpha t}{r_0^2} - C \right] \quad (8)$$

Onde r_0 é a posição radial dissipada do fio aquecido.

Tomando-se as temperaturas em dois tempos distintos, a equação(8) pode ser reescrita conforme equação (9) (Sahin e Summu, 2006):

$$T_2 - T_1 = \frac{Q}{4\pi K} \ln \left(\frac{t_2}{t_1} \right) \quad (9)$$

Diversos trabalhos empregam o método da sonda linear na obtenção de k para alimentos diversificados, entre eles, pode-se destacar Marcotte *et al.* (2008) para emulsões de diversos produtos cárneos, Oliveira *et al.*(2005), em presunto cozido.

2.2.2. Difusividade Térmica

Para os processos em regime transiente como pasteurização,esterilização e cocção, a difusividade térmica é uma propriedade fundamental, e fisicamente, corresponde à habilidade do material em conduzir ou estocar calor.

Assim como a condutividade térmica, a difusividade é influenciada pela temperatura e composição do alimento. Singh (1982) relata que em muitos processos, o conteúdo de água e temperatura do produto podem mudar consideravelmente, o que leva a variação do valor da difusividade térmica no decorrer do processamento.

As técnicas experimentais para a determinação da difusividade térmica são todas em regime transiente, sendo as principais técnicas, o da sonda linear e o método de Dickerson (1965).

O método de Dickerson consiste de um cilindro metálico bom condutor de calor, no qual a amostra é inserida em seu interior. No centro geométrico deste

cilindro, que contém o produto, é fixado um termopar, e um segundo é alocado em sua superfície externa. Com as extremidades vedadas com um material isolante, esta célula (cilindro) é imersa em um banho termostatizado ajustado para proporcionar uma elevação contínua e constante da temperatura de sua superfície.

O equacionamento para este sistema pode ser resolvido a partir da equação (1b) considerando a taxa de elevação de temperatura (dT/dt) constante com as seguintes condições de contorno:

$$\text{CC1: para } r=R \rightarrow T=At=T_R \quad \text{onde } A=dT/dt$$

$$\text{CC2: para } r=0 \rightarrow dT/dt=0$$

Desta forma obtemos a equação (10):

$$(T_R - T_C) = \frac{A}{4\alpha} R^2 \quad (10)$$

Onde R é o raio do cilindro com temperatura correspondente a T_R , e T_C a temperatura do centro do cilindro.

A solução completa da equação (1b) com as condições de contorno acima, em conjunto com a condição inicial de uniformidade térmica da amostra, é representada pela equação (11) (Carslaw e Jaeger, 1959).

$$(T_R - T_C) = \frac{AR^2}{4\alpha} \left(1 - \frac{8}{R^3} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{\exp(-\alpha \lambda_n^2 t)}{J_1(R\lambda_n) \lambda_n^3} \right) \quad (11)$$

Onde J_1 é a função de Bessel de ordem um e $R\lambda_n$ suas raízes.

De acordo com Oliveira *et al.* (2005), a equação (11) é necessária quando o período de elevação de temperatura é não linear e longo. Na investigação da difusividade térmica de presunto e seus constituintes, estes autores encontraram o valor da difusividade térmica para a gordura lombarda carne de porco empregando esta equação.

Dos trabalhos recentes que investigam a difusividade térmica de alimentos, pode-se citar Kumcuoglu e Tavman (2009) que mediram a difusividade térmica de diversos produtos cárneos, Abbas (2008) para peixes, Farinu e Baik (2007) para batata doce, Mariani *et al.* (2008) para banana.

3. METODOLOGIA

3.1. AMOSTRAS E PREPARAÇÃO

As propriedades termofísicas foram avaliadas em três frações distintas e separadas da carne de frango:

- coxa e sobrecoxa;
- peito;
- pele e gordura.

As coxas e peito de frango, com pele e resfriados, foram adquiridos da empresa Big Frango, situada no município de Rolândia, Paraná. Após a separação da pele e do excesso de gordura, as carnes foram estocadas em freezer doméstico para as análises posteriores.

Para cada ensaio experimental, as carnes foram descongeladas em refrigerador por 48 h, desossadas, e em seguida eram moídas (Fig. 1 a) em um moedor de carne. Uma parcela foi reservada para os testes da amostra *in natura*, enquanto outra parte foi disposta sobre bandejas (Fig. 1 b) e levadas à estufa de circulação forçada a 60 °C para promover a redução da umidade da amostra. Em tempos pré-programados, parte das amostras dispostas na estufa eram retiradas, totalizando cinco umidades distintas.



(a)



(b)

Figura 1: (a) Amostras de carne de frango no moedor; (b) carne de frango moída dispostas em bandejas.

3.2. CONDUTIVIDADE TÉRMICA (K)

Para a determinação da condutividade térmica foi realizada a metodologia da sonda linear em regime transiente, confeccionada com resistência elétrica níquel-cromo e termopar isolados eletricamente entre si em seu interior, ilustrado pela figura 2 que esquematiza o sistema de sonda utilizado. O aparato de cilindro de alumínio ($L=27,5$ cm, $D=5,30$ cm) utilizado nos experimentos foi previamente calibrado com água imobilizada empregando carragena 1% (p/p), conforme metodologia de Oliveira *et al.* (2005).

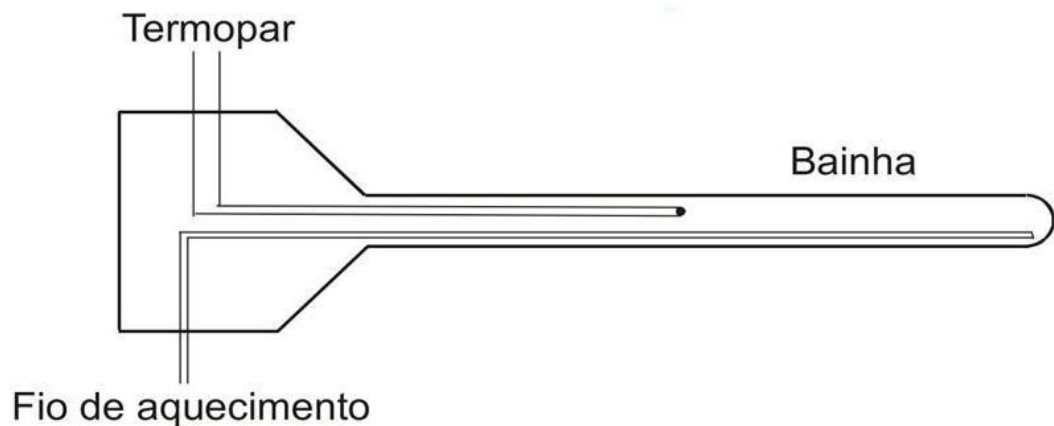


Figura 2: Esquema ilustrativo da sonda linear.

As amostras, com distintos teores de umidade para cada ensaio, foram introduzidas no cilindro de alumínio e compactadas para remoção de bolsos de ar. Em seguida, a sonda foi inserida em seu centro geométrico, e o conjunto (cilindro-amostra-sonda) foi devidamente vedado para mergulhá-lo em um banho ultratermostatizado (Marca Marconi, Modelo MA-184) com água. Após a amostra entrar em equilíbrio com as temperaturas pré-programadas ($5 - 80$ °C) do banho, uma corrente elétrica (1 A) foi gerada com auxílio de uma fonte de tensão controlada de 10 V e lida por um amperímetro, enquanto a temperatura era registrada a cada segundo por um registrador de dados Field Logger (Marca Novus).

O equacionamento para este sistema foi baseado na equação (9):

$$T_2 - T_1 = \frac{\dot{Q}}{4\pi K} \ln\left(\frac{t_2}{t_1}\right) \quad (9)$$

Onde a taxa de transferência de calor por metro linear da sondatérmica \dot{Q} pôde ser calculada pela equação (12):

$$\dot{Q} = \frac{U \cdot i}{L} \quad (12)$$

Sendo U a tensão (V), i a corrente elétrica (A) e L o comprimento (cm) do fio de resistência elétrica.

Com o valor de \dot{Q} calculado e a partir dos pontos experimentais de temperatura (T) e tempo (t), avaliados na faixa linear compreendida entre os pontos inicial (subscrito 1) e final (subscrito 2), foi possível obter os valores de K pelo coeficiente angular da Eq. (9), obtido por uma regressão linear.

3.3. DIFUSIVIDADE TÉRMICA (α)

A difusividade térmica foi avaliada pelo método de Dickerson (1965) empregando um cilindro de bronze com as dimensões $R=15$ mm e $L = 220$ mm demonstrado pela figura 3, previamente calibrado com água imobilizada empregando carragena 1% (p/p) (Oliveira *et al.*, 2005). O cilindro foi preenchido com as amostras e termopares tipo K foram alocados em seu centro geométrico e na parede para em seguida, ser submerso em banho ultratermostatizado (Marca Marconi, Modelo MA-184). A elevação de temperatura do banho foi programada na faixa de 5 a 90 °C, a uma taxa de 2 °C/min, e registrada a cada segundo por um registrador de dados Field Logger (Marca Novus).



Figura 3: sonda de difusividade térmica.

O equacionamento foi baseado na equação (10):

$$(T_R - T_C) = \frac{A}{4\alpha} R^2 \quad (10)$$

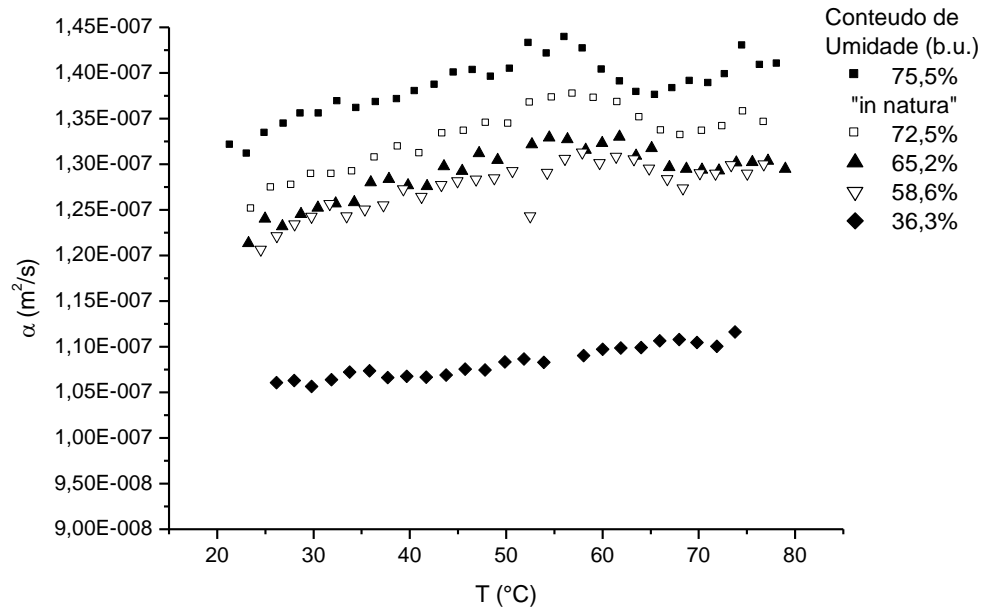
onde R é o raio do cilindro com temperatura correspondente a T_R , T_C a temperatura do centro do cilindro, A a taxa de elevação de temperatura ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$) e α a difusividade térmica.

Com os valores de A, da diferença de temperaturas da parede e do centro do cilindro ($T_R - T_C$) avaliados na faixa linear e do raio do cilindro (R) foi possível obter os valores da difusividade térmica (α) a partir da equação (10) em função da temperatura média $[(T_R + T_C)/2]$.

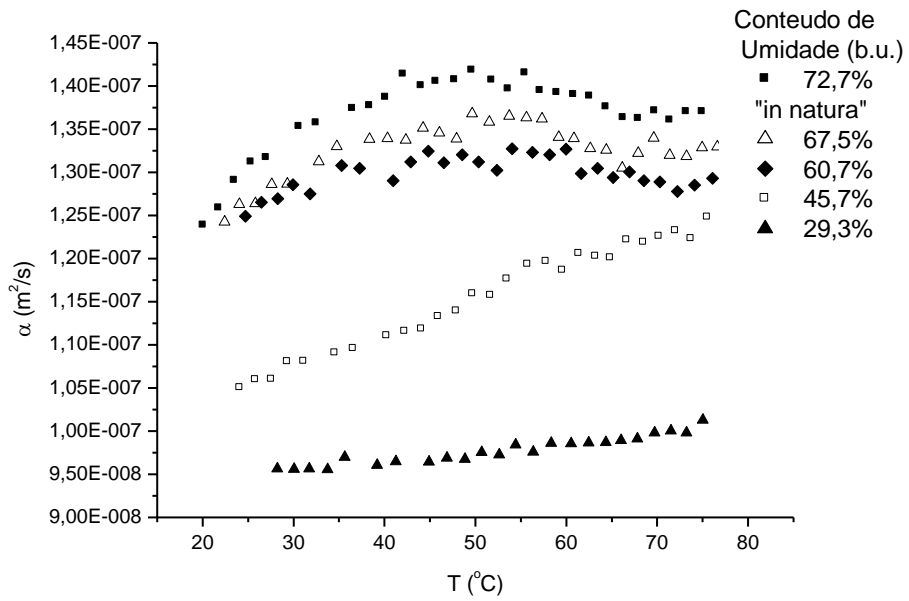
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. DIFUSIVIDADE TÉRMICA

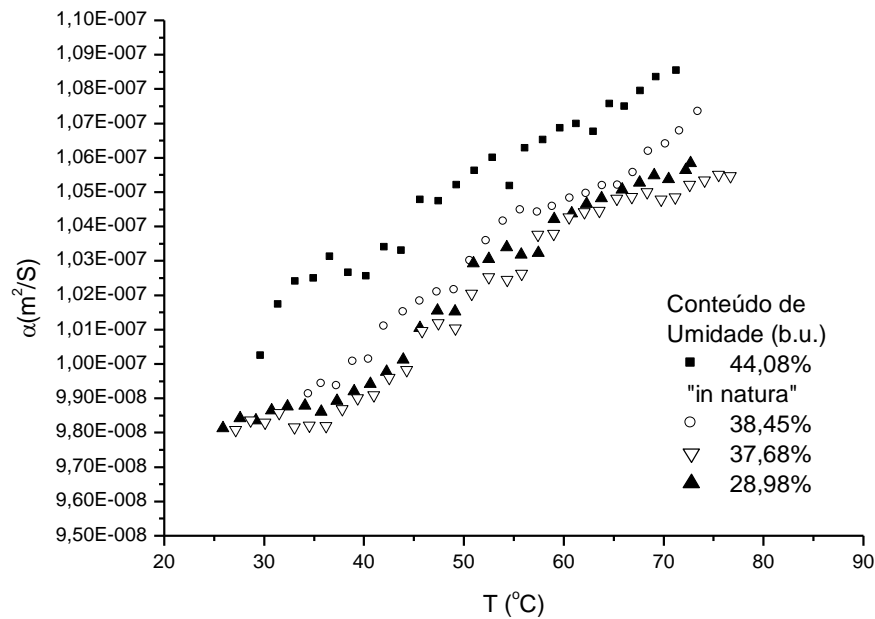
Os valores da difusividade térmica foram investigados em função do conteúdo de umidade e da temperatura da amostra. A Figura 4 apresenta este resultado para a carne da coxa/sobrecoxa (a), peito (b) e pele/gordura (c).



(a)



(b)



(c)

Figura 4: Difusividade térmica da carne de frango em função da temperatura e do conteúdo de umidade: (a) coxa/sobrecoxa; (b) peito; (c) pele/gordura.

Comparando os valores das difusividades térmicas das matérias-primas *in natura*, os resultados para a pele/gordura foram bem inferiores à carne da coxa/sobrecoxa e do peito de frango, evidenciando o menor potencial em transferir ou estocar calor do constituinte pele/gordura de frango.

O alcance obtido por esta propriedade avaliada em toda faixa de temperaturas e umidades consideradas, para as três matérias-primas, ficaram entre $0,95 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ em seu valor extremo inferior e $1,45 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ em seu limite superior.

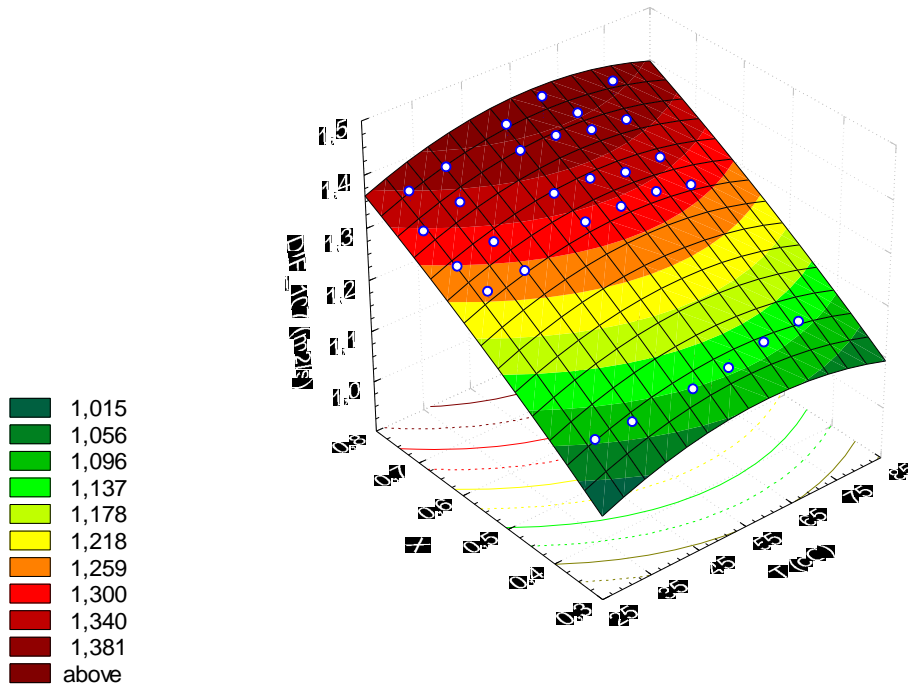
Para a carne do peito e coxa/sobrecoxa frescas (Figs. 4a e 4b), esta última apresentou valores da difusividade térmica ligeiramente superiores, podendo ser justificado pelo conteúdo de umidade um pouco superior à carne do peito. Ainda sobre estas mesmas amostras, é interessante observar que nas temperaturas iniciais da medida da difusividade térmica, a carne da coxa assume um valor próximo de $1,30 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, enquanto a carne do peito está em torno de $1,25 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$. Cengel (2006) reportou a difusividade térmica da carne de peito de frango, a $0 \text{ }^\circ\text{C}$, num valor

de $1,30 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ e nos experimentos de Huang e Liu (2009) o valor encontrado foi $1,524 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, porém estes autores não informam a temperatura do produto.

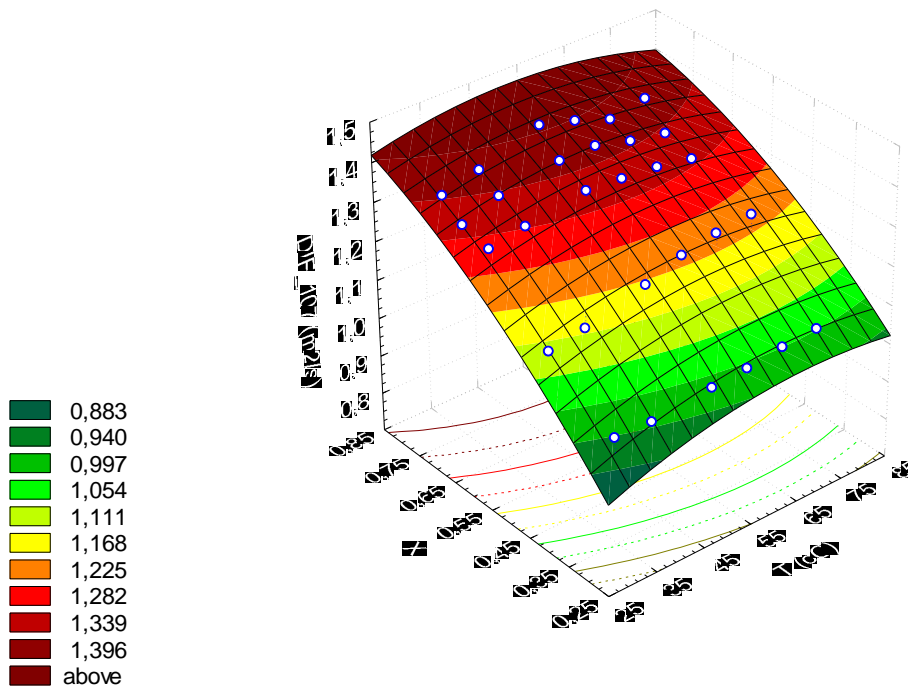
O efeito da umidade para carne da coxa/sobrecoxa e peito de frango é bem nítido, observado por uma acentuada queda dos valores da difusividade térmica conforme ocorre a redução do conteúdo de umidade das amostras. Entretanto, para a amostra constituída por pele/gordura, apesar de observar uma redução de seus valores da condição *in natura* para aquelas mais secas, não é bem claro este comportamento nas amostras com conteúdos de umidade mais reduzidos, estando as curvas experimentais muito próximas nestas condições, chegando a se cruzarem.

Em conteúdos de umidade altos, tanto para a carne da coxa/sobrecoxa e do peito, observa-se um aumento no valor da difusividade térmica com a elevação da temperatura até em torno de $55 \text{ }^\circ\text{C}$, sendo que, a partir desta temperatura, ocorre uma redução desta grandeza. Entretanto, este efeito não é observado em amostras com conteúdo de umidade reduzido, onde ocorre um aumento da difusividade térmica em toda faixa de temperatura avaliada. Esta queda nos valores da difusividade térmica das amostras com umidades altas, talvez poderia ser explicada pela exsudação da água contida no interior do alimento para suas extremidades, a qual arrasta a gordura já fundida pelo calor, formando desta forma, uma camada isolante à transferência de calor, pois foi observado nestas condições, que ao final do experimento, a quantidade de líquido contido no cilindro é expressiva. Este fato parece realmente ser verdadeiro quando se comparam as curvas de ambas as matérias-primas, onde nota-se pela Figura (4a) – carne da coxa – uma queda bem mais acentuada em relação à carne do peito (Figura 4b). O teor de gordura da coxa/sobrecoxa de frango chega a ser o dobro comparado à carne do peito, confirmando desta forma a maior resistência à transferência de calor nos ensaios empregando a carne da coxa. Nestas faixas, em que ocorre a diminuição dos valores da difusividade térmica com o aumento da temperatura, não podem ser bem aceitas e nem aplicadas uma vez que a literatura aponta resultados inversos, colocando, desta forma, a validade deste método em questionamento para estas condições.

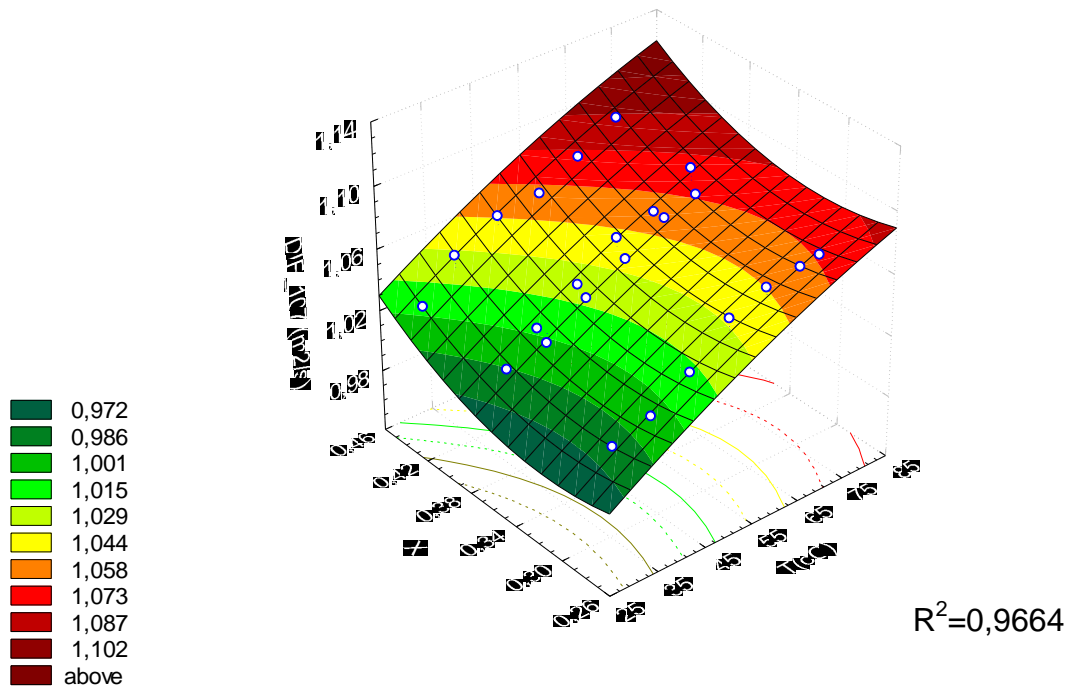
Superfícies de respostas considerando os resultados da difusividade térmica em função da temperatura e do teor de umidade são apresentadas na Figura 5 para a carne da coxa/sobrecoxa de frango (5a), carne do peito (5b) e pele/gordura (5c).



(a)



(b)



(c)

Figura 5: Superfícies de resposta para a difusividade térmica da carne de frango em função da temperatura e do conteúdo de umidade: (a)coxa/sobrecoxa; (b) peito; (c) pele/gordura.

Os resultados da análise de variância (ANOVA) para a carne da coxa/sobrecoxa de frango, considerando os efeitos significativos lineares, quadráticos e interação linear entre os fatores– temperatura e conteúdo de umidade – sobre a difusividade térmica são apresentados na Tabela 2. Observa-se que ambos os efeitos lineares da temperatura e do conteúdo de umidade, além do quadrático da temperatura foram significativos ($p < 0,05$).

Tabela 2: Nível de significância (p) dos efeitos – lineares, quadráticos e interação linear – das variáveis independentes sobre a difusividade térmica da carne da coxa/sobrecoxa de frango.

Efeitos		P
Temperatura (T)	Linear	0,000355
	Quadrático	0,006406
Umidade (X)	Linear	0,000000
	Quadrático	0,362896
Interação T.X		0,913684

O modelo matemático que descreve os valores da difusividade térmica da coxa/sobrecoxa da carne de frango em função da temperatura e do conteúdo de umidade, considerando somente os efeitos significativos ($p < 0,05$), é apresentado pela Equação 13, conforme obtido pelo tratamento estatístico dos resultados experimentais, onde T está em °C, X em fração de umidade e α em m^2/s .

$$\alpha \cdot 10^7 = 5,97 \cdot 10^{-1} + 8,6 \cdot 10^{-3} T - 7,15 \cdot 10^{-5} T^2 + 7,22 \cdot 10^{-1} X \quad (13)$$

Para a carne do peito de frango, os resultados ANOVA para a difusividade térmica considerando a temperatura e conteúdo de umidade como variáveis independentes, podem ser conferidos na Tabela 3. Apenas o efeito interativo dos fatores lineares de ambas variáveis – temperatura e umidade – foi significativo ($p < 0,05$). Desta forma, considerando somente o fator de interação linear como não representativo no comportamento da difusividade térmica da carne do peito de frango, a Equação (14) traz os valores dos coeficientes que representam este perfil, onde T está em °C, X em fração de umidade e α em m^2/s .

$$\alpha \cdot 10^7 = 2,17 \cdot 10^{-1} + 1,03 \cdot 10^{-2} T - 7,02 \cdot 10^{-5} T^2 + 1,85 X - 7,32 \cdot 10^{-1} X^2 \quad (14)$$

Tabela 3: Nível de significância (p) dos efeitos – lineares, quadráticos e interação linear – das variáveis independentes sobre a difusividade térmica da carne do peito de frango.

Efeitos		P
Temperatura (T)	Linear	0,001302
	Quadrático	0,009799
Umidade (X)	Linear	0,000000
	Quadrático	0,005599
Interação T.X		0,076923

A Tabela 4 ilustra o nível de significância dos fatores avaliados para a difusividade térmica da pele/gordura de frango. Apenas os efeitos quadrático da umidade e a interação linear deste fator com o linear da temperatura não foram significativos ($p < 0,05$). Considerando apenas os efeitos significativos, o comportamento matemático desta propriedade em função do conteúdo de umidade e da temperatura pode ser descrito de acordo com a Equação (15), onde T está em °C, X em fração de umidade e α em m^2/s .

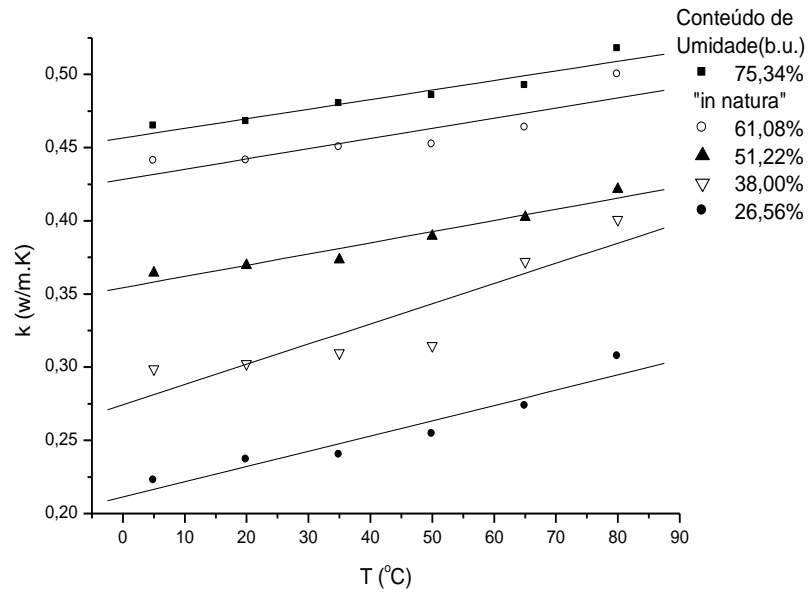
$$\alpha \cdot 10^7 = 1,12 + 3,1 \cdot 10^{-3} \cdot T - 1,5 \cdot X + 2,4 \cdot X^2 \quad (15)$$

Tabela 4: Nível de significância (p) dos efeitos – lineares, quadráticos e interação linear – das variáveis independentes sobre a difusividade térmica da pele/gordura de frango.

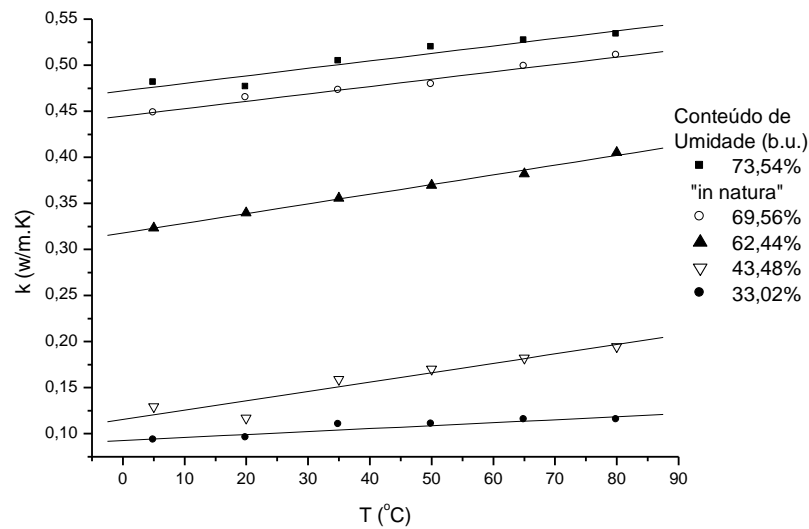
Efeitos		P
Temperatura (T)	Linear	0,000000
	Quadrático	0,196777
Umidade (X)	Linear	0,000000
	Quadrático	0,000073
Interação T.X		0,725534

4.2. CONDUTIVIDADE TÉRMICA

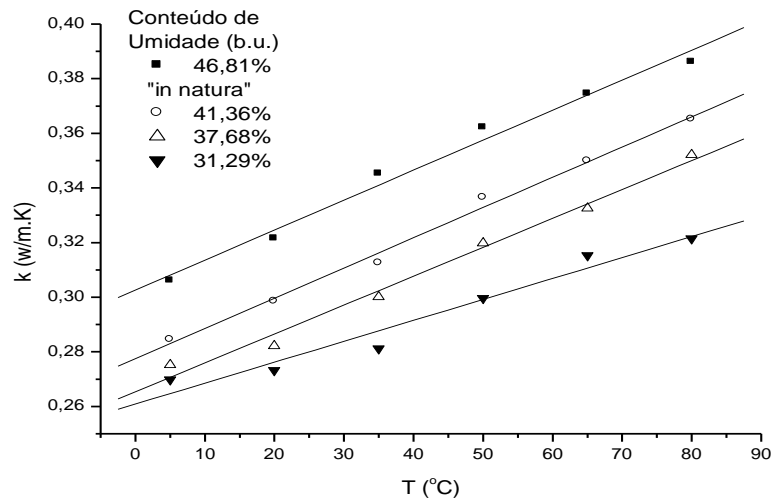
Os valores da condutividade térmica foram investigados em função do conteúdo de umidade e da temperatura da amostra. A Figura 6 apresenta este resultado para a carne da coxa/sobrecoxa (a), peito (b) e pele/gordura (c).



(a)



(b)



(c)

Figura 6: Condutividade térmica em função do conteúdo de umidade e temperatura da carne de frango: (a) coxa/sobrecoxa; (b) peito; (c) pele/gordura.

De um modo geral, a faixa de valores da condutividade térmica situaram-se entre 0,10 e 0,50 W/m.K, sendo este o menor valor encontrado para a carne do peito de frango na umidade e temperatura mais baixas avaliadas, enquanto que o maior valor pôde ser observado muito próximo sem ambas as matérias primas – peito e coxa/sobrecoxa – em temperatura e conteúdo de umidade mais altos. Para os resultados da pele/gordura, seus valores foram intermediários a estes extremos.

Há uma clara tendência da condutividade aumentar com a elevação da temperatura e com o aumento do conteúdo de umidade (x). Optou-se por um ajuste linear em todas as condições, apesar de perceber que para a carne da coxa/sobrecoxa os pontos experimentais desviaram um pouco da linearidade, em especial nas amostras com teores de umidades menores. O valor mais baixo do coeficiente de correlação (R) foi superior a 0,90 na condição menos favorável à regressão linear.

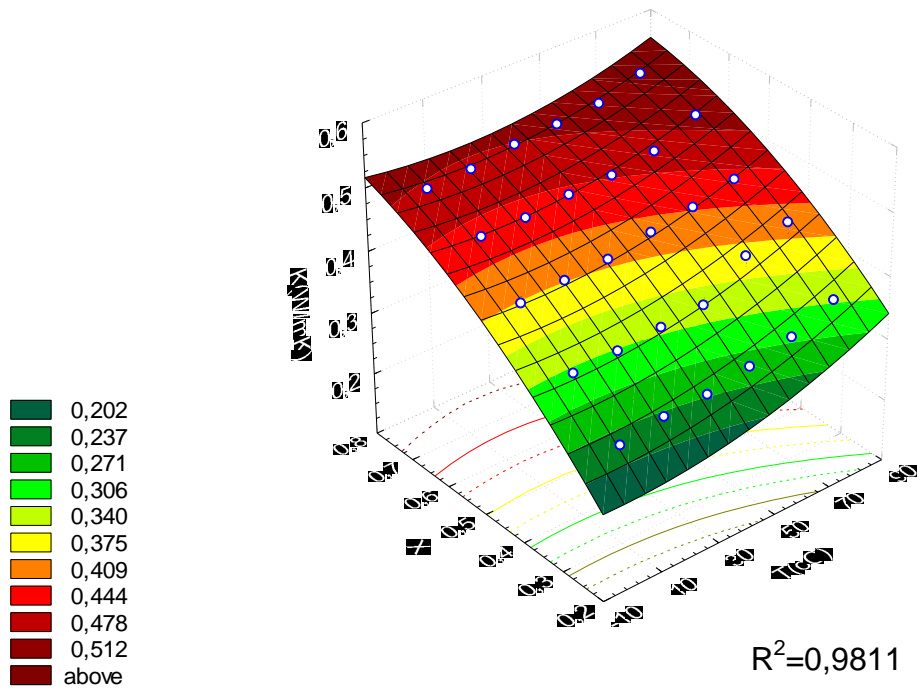
Comparando as carnes *in natura* do peito e da coxa/sobrecoxa de frango, os valores de k parecem muito próximos, porém, avaliando os coeficientes angulares, observa-se que para a carne do peito seu valor é maior, um indicativo de que este material tenha um maior potencial em ter o valor de sua condutividade térmica aumentada com a elevação da temperatura. Este fato talvez possa ser explicado pelos valores da condutividade térmica da pele/gordura *in natura* que ficou abaixo de

0,31 W/m.K na menor temperatura e não superior a 0,39 W/m.K na maior temperatura avaliada. Devido ao maior conteúdo de gordura presente na carne da coxa de frango comparado à carne do peito, é possível que este constituinte contribua para o abaixamento do valor da condutividade térmica.

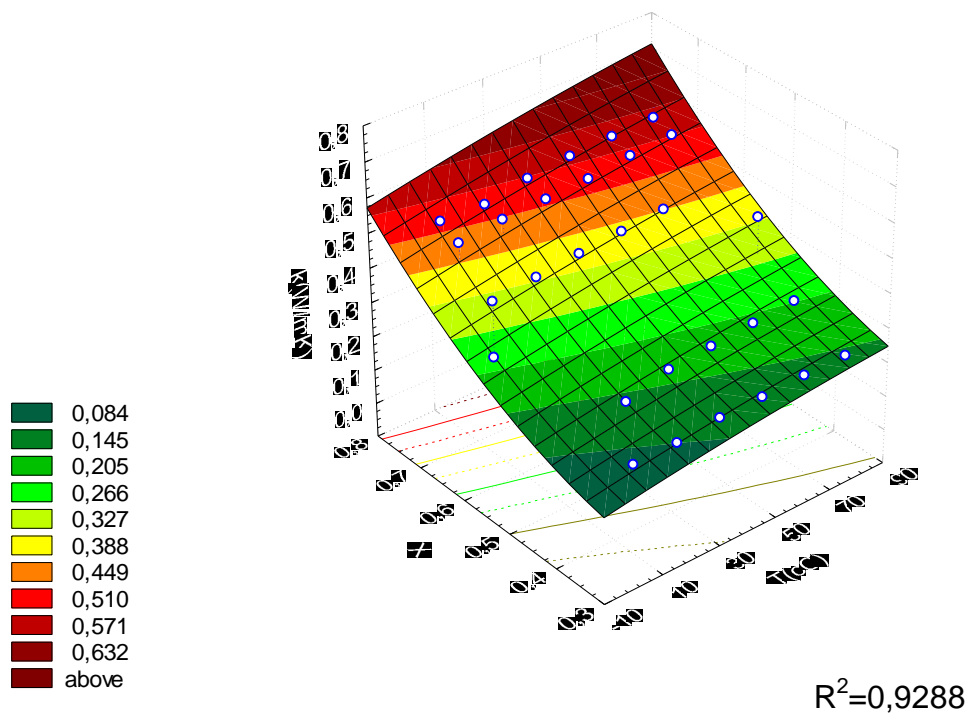
É interessante notar, que para os valores da condutividade térmica da pele/gordura isoladas (Fig. 6c), o efeito da temperatura é bastante pronunciado, observado pelos altos coeficientes angulares da regressão linear aos pontos experimentais, com coeficientes de correlações (R) todos acima de 0,98. Este efeito da gordura também é observado para a carne da coxa/sobrecoxa de frango (Fig. 6a), em especial, em conteúdo de umidade mais baixo, favorecendo uma maior inclinação nos modelos lineares comparado com a carne do peito de frango (Fig. 6b).

Em conteúdos de umidades baixos, há uma queda acentuada nos valores da condutividade térmica da carne do peito de frango (Fig. 6b) quando comparado com os valores obtidos para a carne da coxa/sobrecoxa (Fig. 6a). A diferença do conteúdo de gordura em ambas as amostras talvez ainda possa explicar tal discrepância, pois apesar da gordura/pele de frango *in natura* apresentar valores de condutividade térmica inferior, a redução do teor de umidade desta matéria-prima (Fig. 6c) contribuiu muito pouco com o abaixamento da condutividade térmica quando comparada com as outras duas matérias-primas (peito e coxa/sobrecoxa). Deste modo, o alto teor de gordura da coxa/sobrecoxa provavelmente conduz a um menor efeito do conteúdo de umidade sobre sua condutividade térmica.

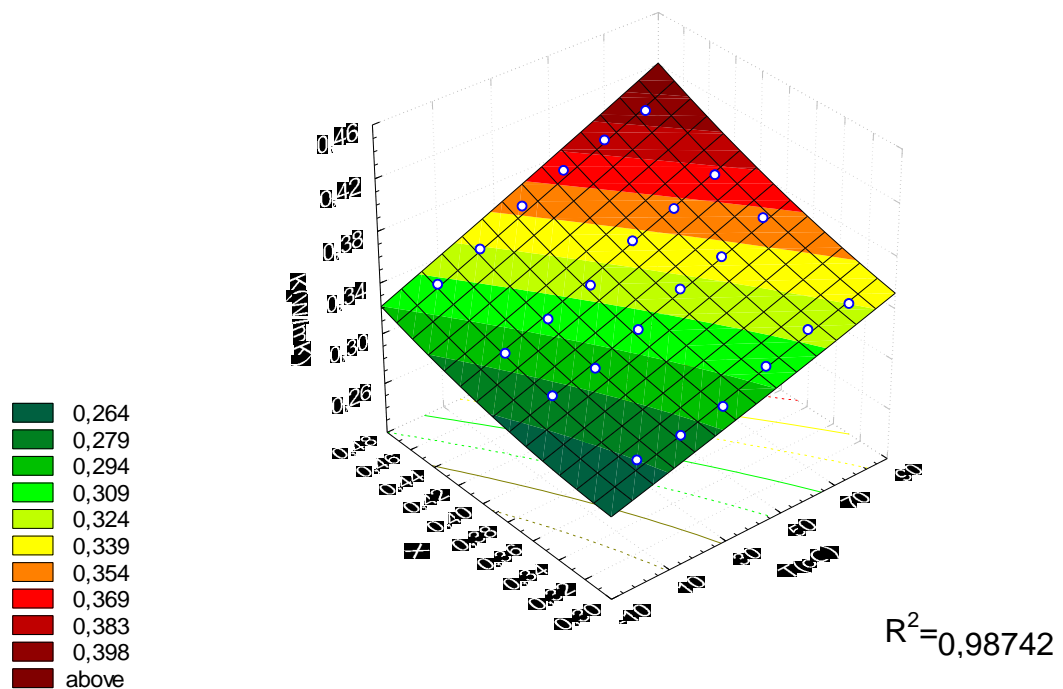
Com auxílio do software *Statistica 5.0*, superfícies de resposta são apresentadas, conforme Figura 7, e o nível de significância ($p < 0,05$) dos efeitos das variáveis independentes – temperatura e conteúdo de umidade – sobre a condutividade térmica foi obtido.



(a)



(b)



(c)

Figura 7: Superfícies de resposta para a condutividade térmica da carne de frango em função da temperatura e do conteúdo de umidade: (a)coxa/sobrecoxa; (b) peito; (c) pele/gordura.

De acordo com os resultados de variância (ANOVA) para a carne da coxa/sobrecoxa, todas os efeitos – lineares, quadráticos e interação linear – foram significativos ($p < 0,05$) sobre os valores da condutividade térmica conforme Tabela 5.

Tabela 5: Nível de significância (p) dos efeitos – lineares, quadráticos e interação linear – das variáveis independentes sobre a condutividade térmica da carne da coxa/sobrecoxa de frango.

Efeitos		P
Temperatura (T)	Linear	0,000000
	Quadrático	0,004040
Umidade (X)	Linear	0,000000
	Quadrático	0,000056
Interação T.X		0,038896

O modelo matemático que descreve o comportamento dos valores da condutividade térmica em função da temperatura e do conteúdo de umidade da carne da coxa/sobrecoxa de frango, obtido pela avaliação estatística, é representado pela Equação 16, onde T está em °C, X em fração de umidade e K em W/m.K.

$$K = -1,5 \cdot 10^{-2} + 3,5 \cdot 10^{-4} \cdot T + 1,4 \cdot 10^{-5} \cdot T^2 + 1,01 \cdot X - 0,47 \cdot X^2 - 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot T \cdot X \quad (16)$$

Para a carne do peito de frango, os resultados ANOVA são apresentados na Tabela 6, o qual, somente os efeitos lineares de ambas as variáveis independentes, temperatura e conteúdo de umidade, além do efeito quadrático da umidade, foram significativos ($p < 0,05$).

Tabela 6: Nível de significância (p) dos efeitos – lineares, quadráticos e interação linear – das variáveis independentes sobre a condutividade térmica da carne do peito de frango.

Efeitos		P
Temperatura (T)	Linear	0,000984
	Quadrático	0,769452
Umidade (X)	Linear	0,000000
	Quadrático	0,038582
Interação T.X		0,656213

A Equação 17, desconsiderando os termos não significativos, representa o modelo para a obtenção dos valores da condutividade térmica em função da temperatura e do conteúdo de umidade da carne do peito de frango, onde T está em °C, X em fração de umidade e K em W/m.K.

$$K = 5,53 \cdot 10^{-2} + 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot T - 4,6 \cdot 10^{-1} \cdot X + 1,34 \cdot X^2 \quad (17)$$

A Tabela 7 traz os efeitos das variáveis independentes sobre a condutividade térmica da mistura pele/gordura de frango, estando somente o efeito quadrático da temperatura não significativo ($p < 0,05$), enquanto os demais fatores apresentaram um nível de significância de 95%.

Tabela 7: Nível de significância (p) dos efeitos – lineares, quadráticos e interação linear – das variáveis independentes sobre a condutividade térmica da pele/gordura de frango.

Efeitos		P
Temperatura (T)	Linear	0,000000
	Quadrático	0,748095
Umidade (X)	Linear	0,000000
	Quadrático	0,004960
Interação T.X		0,002418

O comportamento da condutividade térmica, segundo os fatores significativos sobre esta propriedade termofísica para pele/gordura de frango é descrita de acordo com a Equação 18, obtida pela avaliação estatística dos dados experimentais, onde T está em °C, X em fração de umidade e K em W/m.K.

$$K = 0,32 + 1,2 \cdot 10^{-4} \cdot T - 0,51 \cdot X + 0,99 \cdot X^2 + 2,15 \cdot 10^{-3} \cdot T \cdot X \quad (18)$$

5. CONCLUSÃO

A condutividade e difusividade térmicas das matérias-primas avaliadas – coxa/sobrecoxa, peito e pele/gordura de frango – foram bastante afetadas pelo conteúdo de umidade e temperatura, tendo seus valores aumentados conforme estas variáveis foram aumentadas.

Através dos resultados obtidos, a difusividade térmica apresentou valor mínimo de $0,948 \cdot 10^{-7}$ (m²/s) e máximo de $1,44 \cdot 10^{-7}$ (m²/s), avaliada nos limites de temperatura e conteúdo de umidade empregados no estudo. Os resultados de condutividade térmica apresentaram valor mínimo próximo a 0,10 (W/m.K) e valor máximo próximo a 0,50 (W/m.K) abrangendo todas as faixas de umidade e temperatura. De um modo geral observou-se que o conteúdo de gordura age diretamente como um isolante térmico ocasionando discrepâncias nos valores de condutividade térmica e difusividade térmica.

REFERÊNCIAS

- ABBAS, K.A., ABDULKARIM, S.M., JAMILAH, B. Thermophysical properties of some species of Malaysian freshwater fish in unfrozen state. **Journal of Food, Agriculture and Environment**, 6 (2): 14-18, 2008.
- AKTERIAN, S.G. Control strategy using functions of sensitivity for thermal processing of sausages. **Journal of Food Engineering**, 31: 449-455, 1997.
- CARSLAW, H.S., JAEGER, J.C. **Conduction of heat in solids**. Oxford, Clarendon Press, 201 p., 1959.
- CARSON, J.K., Review of effective thermal conductivity models for foods. **International Journal of Refrigeration**, 29: 958-967, 2006.
- CENGEL, Y., Heat transfer – a practical approach, **McGraw-Hill Co**. New York, NY. 2006.
- DICKERSON, R.W. An apparatus for measurement of thermal diffusivity of food. **Food Technology**, 22: 37- 52, 1965.
- FARAG, K.W., LYNG, J.G., MORGAN, D.J., CRONIN, D.A. Dielectric and thermophysical properties of different beef meat blend over a temperature range of -18 to + 10 °C. **Meat Science**, 79: 740-747, 2008.
- FARINU, A., BAIK, O.D. Thermal properties of sweet potato with its moisture content and temperature. **International Journal of Food Properties**, 10 (4): 703-719, 2007.
- GONZO, E.E. Estimating correlations for the effective thermal conductivity of granular materials. **Chemical Engineering Journal**, 90: 299-302, 2002.
- HUANG, L., LIU, LIN-SHU., simultaneous determination of thermal conductivity and thermal diffusivity of food and agricultural materials using plane-source method. **Journal of food engineering** 95 : 179-185, 2009.

KARUNAKAR, B., MISHRA, S.K., BANDYOPADHYAY, S. Specific heat and thermal conductivity of shrimp meat. **Journal of Food Engineering**, 37:345-351, 1998.

KONG, J.Y., YANO, T., KIM, J.D., BAE, S.K., KIM, M.Y., KONG, I.S. Prediction of effective thermal diffusivity of fish and meats. **Bioscience, biotechnology, and biochemistry**, 58 (11): 1942-1946, 1994.

KUMCUOGLU, S., TAVMAN, S. Thermal diffusivity measurement of meat products. **Journal of Food Science and Technology**, 46 (2): 99-103, 2009.

MARCOTTE, M., TAHERIAN, A. R., KARIMI, Y. Thermophysical properties of processed meat and poultry products. **Journal of Food Engineering**, 88: 315-322, 2008.

MARIANI, V.C., LIMA, A.G.B., COELHO, L.S. Apparent thermal diffusivity estimation of the banana during drying using inverse method. **Journal of Food Engineering**, 85 (4): 569-579, 2008.

MOREIRA, R.S.R., ZAPATA, J.F.F., FUENTES, M.F.F., SAMPAIO, E.M., MAIA, G.A. Efeito da restrição de vitaminas e minerais na alimentação de frangos de corte sobre o rendimento e composição da carne. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 18 (1): 77-89, 1998.

MOHSENIN, N.N. **Thermal properties of food and agricultural materials**. New York, Gordon & Breach Sci, 407 p., 1980.

OLIVEIRA, G.S., TRIVELIN, M.O., FILHO, J.F.L., THOMÉO, J.C. Thermophysical properties of cooked ham. **International Journal of Food Properties**, 8(2): 387-394, 2005.

ROÇA, R. O. **Composição química da carne**. Disponível em: <http://dgta.fca.unesp.br/docentes/roca/carnes/roca102.pdf>, Acesso em: 18/04, 2009.

ROQUE-SPECHT, V. F. **Aproveitamento de resíduos de carne de frango.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 1996.

SAHIN, S.S., SUMMU, S.G. **Physical properties of foods.** Ed. Springer, 257 p., 2006.

SARCINELLI, M.F., VENTURINI, K.S., SILVA, L.C. **Processamento da carne de frango.** Boletim Técnico – PIE-UFES, 2007a.

SARCINELLI, M.F., VENTURINI, K.S., SILVA, L.C. **Produção de frango de corte.** Boletim Técnico – PIE-UFES, 2007b.

SEUB, I. **Valor nutricional de la carne y de los productos cárnicos.** Fleischwirtschaft Español, 1: 47 – 50, 1991.

SINDIAVIPAR. **Revista Avicultura do Paraná,** ano 1, n. 5, 2008a.

SINDIAVIPAR. **Revista Avicultura do Paraná,** ano 1, n. 7, 2008b.

SINDIAVIPAR. **Revista Avicultura do Paraná,** ano 2, número 8, 2009.

SINGH, P.R. Thermal diffusivity in food processing. **Food Technology,** 36(2): 87-91, 1982.

SINGH, R.P., HELDMAN, D.R. **Introduction to food engineering.** 4th ed. Academic Press, 841 p., 2008

SWEAT, V.E. Thermal properties of low and intermediate moisture content food. T. **Ashare Transactions,** 91(2): 369-389, 1985

UNKLESBAY, N., UNKLESBAY, K., CLARKE, A.D. Thermal properties of restructured beef snack sticks throughout smokehouse processing. **Food Science and Technology,** 32: 527-534, 1999.

USDA. **Departamento de Agricultura dos Estados Unidos**. Disponível em: http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/cgi-bin/list_nut_edit.pl. Acessado em 18/04, 2009.

WANG, J.F., CARSON, J.K., NORTH, M.F., CLELAND, D.J. A new approach to the modeling of the effective thermal conductivity of heterogeneous materials. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, 49(17-18): 3075-3083, 2006.

ZACH, L. Heat Transfer. In: Y.H.HUI. **Handbook of food science, technology, and engineering**. vol 3, CRC Press, 712 p., 2006.