



## **SIMULAÇÃO DE PROCESSOS DA ENGENHARIA QUÍMICA E SUA APLICAÇÃO NO COTIDIANO: COMO FRITAR UM HAMBÚRGUER**

**Ana C. Kosai Fischer** – anakosaif@edu.univali.br  
Universidade do Vale do Itajaí  
Rua Uruguai, n° 458 - Centro  
88302-202 – Itajaí – SC

**Jonathan R. Umeda Adão** – jadao@edu.univali.br

**Luizildo Pitol-Filho** – luizildo@univali.br

**Resumo:** Fritar um hambúrguer pode parecer simples, mas atingir o ponto ideal da carne pode ser um desafio para várias pessoas. Por isso, através de análise e simulação de processos, um modelo matemático foi desenvolvido para quem busca uma maior precisão, levando em consideração os conceitos de Balanço de Massa e Energia, Termodinâmica, Fenômenos dos Transportes de Massa e Energia, Cálculo Numérico, Física e Cálculo. Foram efetuadas simulações para determinar o tempo de preparo de hambúrgueres, para os diferentes pontos da carne (mal passada, ao ponto e bem passada), confrontando-se os resultados com o tempo de cozimento real. Todo o desenvolvimento do cálculo foi realizado com o auxílio da ferramenta Microsoft Office Excel.

**Palavras-chave:** Simulação de processos, Modelo matemático, Hambúrguer.

### **1 INTRODUÇÃO**

A disciplina ‘Análise e Simulação de Processos’ é ministrada na 7ª fase do curso de Engenharia Química da Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI) e contém em sua ementa, entre outros tópicos, a modelagem de processos químicos nos regimes permanente e transiente. A localização desta disciplina nesta etapa da formação discente não foi aleatória, já que, para compreender os fundamentos e aproveitá-la ao máximo, o acadêmico já deve manejar com desenvoltura conceitos dos fenômenos de transferência, das operações unitárias, de balanços materiais e de energia e também de cinética química e de termodinâmica. A metodologia adotada na disciplina é a construção, em sala de aula, de modelos fenomenológicos representativos de diferentes processos (reatores, biorreatores, colunas cromatográficas, entre outros), sendo que cabe aos alunos, divididos em grupos, elaborarem e resolverem modelos de processos que ocorrem no cotidiano e que também podem ser descritos através de balanços e equações constitutivas.

Um processo que poderia ser modelado, por exemplo, é o preparo de hambúrgueres, dado o ascendente número de empreendimentos do tipo Food Trucks destes produtos alimentícios nos últimos tempos. Devido à grande concorrência, a lanchonete que conseguir agradar melhor seus clientes, os fideliza e conseqüentemente faz com que eles deixem de procurar por um hambúrguer melhor. Para isso, uma hamburgueria deve satisfazer os diferentes gostos de seus clientes quanto ao sabor e o ponto da carne. A análise e a simulação de processos químicos

Organização



**UDESC**  
UNIVERSIDADE  
DO ESTADO DE  
SANTA CATARINA



Promoção





pode contribuir para modelar o processo de preparo de hambúrgueres. Assim, é possível estimar a temperatura e o tempo em que os hambúrgueres devem ser virados e retirados da chapa, a fim obter três pontos de cozimento (mal passado, ao ponto e bem passado), empregando os conhecimentos adquiridos nas disciplinas supracitadas.

## 2 OBJETIVO

Determinar o tempo necessário para que o hambúrguer esteja pronto, considerando os diversos tipos de carne (bovina, suína e de aves) e os seus diferentes pontos de preparo (mal passado, ao ponto e bem passado), utilizando apenas conceitos de transferência de calor, dada a complexidade do processo.

## 3 ANÁLISE E SIMULAÇÃO DO PROCESSO

### 3.1 Hipóteses

Para que a simulação do processo seja efetiva, é necessário adotar condições de operação segundo hipóteses pré-estabelecidas, tais como: o processo opera em batelada e regime transiente; a transferência de calor para o hambúrguer ocorre por condução, e desconsidera-se a resistência térmica da chapa; a temperatura na chapa é constante e não ocorre reação química durante o processo, apenas física; o hambúrguer não perde calor pelas suas laterais; as propriedades termofísicas dos componentes da carne são constantes; e, por fim, a modelagem será realizada considerando o hambúrguer como uma placa plana, portanto utilizam-se coordenadas cartesianas para fins de cálculo.

### 3.2 Simulação

Os balanços de massa e energia são essenciais na simulação de um processo e são feitos com o objetivo de fazer com que este seja operado da forma mais econômica e eficiente possível. Para a consolidação dos balanços de massa e energia, os estudos termodinâmicos são essenciais. As propriedades de um material definem a quantidade de energia que pode ser transportada ou transferida por este, a transferência de energia através das fronteiras do sistema é originária da diferença de temperatura entre o sistema e suas vizinhanças, ou da aplicação de uma fonte de calor. Calor este que pode ser transportado pelos mecanismos de condução, convecção e irradiação (MAZZUCCO, 2013).

O balanço de energia em um sistema pode ser representado como:

$$\left[ \begin{array}{c} \textit{Acúmulo} \\ \textit{de Energia} \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{c} \textit{Transferência} \\ \textit{de Energia} \\ \textit{para o sistema} \end{array} \right] - \left[ \begin{array}{c} \textit{Transferência} \\ \textit{de Energia} \\ \textit{para as vizinhanças} \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{c} \textit{Geração/Consumo} \\ \textit{de Energia} \end{array} \right]$$

Sabe-se que o fluxo de calor presente no hambúrguer é descrito pela diferença entre o calor recebido da fonte de calor e o calor fornecido ao ambiente; as propriedades termofísicas são constantes; e aplicando-se a Lei de Fourier para a transferência de calor através de sólidos, o balanço de energia assume a seguinte forma:



$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{k}{\rho \cdot C_p} \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}$$

Onde T representa a temperatura, t é o tempo, z é a posição no hambúrguer, k representa a transferência de calor por condução,  $\rho$  é a massa específica do corpo e  $C_p$  é a sua capacidade calorífica.

### **Condições inicial e de contorno**

A distribuição de temperatura em um meio, assim como o fluxo de calor através deste, depende das condições de contorno e condições iniciais. Para uma equação do tipo diferencial parcial, que visa o conhecimento da distribuição de temperaturas em um componente, dependente do tempo e posição, fazem-se necessárias duas condições de contorno e uma condição inicial (ORDENES; LAMBERTS; GÜTHS, 2008).

Sabendo que no tempo zero a temperatura no hambúrguer é de 20 °C, admite-se esta como condição inicial do processo:

$$T_{inicial} = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

As condições de contorno são aquelas impostas nas fronteiras do sistema, ou seja, para uma transferência unidimensional, são impostas no início e no fim do hambúrguer. Para fritar um hambúrguer é necessário que a chapa esteja a uma temperatura alta antes de iniciar o processo, temperatura esta geralmente igual a 180 °C, então na posição inicial temos:

$$T_{chapa} = 180 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Como o calor recebido pelo sistema é o mesmo calor fornecido à vizinhança, tem-se que a transferência de calor por condução na carne, ao final do hambúrguer, é igual à transferência de calor por convecção ao ambiente:

$$\left. \frac{\partial T}{\partial z} \right|_{z=L} = -\frac{h}{k} \cdot (T_{z=L} - T_\infty)$$

Onde h é a transferência de calor por convecção,  $T_{z=L}$  e  $T_\infty$  são as temperaturas ao final do hambúrguer e do ambiente, respectivamente.

### **3.3 Metodologia de resolução**

A resolução de uma equação diferencial parcial incide no processo de integração através de diferenças-finitas, o qual consiste em aproximar as derivadas através de expressões algébricas em cada um dos pontos de intersecção definidos da discretização. Conforme o balanço de energia aplicado ao processo em questão, discretiza-se cada termo do modelo matemático em suas direções, onde a variação da temperatura com o tempo é dada por uma discretização posterior e a variação com a posição (derivada de segunda ordem) é dada por uma discretização central (INCROPERA & DEWITT, 1998).



Após as discretizações, dividindo-se o hambúrguer em  $n$  intervalos, chega-se às seguintes equações (em que o índice  $i$  representa a posição ao longo do eixo  $z$  e o índice  $j$  representa o tempo):

$$T_{i,0} = 20^{\circ}C$$

$$T_{0,j} = 180^{\circ}C$$

$$T_{i,j+1} = \alpha \cdot T_{i,j} + \beta \cdot T_{i-1,j} + \beta \cdot T_{i+1,j}$$

$$T_{n,j} = \frac{T_{n-1,j}}{(1 + \gamma)} + \frac{\gamma}{(1 + \gamma)} \cdot T_{\infty}$$

Em que:

$$\alpha = \left(1 - \frac{2 \cdot k \cdot \Delta t}{\rho \cdot Cp \cdot \Delta z^2}\right)$$

$$\beta = \left(\frac{k \cdot \Delta t}{\rho \cdot Cp \cdot \Delta z^2}\right)$$

$$\gamma = \left(\frac{\Delta z \cdot h}{k}\right)$$

### 3.4 Parâmetros termofísicos

Para que as equações do balanço de energia sejam satisfeitas, faz-se necessário definir os parâmetros relacionados ao sistema, tais como massa específica, coeficientes de transferência de calor por convecção e condução, comprimento característico, coeficiente de expansão térmica e viscosidade dinâmica. Para tal, o uso dos números adimensionais se torna imprescindível.

O número de Nusselt (Nu) proporciona uma medida da transferência convectiva de calor do fluido na superfície de blocos sólidos. Onde o comprimento característico ( $L$ ) é a razão entre a área e o perímetro do hambúrguer, e igual 0,025 m. Para estimar o número de Nusselt, utiliza-se a correlação deste com o número de Rayleigh (Ra), conforme as condições representadas na Figura 1.

Figura 1 – Relação dos números adimensionais Nusselt e Rayleigh.

#### Convecção natural sobre placa isotérmica horizontal:

Configuração	Regime	Nusselt	Gama Ra	Gama Pr
Placa horizontal aquecida virada para cima (ou arrefecida, para baixo)	Estagnado	$Nu = 1$	$< 10^4$	-
	Laminar	$Nu = 0.54Ra^{1/4}$	$10^4 - 10^7$	-
	Turbulento	$Nu = 0.15Ra^{1/3}$	$10^7 - 10^{11}$	-
Placa horizontal aquecida virada para baixo (ou arrefecida, para cima)	Laminar	$Nu = 0.27Ra^{1/4}$	$10^5 - 10^{11}$	-

(dimensão característica  $L = A/P$ ,  $A$  -área,  $P$  -perímetro; propriedades a  $T_f = 0.5(T_s + T_{\infty})$ )

Fonte: Oliveira (2014).



O número de Rayleigh é uma medida do balanço entre as forças que promovem a convecção e as que se lhe opõem, dado pela aceleração da gravidade ( $g$ ), o coeficiente de expansão volumétrica ( $\beta$ ), a diferença de temperatura entre a placa e o fluido ( $\Delta T$ ), o espaçamento entre as placas ( $L$ ), a viscosidade cinemática ( $\nu$ ) e a difusividade térmica ( $\alpha$ ).

Outra forma de calcular o número Rayleigh é relacionando-o com os números adimensionais de Grashof ( $G_L$ ) e Prandtl ( $Pr$ ). O número de Prandtl aproxima a viscosidade cinemática e a difusividade térmica de um fluido, expressando a relação entre a difusão de quantidade de movimento e a difusão de quantidade de calor dentro do próprio fluido, cujo valor é igual a 0,7075 para 300 K (INCROPERA; DEWITT, 1998). Grashof é a relação entre a sustentação de um fluido e a sua viscosidade dinâmica ( $\mu$ ), calculado através da equação do coeficiente de expansão térmica, o qual é aproximadamente o inverso da temperatura de trabalho e igual a 0,0034 K<sup>-1</sup>.

As propriedades termofísicas do fluido (ar) e da carne utilizados na simulação estão dispostos a seguir no Quadro 1 (BEJAN, 1996).

Quadro 1 – Propriedades termofísicas do ar e da carne.

$h_{ar} =$	$23,6 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$
$k_{carne} =$	$0,436 \text{ W/m} \cdot \text{°C}$
$Cp_{carne} =$	$3190 \text{ J/kg} \cdot \text{°C}$
$\rho_{carne} =$	$985,8 \text{ kg/m}^3$

Dispondo das constantes citadas, é possível calcular o número de:

$$G_L = \frac{\rho^2 \cdot g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot L^3}{\mu^2}$$

$$G_L = 10782,45$$

O número de Rayleigh pode ser obtido por:

$$Ra = G_L \cdot Pr$$

$$Ra = 7635,38$$

Como  $Ra$  é um valor de ordem menor que 104, admite-se que o número de Nusselt é igual a 1, e assim:

$$h = \frac{Nu \cdot k_{\text{água}}}{L}$$

$$h = 23,6 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

O coeficiente de transferência de calor por convecção encontrado situa-se em uma faixa de valores que se considera como um processo natural, de acordo com a Figura 2.



Figura 2 – Coeficientes de convecção natural e forçada para diversos fluidos.

PROCESSO		<b>h</b> [ W / m <sup>2</sup> .K ]
CONVECÇÃO NATURAL	Ar	5 - 30
	Gases	4 - 25
	Líquidos	120 - 1.200
	Água, líquida	20 - 100
	Água em ebulição	120 - 24.000
CONVECÇÃO FORÇADA	Ar	30 - 300
	Gases	12 - 120
	Líquidos	60 - 25.000
	Água, líquida	50 - 10.000
	Água em ebulição	3.000 - 100.000
	Água em condensação	5.000 - 100.000

Fonte: Boabaid Neto (2010).

Segundo Sanz, Dominguez e Mascheroni (1989), a carne bovina possui um coeficiente médio de condução térmica proporcional à sua composição, relacionada pela equação a seguir:

$$k = 0,60.Xw + 0,20.Xp + 0,245.Xc + 0,18.Xf$$

Onde Xw é a fração de água, Xp é a fração de proteína, Xc é a fração de carboidratos e Xf é a fração de gordura na carne.

Considerando que o hambúrguer é composto por 20% de água e 80% de carne, onde ainda 25% é proteína e o restante é água, e desconsiderando as frações de carboidratos e de gordura desprezíveis para o caso, estima-se que:

$$k = 0,60 * 0,60 + 0,20 * 0,04 + 0,18 * 0,036$$

$$k = 0,436 \text{ W/m} \cdot \text{K}$$

Para determinar o tempo em que o hambúrguer estará pronto para consumo, deve-se levar em consideração também o ponto em que se deseja a carne (mal passada, ao ponto ou bem passada). O estado final da carne é determinado pela temperatura no centro do hambúrguer, a qual se situa entre 52 e 55 °C quando mal passada, entre 60 e 65 °C para estar ao ponto e a carne bem passada tem seu centro acima de 71 °C.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A resolução da simulação foi realizada com o auxílio da ferramenta Microsoft Office Excel, e os resultados se encontram nos Quadros 2 à 4 a seguir. Analisou-se o hambúrguer dividindo-o em 10 partes iguais ( $\Delta z = 0,0030 \text{ m}$ ) e observando o comportamento a cada 10s.



Quadro 2 – Simulação para um hambúrguer mal passado.

MAL PASSADO		i										
t (min)	j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,00	0	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
1,00	6	180,00	90,82	40,21	23,52	20,34	20,01	20,00	20,02	20,10	20,40	21,04
2,00	12	180,00	115,21	66,12	37,87	25,47	21,31	20,27	20,14	20,29	20,67	21,27
3,00	18	180,00	126,65	82,25	51,46	33,67	25,10	21,68	20,64	20,55	20,88	21,45
3,83	23	180,00	132,64	91,59	60,75	40,66	29,32	23,81	21,58	20,97	21,11	21,65
4,00	24	180,00	21,17	21,08	21,83	24,32	30,22	42,01	62,41	93,16	133,61	118,44
5,00	30	180,00	97,54	47,19	29,23	28,49	35,74	49,29	68,77	89,50	100,02	89,54
6,00	36	180,00	118,74	72,11	46,10	37,98	42,03	53,49	68,15	80,59	84,57	76,25
7,00	42	184,00	130,48	88,53	61,48	49,29	48,98	56,15	65,99	73,61	74,93	67,95
7,50	45	187,00	135,70	95,18	68,14	54,68	52,41	57,38	65,02	70,85	71,31	64,84

Quadro 3 – Simulação para um hambúrguer ao ponto.

AO PONTO		i										
t (min)	j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,00	0	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
1,00	6	180,00	90,82	40,21	23,52	20,34	20,01	20,00	20,02	20,10	20,40	21,04
2,00	12	180,00	115,21	66,12	37,87	25,47	21,31	20,27	20,14	20,29	20,67	21,27
3,00	18	180,00	126,65	82,25	51,46	33,67	25,10	21,68	20,64	20,55	20,88	21,45
4,00	24	180,00	133,61	93,16	62,41	42,01	30,22	24,32	21,83	21,08	21,17	21,70
5,00	30	180,00	138,41	101,13	71,18	49,61	35,70	27,72	23,69	22,04	21,71	22,17
6,00	36	180,00	92,27	43,35	29,53	31,82	41,09	56,21	76,98	99,01	110,30	98,38
7,00	42	180,00	117,07	70,51	46,32	40,65	46,91	60,12	76,12	89,39	93,32	83,78
8,00	48	180,00	129,19	88,12	62,31	51,92	53,53	62,37	73,42	81,63	82,73	74,66
9,00	54	184,00	137,64	100,59	75,33	62,46	60,07	64,44	71,11	75,82	75,34	68,31

Quadro 4 – Simulação para um hambúrguer bem passado.

BEM PASSADO		i										
t (min)	j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,00	0	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
1,00	6	180,00	90,82	40,21	23,52	20,34	20,01	20,00	20,02	20,10	20,40	21,04
2,00	12	180,00	115,21	66,12	37,87	25,47	21,31	20,27	20,14	20,29	20,67	21,27
3,00	18	180,00	126,65	82,25	51,46	33,67	25,10	21,68	20,64	20,55	20,88	21,45
4,00	24	180,00	133,61	93,16	62,41	42,01	30,22	24,32	21,83	21,08	21,17	21,70
5,00	30	180,00	138,41	101,13	71,18	49,61	35,70	27,72	23,69	22,04	21,71	22,17
6,00	36	180,00	141,98	107,26	78,33	56,33	41,08	31,48	26,06	23,44	22,59	22,93
6,50	39	180,00	143,45	109,84	81,44	59,39	43,67	33,42	27,38	24,29	23,17	23,43
7,00	42	180,00	64,57	28,94	28,76	35,36	46,17	62,25	84,29	110,92	130,01	115,34
8,00	48	180,00	108,75	61,17	41,76	41,38	51,11	66,69	85,27	101,48	106,97	95,52
9,00	54	180,00	125,30	82,94	58,89	51,87	56,95	68,80	82,38	92,39	93,88	84,26
10,00	59	180,00	133,48	95,48	71,13	61,01	62,19	70,11	79,76	86,38	86,23	77,67
11,00	66,00	180,00	141,22	108,19	84,83	72,32	69,18	72,10	77,02	80,08	78,44	70,98
11,33	68,00	182,00	143,10	111,10	88,11	75,17	71,03	72,72	76,47	78,67	76,69	69,47



Para fins apenas visuais, as células em azul representam as temperaturas no hambúrguer antes de virá-lo e as células de cor laranja indicam o comportamento após a viragem. As células destacadas na planilha em vermelho sinalizam que o hambúrguer está pronto e na temperatura necessária.

Segundo os resultados obtidos, o hambúrguer mal passado deve ser virado em 3 minutos e 50 segundos, quando a temperatura média central atinge  $31,26\text{ }^{\circ}\text{C}$ , e retirado da chapa após 7 minutos e 30 segundos, com temperatura média central de  $54,83\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Já o hambúrguer ao ponto deve ser virado em 5 minutos, quando a temperatura média central atinge  $37,68\text{ }^{\circ}\text{C}$ , e retirado da chapa após 9 minutos, com temperatura média central de  $62,32\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Enquanto que o hambúrguer bem passado deve ser virado em 6 minutos e 30 segundos, quando a temperatura média central atinge  $45,49\text{ }^{\circ}\text{C}$ , e retirado da chapa após 11 minutos e 20 segundos, com temperatura média central de  $72,97\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Como já esperado, o hambúrguer bem passado demorará mais tempo que aquele ao ponto para ficar pronto, e este por sua vez demorará mais que o hambúrguer mal passado. Visando demonstrar praticamente se os resultados obtidos estão coerentes, fez-se um teste em uma chapa do tipo Grill Jumbo GBZ6 (George Foreman) com 1170 W de potência, monitorando a constância da temperatura (aproximadamente  $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) desta ao longo do tempo. Os resultados obtidos estão evidenciados nas Figuras 3 à 5 e provam a veracidade da simulação efetuada.

Tal como na simulação, os hambúrgueres estavam a uma temperatura inicial de  $20,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Figura 3 – Hambúrguer mal passado.



Obteve-se segundos dados experimentais, a viragem do hambúrguer em 3 minutos e 50 segundos, momento em que a temperatura estava em  $29,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , e retirado da chapa em 7 minutos e 30 segundos, com temperatura central de  $53,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Figura 4 – Hambúrguer ao ponto.





O hambúrguer ao ponto foi virado em 5 minutos e 11 segundos, tempo em que a temperatura central estava em 35,8 °C, e retirado da chapa em 8 minutos e 58 segundos, com temperatura central de 61,7 °C.

Figura 5 – Hambúrguer bem passado.



Como previsto na simulação, o hambúrguer bem passado foi virado em 6 minutos e 37 segundos, quando a temperatura central atingiu 43,9 °C, e retirado da chapa em 11 minutos e 25 segundos, com temperatura central de 70,9 °C.

O experimento prático foi realizado para testar os dados encontrados na modelagem. Para isso, as condições iniciais e de contorno foram obedecidas durante o preparo do hambúrguer. Os tempos e temperaturas tanto de virar quanto de retirar o hambúrguer foram muito próximas aos dados encontrados na simulação.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar das hipóteses adotadas para a realização da simulação, tais como fluxo de calor avaliado através de coordenadas cartesianas, desprezar a troca de calor pelas extremidades do hambúrguer, a ocorrência de condução de calor instantânea pela fonte de calor, e a consideração das propriedades termofísicas constantes, os resultados obtidos teoricamente foram bem próximos do real, concluindo assim que as suposições admitidas realmente não influenciaram no resultado final.

Analisando os tipos de carnes dos hambúrgueres, foi possível determinar que o tempo de cozimento é diretamente proporcional às propriedades termofísicas dos alimentos, isto, é, espera-se um menor tempo de cozimento menor quando tem-se uma menor massa específica, e o um maior tempo de cozimento quando o calor específico do alimento é maior.

Por fim, além de hamburguerias, quaisquer pessoas podem utilizar a simulação realizada nesse trabalho como base para o preparo dos seus próprios hambúrgueres.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEJAN, Adrian. **Transferência de Calor**. São Paulo: Edgard Blücher, 1996.

BOABAID NETO, Carlos. **TRANSFERÊNCIA DE CALOR (TCL)**. São José: Instituto Federal de Santa Catarina, 2010. 21 p.

INCROPERA, Frank P., DEWITT, David P. **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa**. 3 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1998.

Organização



Promoção





MAZZUCCO, Marcos Marcelino. **INTRODUÇÃO AOS BALANÇOS DE MASSA E ENERGIA**. 2013.

OLIVEIRA, P. J. **Transmissão de Calor – Convecção natural**. Covilhã: Universidade da Beira Interior, 2014. 10 p.

ORDENES, Martin; LAMBERTS, Roberto; GÜTHS, Saulo. **TRANSFERÊNCIA DE CALOR NA ENVOLVENTE DA EDIFICAÇÃO**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2008. 41 p.

## **CHEMICAL ENGINEERING PROCESS SIMULATION AND ITS APPLICATION IN EVERYDAY SITUATIONS: HOW TO PREPARE A HAMBURGER**

**Abstract:** *The preparation of hamburgers may look easy, but the different gradations of cooking could be a challenge even for experienced chefs. Therefore, through analysis and process simulation, a mathematical model was derived for those who require more precision while preparing a rare, a medium or a well done burger, by taking into account Mass and Energy Balances, Thermodynamics, Transport Phenomena, Numerical Calculus, Physics and Calculus. Numerical simulations were done to determine the preparation time for different gradations of meat doneness (rare, medium and well done) and results were compared to real preparation times. All the calculations were done by using Microsoft Office Excel.*

**Key-words:** *Process simulation, Mathematical model, Hamburger.*