

# OTIMIZAÇÃO DO COZIMENTO DE FILÉ DE FRANGO EMPANADO EM FORNO DE INJEÇÃO DIRETA DE VAPOR<sup>1</sup>

Cristina LEONHARDT<sup>2</sup>, Helena Caminha Pereira dos SANTOS<sup>3</sup>,

Ligia Damasceno Ferreira MARCZAK<sup>4</sup>, Cacioano Pelayo ZAPATA-NOREÑA<sup>5,\*</sup>

## RESUMO

Foi estudado o efeito da temperatura do ar (205-215°C) e do tempo de cozimento (3,5 – 4,1 minutos), sobre a temperatura interna e o rendimento durante o cozimento do filé de frango empanado usando a metodologia de superfície de resposta, obtendo-se modelos estatísticos adequados. Verificou-se que as melhores condições de processo foram o emprego de temperaturas entre 206 e 209°C e tempos entre 2,5 e 3,6 minutos.

**Palavras-chave:** superfície de resposta; frango; cozimento; transferência de calor.

## SUMMARY

OPTIMIZING OF IMPINGEMENT ON COOKING FILLET CHICKEN. The effect of air temperature (205 – 215°C) and cooking time (3.5 – 4.1 minutes) on the internal temperature and the yield of fillet chicken were studied using response surface methodology. Satisfactory statistical models were obtained. The best conditions were temperatures between 206 and 209°C and times between 2.5 and 3.6 minutes.

**Keywords:** response surface; chicken; cooking; heat transfer.

## 1- INTRODUÇÃO

O atual estágio da tecnologia de processamento de carnes permite que muitos alimentos, que antes necessitavam de preparo doméstico, cheguem à casa do consumidor já prontos, por vezes, totalmente cozidos. No caso do frango uma das formas de apresentação é como filé empanado totalmente cozido, tendo como principal operação unitária a etapa de cozimento. O cozimento pode ser realizado em fornos de injeção direta ou indireta de vapor, radiação, microondas, etc., e a compreensão dos mecanismos de atuação do calor sobre o produto são pontos de grande importância para a seleção do melhor programa de cozimento, que deve atender às condições de segurança alimentar e ao mesmo tempo gerar um rendimento tal que a produção seja vantajosa para a indústria.

ANG & HUANG [1] estudaram o efeito da temperatura mais alta atingida no centro de empadas, feitas a partir do músculo da perna de frango, na faixa de 60 a 85°C sobre a cor (medida no sistema Lab Hunter) da carne cozida em grelha. Eles verificaram que, quando se aumenta a temperatura a luminosidade (L) e o amarelo *versus* azul (b) aumentam; enquanto que o vermelho *versus* verde (a) diminui.

BERRY [2] verificou que empadas de carne de boi, cozidas numa grelha elétrica, contendo 20% de gordura

na sua formulação, apresentaram maiores intensidade de aroma de carne, suculência, maciez e rendimentos que quando continha 4% de gordura.

SHERIDAN & SHILTON [13] avaliaram o rendimento durante o cozimento da carne moída tipo hambúrguer usando um forno de radiação. Eles verificaram que a maior perda de água durante o aquecimento não obedecia ao modelo de transferência de massa de FICK, devido a sua estrutura capilar – porosa.

CHRISTENSEN, PURSLOW & LARSEN [5] estudaram a influência da temperatura de cozimento sobre as propriedades mecânicas da carne e de seus principais componentes.

PEARSON & GILLET [9] mencionaram que o forno de injeção direta de vapor, tipo *impingement*, tem como característica principal os altos valores de coeficiente de película na transferência de calor quando comparados com fornos tradicionais de fluxo de ar estático ou os aquecidos por radiação.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar através da metodologia de superfície de resposta, a influência do tempo de cozimento e temperatura do processo na temperatura interna final e rendimento do filé de frango empanado.

## 2 - MATERIAIS E MÉTODOS

Foi utilizado filé de frango empanado e para o cozimento foi empregado um forno de injeção direta de vapor, tipo *impingement*.

O rendimento do produto, que nos indica a quantidade de massa não perdida ou evaporada durante o cozimento, foi calculado a partir da razão entre a massa dos filetes na saída e na entrada do forno [2]. A pesagem das massas foi feita empregando uma balança semi-analítica, com precisão de 0,01g.

<sup>1</sup> Recebido para publicação em 16/11/2002. Aceito para publicação em 05/11/2003 (000796).

<sup>2</sup> UFRGS.

<sup>3</sup> UFSC.

<sup>4</sup> Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

<sup>5</sup> Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves 9500, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil, e-mail: czapatan@ufrgs.br.

\*A quem a correspondência deve ser enviada.

A temperatura dos filetes imediatamente após o cozimento foi medida no centro geométrico do produto mediante o emprego de um termômetro tipo agulha, com precisão de 0,1°C. De acordo com o recomendado por WÄHLBY, SKJÖLDEBRAND & JUNKER [14], a temperatura máxima no centro, utilizada como resposta, foi àquela imediatamente anterior ao início do decréscimo da temperatura.

## 2.1 - Desenho experimental

Foram empregados dois fatores: temperatura e tempo de cozimento. Os níveis dos fatores testados foram: 205, 210 e 215°C para a temperatura de cozimento e 3,5; 3,8; e 4,1 minutos para o tempo de processo. Os experimentos foram realizados seguindo um planejamento fatorial 3<sup>2</sup> com três repetições no ponto central. As respostas foram a temperatura interna no frango e o rendimento.

Foi empregado um desenho central composto rotacional de segunda ordem e os resultados foram analisados usando a metodologia de superfície de resposta. O polinômio de segundo grau empregado para o ajuste das variáveis de resposta foi:

$$Y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_{11}x_1^2 + \beta_{22}x_2^2 + \beta_{12}x_1x_2$$

Onde  $x_1$  e  $x_2$  são o tempo e a temperatura do processo respectivamente, expressados em forma codificada;  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_{11}$ ,  $\beta_{22}$ ,  $\beta_{12}$ , são os parâmetros a serem estimados;  $Y$  é a variável de resposta (temperatura interna e rendimento do filé de frango empanado).

## 2.2 - Análise estatística

Foi empregado o pacote estatístico SAS [12] para as análises de regressão, de variância e canônico. Para a construção das linhas de contorno foi empregado o pacote MATLAB [7].

## 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 estão apresentados os resultados dos experimentos obtidos da combinação dos fatores de tempo e temperatura de processo, onde se observa que as temperaturas finais do produto estiveram na faixa de 79,6 e 88,5°C. A respeito, RESURRECCION [11] sugere que os pontos finais de cozimento (grau de cozimento pronto) para os cortes de peito e sobrecoxa de frango são obtidos nas temperaturas de 71 e 82°C, respectivamente.

Para o rendimento dos filés de frango frito obtiveram-se valores entre 96,7 e 98,6%, sendo que as perdas são devidas basicamente à saída de água do produto por evaporação. A respeito, HULTIN [8] menciona que uma das conseqüências da desnaturação das proteínas musculares pelo calor é a diminuição da retenção de água. A desnaturação pelo calor e a desidratação superficial durante o cozimento origina a formação de uma capa superficial que tende a diminuir a taxa de perda de água. Quanto aos lipídios eles se fundem e as células

do tecido adiposo se rompem ocasionando uma importante redistribuição das gorduras dentro do produto.

**TABELA 1.** Rendimento dos filés de frango frito

Tratamento	Tempo (minutos)	Temperatura (°C)	Temperatura interna (°C)	Rendimento (g/100g)
1	3,5	210	82,0	98,3
2	4,1	210	88,5	97,4
3	3,5	215	79,6	98,0
4	4,1	215	87,6	96,7
5	3,8	210	84,4	97,7
6	3,8	215	81,5	97,8
7	3,5	205	79,9	98,6
8	4,1	205	81,5	97,7
9	3,8	205	80,9	98,2
10	3,8	210	79,8	97,9
11	3,8	210	83,7	97,7

CHEN, MARKS & MURPHY [4] verificaram que o rendimento da carne de frango é afetado pela transferência de massa, principalmente sob a forma de transferência de água do produto para o exterior, que é diminuído pela formação de uma camada superficial com menor concentração de água do que no centro, camada que acaba por formar uma barreira para a continuidade da saída de água.

O cozimento rápido da carne, a coloração homogênea e os altos rendimentos obtidos (pouca perda de água) é característica desse tipo de forno [14].

### 3.1 - Temperatura interna do frango

Na Tabela 2, estão apresentados os resultados da análise de variância (ANOVA) para temperatura interna do frango, mostrando que o modelo é adequado (não foi significativa a falta de ajuste da regressão) com valor de  $r^2=0,8216$ . Também foi observado que o tempo tem efeito significativo sobre a temperatura interna do produto ( $p<0,02$ ), para as faixas de temperaturas e tempos estudados. Esses resultados diferem do reportado por WÄHLBY, SKJÖLDEBRAND & JUNKER [14] que mencionaram que a temperatura interna é altamente dependente da temperatura do ar. Nos modelos físicos de transferência de calor, tal como a Segunda Lei de Fourier, a temperatura num ponto estacionário dentro do alimento depende da temperatura do meio de aquecimento, do tempo e a resistência à transferência de calor pelo alimento [3], que nosso modelo, por ser empírico, não foi capaz de explicar.

### 3.2 - Rendimento

Na Tabela 3 se aprecia o ANOVA para o rendimento do frango, onde se observa que o modelo é bom, sem evidência de falta de ajuste, com valor de  $r^2=0,9345$ .

Os principais efeitos que influenciaram sobre essa resposta foram o tempo e a temperatura ( $p<0,01$ ).

WÄHLBY, SKJÖLDEBRAND & JUNKER [14] mencionaram que, durante o cozimento de carne suína em um forno de injeção direta de vapor, a perda de água

pela carne foi muito influenciada pela temperatura do ar, sendo pouco dependente do tempo de processo, e as maiores perdas estavam associadas com a utilização de altas temperaturas e curtos tempos.

**TABELA 2.** Análise de variância para a variável resposta temperatura interna do frango

Efeitos	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrados médios	Relação - F	Valor -P
t (tempo)	1	43,2016	43,2016	12,88	0,0157
T (temperatura)	1	6,8266	6,8266	2,04	0,2130
t <sup>2</sup>	1	7,6652	7,6652	2,29	0,1910
T <sup>2</sup>	1	9,3004	9,3004	2,77	0,1567
T x T	1	10,2400	10,2400	3,05	0,1410
Falta de ajuste	3	4,4810	1,4936	0,24	0,8618
Erro puro	2	12,2866	6,1433		
Total	10	94,0018			
r <sup>2</sup>	0,8216				

**TABELA 3.** Análise de variância para a variável resposta rendimento de frango

Efeitos	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrados médios	Relação - F	Valor -P
t (tempo)	1	1,6016	1,6016	48,98	0,0009
T (temperatura)	1	0,6666	0,6666	20,39	0,0063
T <sup>2</sup>	1	0,0214	0,0214	0,66	0,4544
T <sup>2</sup>	1	0,0030	0,0030	0,09	0,7731
t x T	1	0,0400	0,0400	1,22	0,3191
Falta de ajuste	3	0,1368	0,0456	3,42	0,2344
Erro puro	2	0,0266	0,0133		
Total	10	2,4963			
r <sup>2</sup>	0,9345				

Os coeficientes dos dados experimentais para os modelos de segunda ordem, das respostas estudadas são apresentados na *Tabela 4*.

**TABELA 4.** Coeficientes de regressão para o polinômio de segunda ordem para as variáveis de resposta

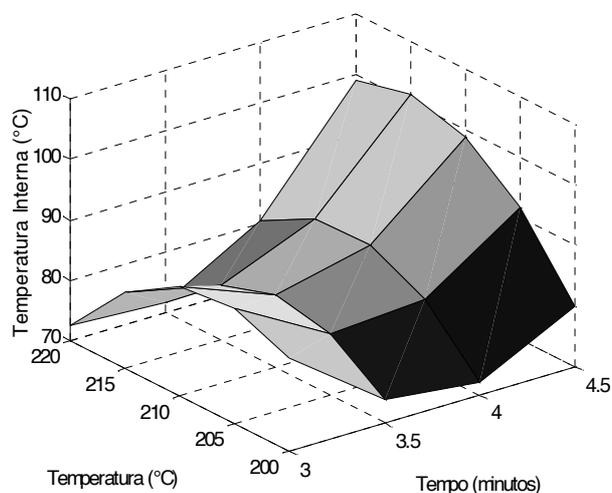
Coeficientes	Temperatura interna	Rendimento
β <sub>0</sub>	82,984211	97,836842
β <sub>1</sub>	1,066667	-0,333333
β <sub>2</sub>	2,683333	-0,516667
β <sub>11</sub>	-2,310526	0,057895
β <sub>22</sub>	1,739474	-0,100000
β <sub>12</sub>	1,600000	-0,092105

### 3.3 - Otimização

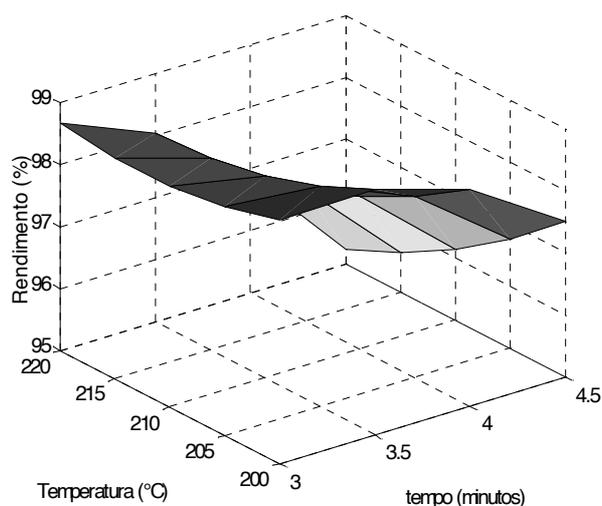
Nas *Figuras 1 e 2* estão apresentadas os gráficos de superfície de resposta para a temperatura interna e rendimento dos filés de frango empanado. A partir dessas figuras foram plotadas as linhas de nível ou de contorno (*Figuras 3 e 4*), que permitem apreciar as diferentes condições de tempo e temperatura e obter diferentes valores de resposta.

A localização das condições ótimas de cozimento puderam ser encontradas a partir do método analítico, onde os pontos estacionários foram obtidos a partir da análise canônica (MYERS, 1971 citado por QUINTERO-

RAMOS et al. [10]). Para a temperatura interna do produto os resultados encontrados foram 209,9°C, para a temperatura do ar, e um tempo de 3,6 minutos. Para o rendimento, as condições foram de 211,5°C e 2,9 minutos. Em razão das respostas obtidas não estarem localizadas na mesma zona, optou-se por uma otimização gráfica, para determinar as condições ótimas de cozimento de acordo com o método recomendado por FLORES & CHINNAN [6] que consiste em sobrepor os gráficos de linhas de contorno das variáveis em estudo (*Figuras 3 e 4*). Através das curvas de nível estimou-se que as melhores condições de processo correspondem à superfície compreendida entre as temperaturas do ar do forno de 206 e 209°C e tempos de cozimento entre 3,5 a 3,6 minutos, que correspondem as respostas de temperaturas internas compreendidas entre 82,7 e 83,6°C e rendimentos na faixa de 98,2 e 98,5%.



**FIGURA 1.** Superfície de resposta para a temperatura interna em função da temperatura e do tempo



**FIGURA 2.** Superfície de resposta para o rendimento em função da temperatura e do tempo

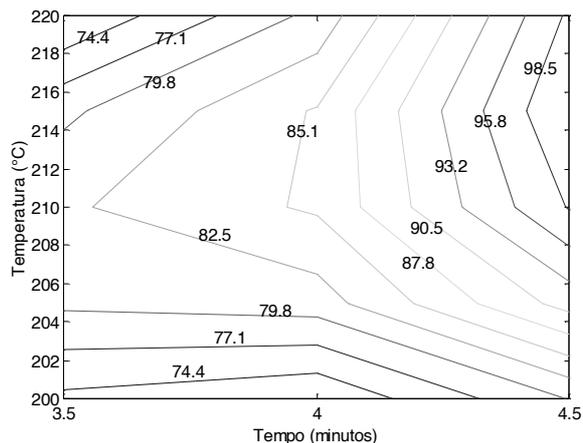


FIGURA 3. Curvas de nível para a temperatura interna em função da temperatura e do tempo

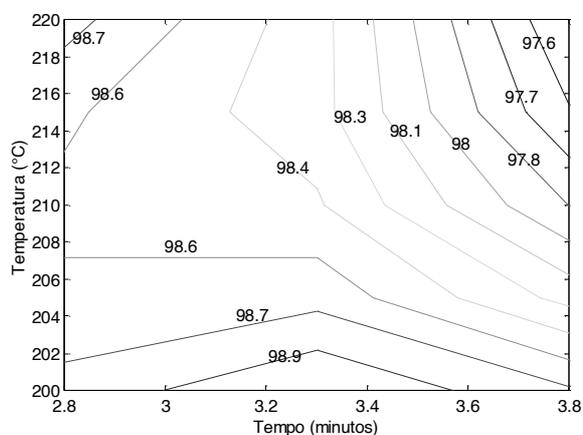


FIGURA 4. Curvas de nível para o rendimento em função da temperatura e do tempo

#### 4 – CONCLUSÕES

Os modelos estatísticos de superfície de resposta obtidos foram apropriados, ajustando-se razoavelmente com respeito aos dados experimentais, que, em conexão com a técnica gráfica, ajudaram a localizar as condições ótimas de processo. Verificou-se que as melhores condições de cozimento correspondem à superfície compreendida entre as temperaturas do ar do forno de 206 e 209°C e tempos de cozimento entre 3,5 a 3,6 minutos, que correspondem as respostas de temperaturas internas 82,7 e 83,6°C e rendimentos na faixa de 98,2 e 98,5%.

#### 5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANG, C.Y.W.; HUANG, Y.W. Color changes of chicken leg patties due to end-point temperature, packaging and refrigerated storage. **Journal of Food Science**, v. 59, n. 1, p. 26-29, 1994.
- [2] BERRY, B.W. Fat level, high temperature cooking and degree of doneness affect sensory, chemical and physical properties of beef patties. **Journal of Food Science**, v. 59, n. 1, p. 10-14, 1994.
- [3] CHANG, H.C.; CARPENTER, J.A.; TOLEDO, R. Modeling coupled heat transfer during oven roasting of unstuffed turkeys. **Journal of Food Science**, v. 63, n.2, p. 257-261, 1998.
- [4] CHEN, H.; MARKS, B.P.; MURPHY, R.Y. Modeling coupled heat and mass transfer for convection cooking of chicken patties. **Journal of Food Science**, v. 42, n. 3, p. 139-146, 1999.
- [5] CHRISTENSEN, M.; PURSLOW, P.P.; LARSEN M.L. The effect of cooking temperature on mechanical properties of whole meat, single muscle fibres and perimysial connective tissue. **Meat Science**, v. 55, p. 301-307, 2000.
- [6] FLOROS, J.D.; CHINNAN, M.S. Computer graphics-assisted optimization for product and process development. **Food Technology**, v. 42, n. 2, p. 72-78, 1988.
- [7] HANSELMAN, D.; LITTLEFIELD, B. **MATLAB 5: Guia do Usuário**. São Paulo: Makron Books, 1999. 413 p.
- [8] HULTIN, H.O. Características del tejido muscular. In: FENNEMA, O. R. **Química de los alimentos**. Zaragoza: Acribia, S. A., 1985. Cap. 12, p. 815-888.
- [9] PEARSON, A.M.; GILLET, T.A. **Processed meats**. New York: Chapman & Hall, 1996. 448 p.
- [10] QUINTERO-RAMOS, A.; BOURNE, M.C.; BARNARD, J.; ANZALDÚA-MORALES, A. Optimization of low temperature blanching of frozen jalapeño pepper (*Capsicum annuum*) using response surface methodology. **Journal of Food Science**, v. 63, n. 3, p. 519-522, 1998.
- [11] RESURRECCION, A.V.A. Cookery of muscle food. In: KINSAMN, D. M.; KOTULA, A. W.; BREIDENSTEIN, B. C. **Muscle foods: meat, poultry and seafood technology**. New York: Chapman & Hall, 1994. p. 406-429.
- [12] SAS. **Statistical Analysis System**, versão 6.08. The SAS Institute, Cary, N. C., 1992.
- [13] SHERIDAN, P.S.; SHILTON, N.C. Analysis of yield while cooking beefburger patties using far infrared radiation. **Journal of Food Engineering**, v. 51, p. 3-11, 2002.
- [14] WÄHLBY, U; SKJÖLDEBRAND, C.; JUNKER, E. Impact of impingement on cooking time and food quality. **Journal of Food Engineering**, v. 43, n. 3, p. 179-187, 2000.