

ANÁLISE TÉRMICA DE BALCÕES EXPOSITORES DE ALIMENTOS QUENTES

Carlos Alberto de Almeida Vilela, carlosavgeo@yahoo.com

Faculdade Latino Americana, Dept. Eng. Mecânica, Anápolis-GO

Patrícia de Oliveira Artur, patriciaartur@ig.com.br

Consultora PAS/SEBRAE-GO

Resumo. *As condições em que são mantidos os alimentos ao longo do tempo, é um fator de suma importância na sua conservação e qualidade. Em restaurantes tipo self-service, pratos quentes geralmente são servidos em balcões térmicos com cubas metálicas tipo banho-maria onde a temperatura do alimento está controlada pela temperatura da água no banho de aquecimento. A utilização não adequada deste tipo de equipamento aumenta o risco de contaminação microbiológica e compromete a conservação do alimento em exposição. É apresentado neste trabalho, um estudo da distribuição de temperatura em um modelo típico de equipamento utilizado para exposição de carne bovina em forma de files. Para determinação do comportamento térmico, foram consideradas para análise numérica quatro diferentes condições de operação, sendo duas condições de temperatura e duas condições referentes ao nível de água na cuba metálica. Observou-se que para as práticas mais comuns que são os níveis de água e temperaturas mais baixas, tem-se grandes chances de a temperatura do alimento estar fora dos limites recomendados pela legislação vigente no país.*

Palavras chave: *Exposição de alimentos, contaminação alimentar, self-service, mecânica dos fluidos computacional.*

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas tem ocorrido, em nível mundial, um aumento cada vez maior do número de estabelecimentos públicos de alimentação. Estima-se que o número de restaurantes no Brasil situa-se em torno de 50.000. O segmento de restaurantes do tipo *self-service* tem-se apresentado como um dos mais promissores e deverá continuar crescendo nos próximos anos de forma contínua e definitiva.

O fornecimento de alimentos seguros é relevante do ponto de vista da saúde pública, devendo satisfazer as exigências de qualidade do consumidor, possuir adequado valor nutricional, aparência, além de boas condições de higiene e sanidade. No entanto, estatísticas mostram que em praticamente todas as partes do mundo existe elevado número de casos de doenças transmitidas por alimentos. Mesmo em países desenvolvidos, as doenças alimentares têm contribuído para o aumento da taxa de doenças infecciosas. Os surtos de toxinfecções alimentares são uma preocupação mundial e calcula-se que de 1 a 100 milhões de pessoas no mundo contraem toxinfecções decorrentes do consumo de alimentos e água. Além disso, as toxinfecções alimentares causam prejuízos econômicos devido a paralisação das atividades produtivas, aos gastos com tratamento médico necessário e/ou pelo desperdício de alimentos.

Os alimentos podem ser contaminados por agentes biológicos, químicos ou físicos, durante toda a sua manipulação: armazenamento, preparação e distribuição para o consumo. A qualidade microbiológica que é um dos fatores de vital importância para definir a qualidade de um alimento, está diretamente relacionada com a contaminação inicial da matéria-prima e com a taxa de multiplicação dos microrganismos. Um alimento contaminado tem sua composição alterada e substituída por produtos do metabolismo de microrganismos, causando doenças infecciosas ou toxinfecções alimentares.

Em condições favoráveis como temperatura inadequada, higiene deficiente na obtenção, no processamento, na estocagem e na comercialização, aliada a uma manipulação inadequada, o microrganismo multiplica-se no alimento até alcançar enormes cargas, sem que sejam alterados significativamente a cor, o aroma e o sabor. Em termo de qualidade no alimento a temperatura é fator determinante da taxa de crescimento microbiológico e eventuais problemas podem ser evitados se estreitas limitações de tempo, temperatura e condições de estocagem são mantidas durante a produção de refeições.

A Portaria CVS-6199 estabelece que alimentos quentes podem ficar na distribuição ou espera a 65°C (338,15 K) ou mais por no máximo 12 horas ou 60°C (333,15 K) por no máximo 6 horas ou abaixo de 60°C (333,15 K) por 3 horas. A preocupação com a qualidade dos alimentos envolve não só os riscos de veiculação de doenças para o consumidor, mas também, perdas econômicas para o empresário. Um alimento contaminado causa danos não só à saúde do ser humano, como também à empresa (contratante e contratada) e à sociedade como um todo. Um alimento pode alastrar contaminação para toneladas e toneladas de alimentos, preparados ou *in natura*, tendo como o destino o lixo.

2. CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO

O produto alimentar considerado para análise térmica foi a carne bovina, e vários são os aspectos que definem o produto, dentre eles os físicos, químicos e microbiológicos. Para o consumidor final, alguns aspectos importantes observados pelos consumidores estão relacionados na Tab. 1.

Tabela 1. Características gerais da carne⁽¹⁾

Qualidade exigida	Característica da qualidade
Cor vermelha de carne fresca, nem muito escura nem muito clara.	pH da carne; Valor L (Luminosidade medida com colorímetro).
Capa de gordura, porém não muita.	Espessura de gordura medida ou avaliada na carcaça (acabamento).
Macia, fácil de cortar com faca.	pH e grau de marmorização da carne fresca, força de cisalhamento da carne assada; análise corporal.
Suculenta	Acabamento, grau de marmorização ou teor de lipídeos intramusculares; análise sensorial.

⁽¹⁾Sarcinelli *et al* (2007)

A carne, em sentido amplo, constitui um alimento nobre para o homem, caracterizando-se pela natureza das proteínas que a compõe, não somente do ponto de vista quantitativo como qualitativo. Além de sua riqueza em aminoácidos essenciais, ela contém umidade, ácidos graxos essenciais, vitaminas, glicídios e micronutrientes como elementos nutricionais complementares, exercendo a sua função na formação de novos tecidos orgânicos, na regularização dos processos fisiológicos e na produção de energia, Pardi *et al* (1993). De acordo com a sua resistência aos processos de alterações, principalmente de origem microbiana, as carnes são classificadas como alimentos perecíveis de fácil deterioração, que pode iniciar-se já no ato de sua obtenção ou ocorrer em todas as etapas de seu processamento, tendo como um dos grandes fatores contribuintes, o seu conteúdo de água seu valor nutricional, Evangelista (1987). São fontes básicas de proteína animal, sobretudo por seu valor biológico, havendo os que caracterizam o nível de consumo como elemento indicativo do desenvolvimento sócio-econômico de um povo, Farchimn (1969), Pardi *et al* (1993). São muito bem aceitos pelos consumidores, embora nos cardápios seja um dos itens mais problemáticos quanto à sua conservação e ao preparo, Coelho e Vanetti (1994).

Algumas características nutricionais da carne, para o corte alcatra, estão relacionadas na Tab. 2.

Tabela 2. Composição nutricional das carnes bovina, suína e de aves (grelhada/cozida, por 100 gramas)⁽¹⁾

	Unidade	Alcatra	Lombo suíno	Peito de frango
Energia	kcal	191	164	165
Proteína	g	30,4	28,1	31
Gordura	g	6,8	4,8	3,6

⁽¹⁾Sarcinelli *et al* (2007)

Algumas das propriedades termofísicas para o produto estão apresentadas na Tab. 3.

Tabela 3: Propriedades termofísicas da carne bovina

Grandeza	Unidade	
Densidade	kg/m ³	1153
Condutibilidade térmica	W/mK	0,44928
Difusividade térmica	m ² /s	11,094.10 ⁻⁸
Calor específico	J/kgK	3514,56

3. EQUIPAMENTO

Um modelo típico de equipamento considerado para a modelagem computacional está representado na Fig. 1, que mostra um balcão térmico com cubas metálicas em banho-maria. Tal equipamento é largamente utilizado nos restaurantes tipo *self-service* pela praticidade que ele oferece na montagem e também pelo baixo custo inicial. Nas cubas indicadas, são condicionados os alimentos, que podem ser das mais variadas naturezas. O corpo do equipamento é formado por uma grande estrutura na maioria das vezes metálica que

forma o reservatório de água quente, um compartimento inferior onde é montado um sistema de aquecimento por meio de resistências elétricas, ou em alguns casos por meio de combustão a gás e um anteparo de vidro para proteção do alimento na parte superior do balcão.

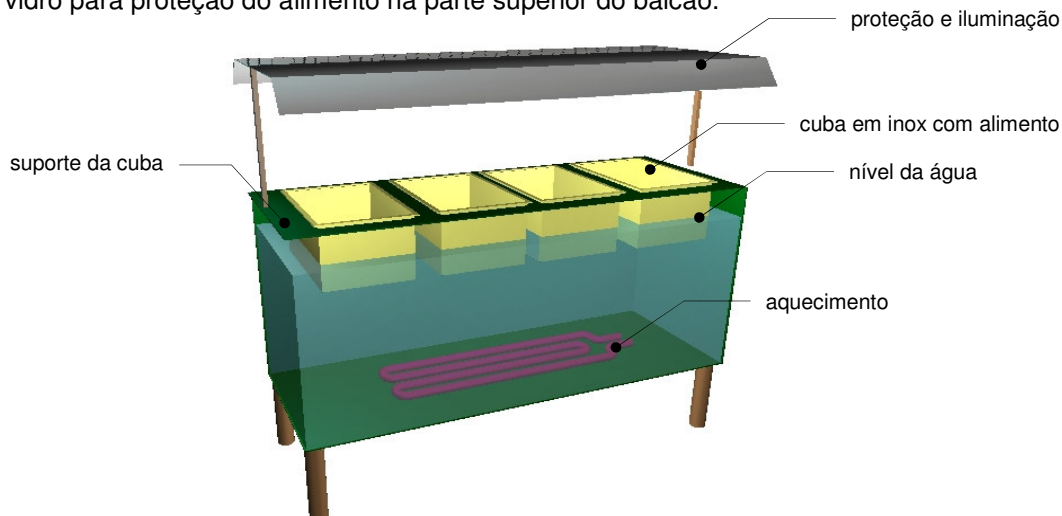


Figura 1. Balcão térmico típico

Um esquema do equipamento indicando os principais pontos está apresentado na Fig. 2.

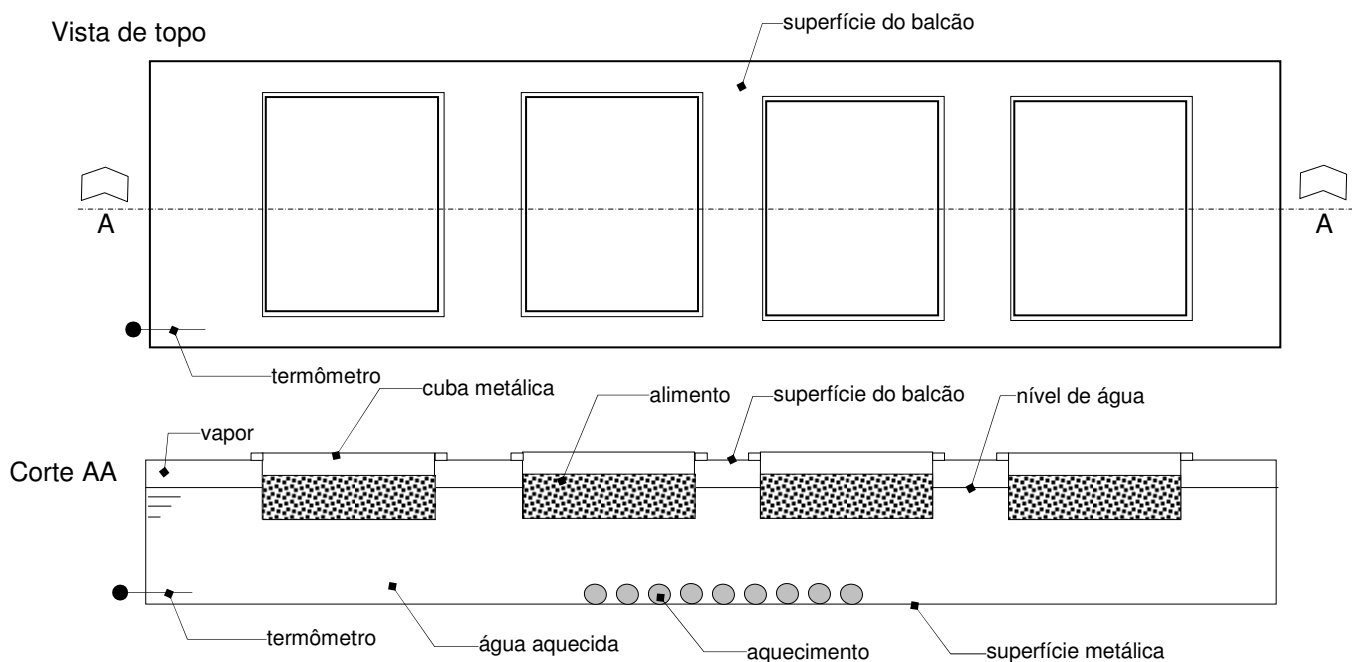


Figura 2. Esquema do equipamento (fora de escala)

Os fabricantes deste tipo de equipamento recomendam que este seja utilizado com um mínimo de água no reservatório de tal forma que a cuba esteja imersa no banho quente, para melhor aquecimento do alimento exposto. A prática comum que se observa nos estabelecimentos comerciais, é que esta recomendação não é seguida com tanta fidelidade, pois o inconveniente da flutuação da cuba pode surgir a medida que o alimento estiver sendo consumido, e situações como as apresentadas na Fig. 3 podem acontecer, o que proporciona um desconforto no momento do consumidor se servir no balcão.

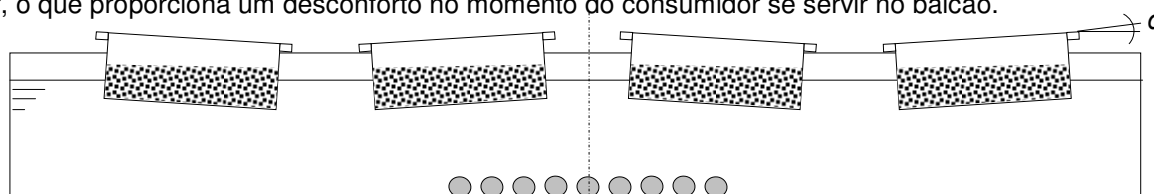


Figura 3. Esquema da bandeja flutuando

Na tentativa de solucionar o inconveniente da flutuação da cuba, os proprietários dos estabelecimentos simplesmente abaixam o nível de água do reservatório, mas com isso a troca de calor para o alimento é prejudicada. Uma comparação entre as duas situações será apresentada como resultado final do presente trabalho.

2. MODELAGEM COMPUTACIONAL

A utilização de ferramentas computacionais para solução de problemas envolvendo a indústria de alimentos é recente, mas tem se intensificado com o passar dos anos, segundo Scott and Richardson (1997) e Xia and Sun (2002). Problemas envolvendo a transferência de calor e massa, reações químicas, combustão, escoamento de fluidos entre outros, podem ser resolvidos com base nas equações que governam estes fenômenos.

No projeto de equipamentos, a performance do design final pode ser avaliada em discussão baseada em resultados numéricos. Alguns autores discutem o comportamento de equipamentos e o desenvolvimento do processo tais como a predição da distribuição de velocidade e temperatura em secadores por convecção forçada na secagem de lasanha, Ficarella *et al* (2003) e carne, Mirade (2003), esterilização de alimentos enlatados, Abdul Ghani *et al* (1999) e Abdul Ghani *et al* (2002) e mistura de alimentos fluidos, Delaplace *et al* (2000). Em linhas gerais a solução de um problema físico utilizando-se ferramentas computacionais envolve os seguintes passos:

1. Definição do problema físico.
2. Identificação das equações governantes.
3. Discretização das equações e modelagem geométrica.
4. Aplicação das condições de contorno.
5. Solução numérica do sistema de equações.
6. Análise dos resultados.

Pode-se encontrar hoje no mercado diversos pacotes comerciais utilizados para simulação computacional, baseados nos mais diversos métodos de solução, sendo alguns dos mais tradicionais: Ansys (Ansys Inc.), Fluent (Fluent Inc.), Phoenix (Cham Ltda), CFX (AEA Tech.). As principais diferenças entre os diversos códigos estão no método de discretização numérica das equações e nos métodos de solução de matrizes. Algumas das vantagens da utilização da modelagem computacional são:

- Mapeamento detalhado do fenômeno físico. Velocidades envolvidas no escoamento, distribuição de temperatura, distribuição de umidade, transferência de massa, etc.
- Avaliação de alterações de parâmetros de projeto (condições de contorno, geometria) mais rápida e com menor custo do que se fossem realizadas em laboratório.
- Podem ser reveladas as causas de vários problemas nos processos e não somente os efeitos.
- Detalhamento de situações difíceis de serem monitoradas em laboratório.
- Resultados fisicamente realistas.

Como resultado, a modelagem computacional tem se tornado uma ferramenta de grande importância no desenvolvimento de novos equipamentos e processos, pois através dela é possível prever o resultado de alterações em projetos antes mesmo de serem construídos.

A modelagem computacional é uma ferramenta poderosa quando deseja-se conhecer com mais detalhe o comportamento de um equipamento em operação. A simulação de um equipamento pode revelar o mapeamento geral de todas as variáveis envolvidas no processo, como por exemplo a temperatura, velocidades do fluido, umidade, etc, sendo possível a identificação das áreas mais críticas. Tal mapeamento é obtido a partir da solução das equações de governantes do problema físico, que no caso do equipamento em análise são as equações de transporte de massa e energia, apresentadas a seguir:

Continuidade

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

Navier-Stokes

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \rho g_x \quad (2a)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) = - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \rho g_y \quad (2b)$$

Energia

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + q''' \quad (3)$$

As condições de contorno consideradas no problema estão apresentadas na Fig. 4.

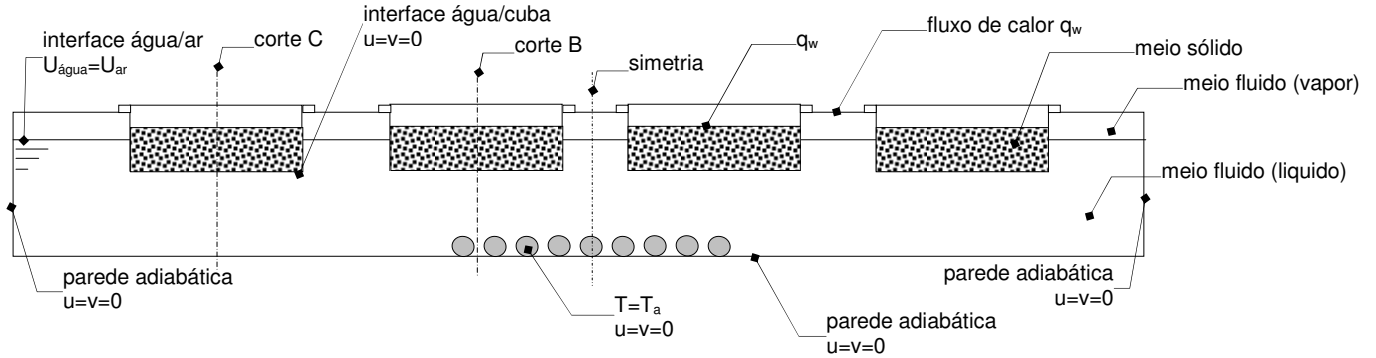


Figura 4. Condições de contorno (fora de escala)

Na superfície superior do balcão, a condição de contorno térmica considerada foi de coeficiente de fluxo de calor convectivo especificado de $h_w=10\text{W/Km}^2$, e no alimento devido a troca de calor por perda de umidade em forma de vapor foi de $h_w=20\text{W/Km}^2$, caracterizando um ambiente de pouca movimentação de ar e baixa troca de calor por convecção, e as condições de operação do equipamento consideradas estão listadas na Tab. 4.

Tabela 4: Condições de contorno para nível de água

Condições de contorno especificadas		
Caso	T_a [K]	Nível de água do reservatório
		100% 0%
1	363	100% (cuba totalmente imersa na água)
2	343	100% (cuba totalmente imersa na água)
3	363	0% (cuba não imersa na água)
4	343	0% (cuba não imersa na água)

As equações governantes foram resolvidas utilizando-se o pacote computacional Ansys, baseado no método dos elementos finitos. Foi utilizada uma malha computacional com refinamento nas áreas próximas as paredes e ao aquecimento, e a solução numérica foi considerada convergida se satisfeito seguinte critério de erro:

$$\mathcal{E} = \frac{\sum_{i=1}^n |\phi_i^k - \phi_i^{k-1}|}{\sum_{i=1}^n |\phi_i^k|} \leq 10^{-8} \quad (4)$$

onde ϕ é a variável verificada, velocidades, pressão e temperatura.
 k é a iteração atual, $k-1$ é a iteração anterior

O pacote computacional utilizado para solução numérica das equações governantes utiliza o método dos elementos finitos com múltiplas espécies para identificação dos fluidos água e ar no problema. Todo o meio fluido é caracterizado como sendo uma composição de duas espécies, que são elas: água fluida, espécie #1, e ar saturado, espécie #2. Portanto na parte inferior do equipamento tem-se um meio fluido com 100% da composição da espécie #1 e 0% da composição da espécie #2, e na parte superior do equipamento tem-se um fluido com 100% da composição da espécie #2 e 0% da composição da espécie #1.

Devido as grandes diferenças de propriedades entre um meio e outro, um cuidado especial foi tomado nas interfaces água/ar, água/sólido e ar/sólido para garantir a estabilidade numérica e convergência da solução. Elementos de segunda ordem com interpolação SUPG (Streamline Upwind Petrov-Galerkin) foram utilizados e um método direto de solução de matrizes foi utilizado para cada iteração global. Considerando-se um problema simétrico, onde a superfície de simetria é a parede vertical do lado direito, a solução numérica foi simplificada considerando-se apenas a metade da geometria do problema físico, sendo a solução rebatida para a outra metade.

5. RESULTADOS OBTIDOS

Estão apresentadas a seguir, a distribuição de temperatura e função corrente para os quatro casos analisados, no plano de corte AA definido na Fig. 2. Com os gráficos torna-se possível a identificação das diferentes zonas de temperatura para cada condição de operação do equipamento.

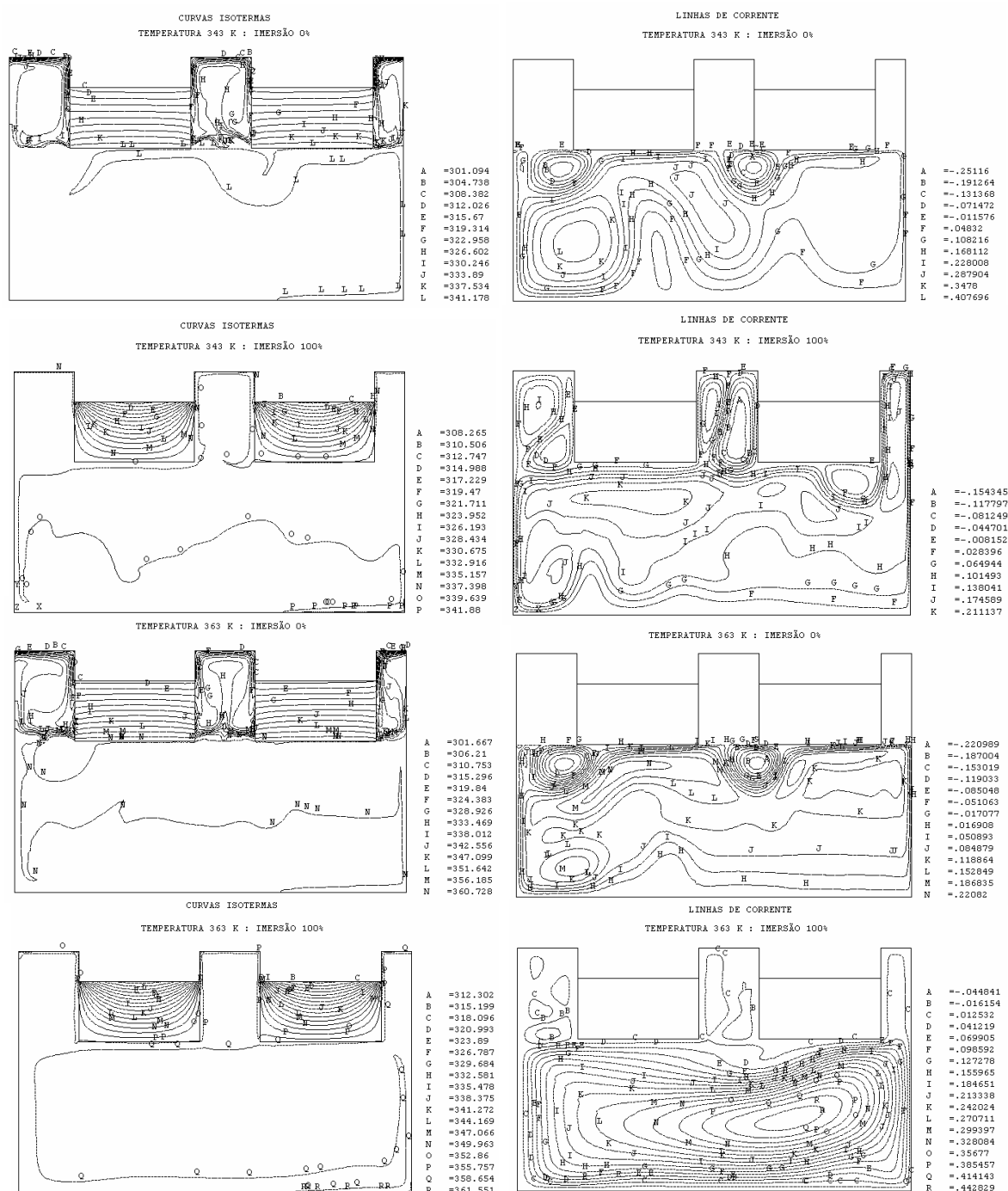


Figura 5. Distribuição de temperatura e linhas de corrente no equipamento

A distribuição vertical de temperatura na simetria, corte B e C, definidos na Fig. 4, estão apresentados a seguir.

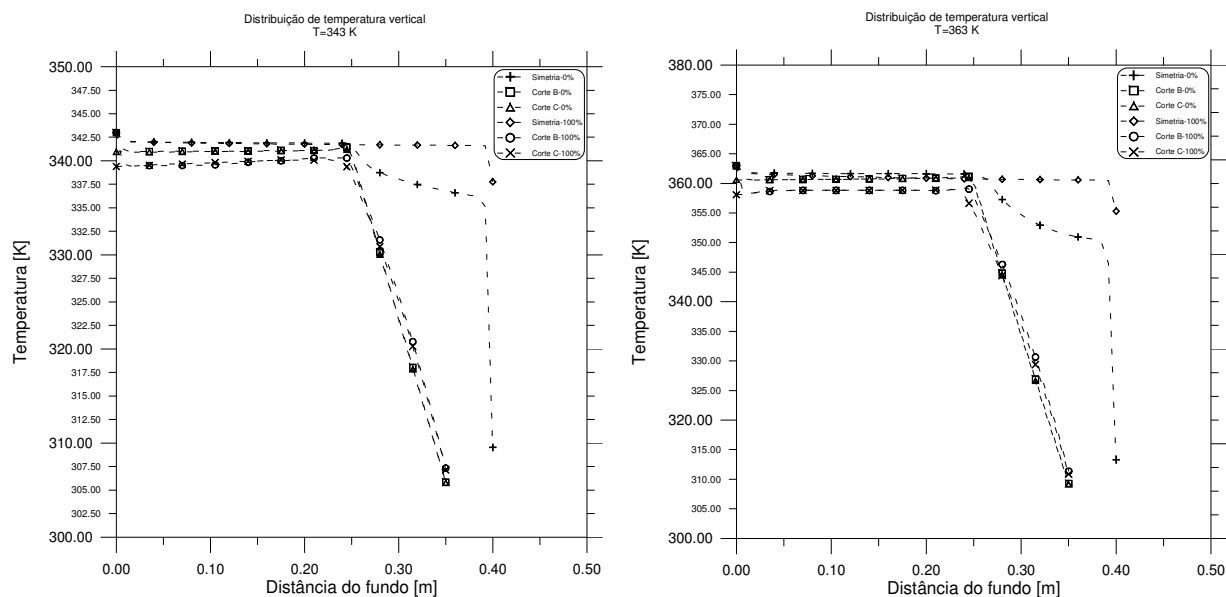


Figura 6. Distribuição vertical de temperatura

Distribuição da temperatura na superfície do alimento

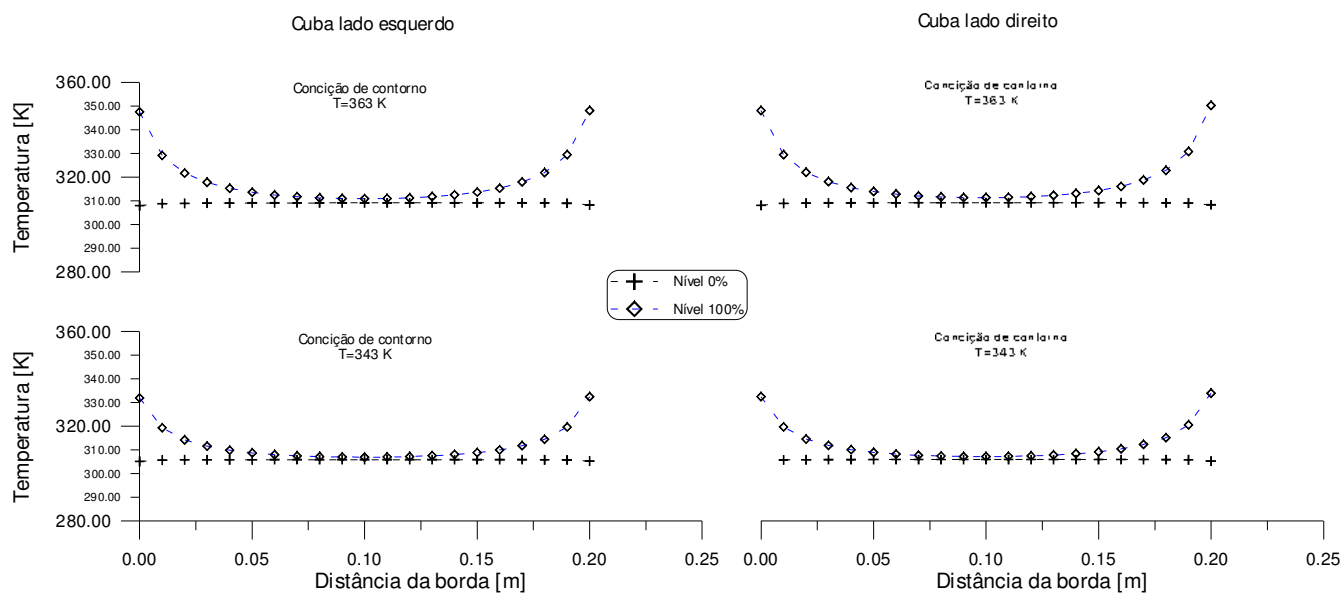


Figura 7. Distribuição da temperatura na superfície do alimento na cuba.

6. CONCLUSÕES

Dois comportamentos distintos podem ser observados em relação a distribuição da temperatura na superfície do alimento. Nos casos onde há 0% de imersão, tem-se que as mais altas temperaturas estão localizadas no centro de cada cuba e caem a medida que se aproxima das paredes. Já nos casos onde tem-se 100% de imersão, o perfil de temperatura está com concavidade contrária, onde as temperaturas mais altas estão nas regiões mais próximas as paredes, e caem a medida que se aproximam do centro da cuba. Isto indica que se for medida a temperatura local com um termômetro de imersão, no primeiro caso seria prudente medi-la o mais próximo da parede, já que é o local mais frio do alimento, e no segundo caso a medição deveria ser feita no centro da cuba.

A prática comum da utilização de baixas temperaturas de aquecimento por questões de economia de energia é uma condição desfavorável ao correto controle da temperatura do alimento, mascarando uma

condição inadequada de conservação. A utilização do baixo nível de água no banho, que também é uma prática bastante comum entre os estabelecimentos, é outro ponto desfavorável a adequada distribuição de temperatura. O baixo nível de água no banho é freqüentemente utilizado pelo fato de que as cubas flutuam a medida que o alimento vai sendo retirado, assim ela fica mais leve e o empuxo da água levanta o recipiente. Mas este fenômeno não deve ser justificativa para utilização do baixo nível de água, e sim uma alternativa melhor, tal como o uso de peso na cuba, deveria ser utilizada para resolver tal inconveniente.

Pôde-se verificar ainda nos resultados apresentados que a posição do termômetro no equipamento não é a mais indicada pelo fato de estar em uma região onde a distribuição de temperatura é mais alta devido ao próprio processo de transferência de calor convectivo, e por isso a leitura não deve ser considerada como a temperatura média do banho, como também não deve ser considerada como a temperatura média do alimento, pois tem-se em alguns casos uma diferença média de temperatura de mais de 40 °C entre o local onde está o termômetro e a temperatura na superfície do alimento. Uma alternativa para melhorar a distribuição de temperatura e minimizar esta diferença, seria a utilização de algum tipo de agitação mecânica no banho.

7. REFERÊNCIAS

- Abdul Ghani, A.G., Farid, M.M., Chen, X.D.; "Numerical Simulation of Transient Temperature and Velocity Profiles in a Horizontal Can During Sterilization Using Computational Fluid Dynamics", *Journal of Food Engineering*, vol. 51, pp. 77-83, 2002.
- Abdul Ghani, A.G., Farid, M.M., Chen, X.D., Richards, P.; "Numerical Simulation of Natural Convection Heating of Canned Food by Computational Fluid Dynamics", *Journal of Food Engineering*, vol. 41, pp. 55-64, 1999.
- Coelho, A. I. M., Vanetti, M. C. D.; "Avaliação Microbiológica de Carnes Preparadas em Restaurante Institucional", *Higiene Alimentar*, São Paulo, v. 8, n. 32, pp. 27-33, 1994.
- Delaplace, G., Torrez, C., Andre, C., Leuliet, J.C., Fillaudeau, L.; "CFD Simulation of Foodstuff Flows in an Agitated Vessel", *Proceedings of the 1st International Conference on Simulation in Food and Bio-industries*, Society of Computer Simulation International, The Netherlands, pp. 179-186, 2000.
- Evangelista, J.; "Tecnologia de alimentos", Rio de Janeiro: Atheneu, 1987. 651 p.
- Farchimn, G.; "Inspección veterinária de los alimentos", Zaragoza: Acribia, 630 p., 1969.
- Ficarella, A., Perago, A., Starace, G., Laforgia, D.; "Thermo-Fluid-Dynamic Investigation of a Dryer, Using Numerical and Experimental Approach", *Journal of Food Engineering*, vol. 59, pp. 413-420, 2003.
- Mirade, P. S.; "Prediction of the Air Velocity Field in Modern Meat Dryers Using Unsteady Computational Fluid Dynamics (CFD) Models", *Journal of Food Engineering*, vol. 60, pp. 41-48, 2003.
- Pardi, M. C., Santos, I. F.; Souza, E. R., Pardi, H. S.; "Ciência, higiene e tecnologia da carne", Goiânia: CEGRAF-UFG / Niterói: EDUFF, 1993. v. 1. 586 p.
- Sarcinelli, M. F., Venturini, K. S., Silva, L. C.; "Características da Carne Bovina", *Boletim Técnico - PIE-UFES:00807* - Editado: 20.08.2007, Universidade Federal do Espírito Santo, 2007.
- Scott, G., Richardson, P.; "The Application of Computational Fluid Dynamics in the Food Industry", *Trends in Food Science & Technology*, vol.8, pp. 119-124, 1997.
- Xia, B., Sun, Da-Wen; "Applications of Computational Fluid Dynamics (CFD) in the Food Industry: a Review", *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 34, pp. 5-24, 2002.