

ESTUDO DO PROCESSO DE FUSÃO TÉRMICA EM MEIO POROSO PLANO SATURADO

Marcelo Modesto Silva – mmodsil@fem.unicamp.br

Kamal A.R. Ismail - kamal@fem.unicamp.br

Departamento de Engenharia Térmica e Fluídos

Faculdade de Engenharia Mecânica

Universidade Estadual de Campinas

C. Postal 6122 Cep 13083-970 – Cidade Universitária Campinas S.P. – Brasil

***Resumo.** A mudança de fase em meios porosos saturados possui uma vasta gama de aplicações em problemas de engenharia. Este trabalho tem por objetivo estudar a mudança de fase em uma camada porosa submetida a condições de contorno de temperatura constante e fluxo de calor. Modelou-se o problema em uma geometria plana, unidimensional, em que se aplica em dos contornos da camada porosa temperatura imposta e taxas de fluxo de calor. A equação governante do processo é a equação da energia na forma transiente, sendo resolvida considerando-se que a transferência de calor é feita exclusivamente por condução, desprezando-se os efeitos da convecção natural pelo fato da presença do meio poroso. A simulação numérica foi baseada no método de volumes de controle em diferenças finitas, usando-se um esquema de malhas móveis e a formulação implícita de Crank-Nicholson. A condição de contorno de fluxo de calor é analisada utilizando-se fluxo de calor constante e variável com o tempo. Os modelos para a variação da temperatura ambiente e da incidência de radiação solar são obtidos na literatura. A simulação numérica possibilita a análise do comportamento da interface sólido-líquido, em função da variação da porosidade e de diferentes taxas de fluxo de calor constante e variável.*

***Palavras-chave:** mudança de fase, meios porosos*

1. INTRODUÇÃO

O processo de mudança de fase é um fenômeno que ocorre em diversas aplicações de engenharia. O meio poroso geralmente é constituído de uma matriz porosa e um material de mudança de fase (PCM) que pode estar na fase líquida, sólida ou gasosa. A transferência de calor pode ocorrer por condução pura, convecção natural na fase líquida ou ainda uma combinação destes com radiação. Ainda podem existir transferência de massa combinada com a transferência de calor. Alguns exemplos de aplicações são: congelamento e fusão de camadas superficiais de solo; construção de túneis e fundações; conservação de alimentos; criocirurgia e criopreservação; armazenamento de calor latente e outros. Os modelos que resolvem problemas de mudança de fase em meios porosos saturados, incluem desde condução pura até a presença de convecção natural e gradientes de concentração de soluto, no

caso de meios porosos saturados com soluções. Fatores como a convecção natural influem no formato e no crescimento da interface. Os trabalhos existentes na literatura, incluem o estudo de modelos com condições de contorno de temperatura constante em geometrias planas e cilíndricas, diferentes propriedades termofísicas, presença de meios porosos saturados com soluções aquosas e diferentes índices de porosidade. O número de soluções analíticas exatas ou aproximadas é limitado a alguns casos e condições específicas. A utilização de métodos numéricos que possibilitam a resolução de problemas mais complexos, é largamente utilizada. Os trabalhos de Alexiades e Solomon (1993), Ozisik (1993) e Ismail (1999) possuem uma abordagem abrangente dos problemas de mudança de fase, apresentando as soluções analíticas mais utilizadas e os métodos numéricos que foram desenvolvidos para a resolução do problema e as aplicações do processo de mudança de fase.

Os problemas de mudança de fase em meio poroso e suas aplicações encontrados na literatura são muitos. Estudos sobre: congelamento de solos (Berggren, 1943, Lunardini, 1981), construção de fundações e túneis (Sanger, 1968), armazenadores de calor latente (ME Staff, 1983), conservação de alimentos (Albin et. al, 1982) e na metalurgia (Fisher, 1981) são exemplos de trabalhos publicados na literatura que abordam a mudança de fase em meio poroso. Podem ser citados alguns trabalhos mais específicos como o de Weaver e Viskanta (1986) que corresponde a um estudo analítico e experimental em cápsula cilíndrica preenchida com meio poroso (esferas de vidro e alumínio), considerando somente condução pura e utilizando conceito de propriedades efetivas para introduzir a influência do meio poroso. O congelamento de líquidos em meio poroso, supondo a existência somente de condução, foi estudado por Chellaiah & Viskanta (1988), seu modelo unidimensional, permitiu verificar a influência de diferentes temperaturas impostas, níveis de superaquecimento do líquido e diferentes tamanhos de partículas do meio poroso. a condutividade e a capacidade térmica do meio foram determinadas através do conceito de propriedades efetivas. Os efeitos da convecção natural na mudança de fase do meio poroso gálio/esferas de vidro são apresentados por Beckermann e Viskanta (1988) através da análise numérica e experimental, usando um modelo unidimensional, baseado no método entálpico, com uso de propriedades efetivas, considerando a presença de convecção natural na região líquida. Sasaki et.al (1990) investigaram numericamente o congelamento de água em meios porosos, seu modelo bidimensional, utiliza condições de contorno de temperatura constante, uma transformação de coordenadas para seguir o contorno móvel e o método de diferenças finitas em volumes de controle e métodos de sobre-relaxação para resolução das equações governantes. A solidificação em meios porosos saturados com solução aquosa de NaCl foi estudada por Matsumoto et. al (1993) analítica e experimentalmente, considerando um problema bidimensional, com a presença de convecção natural e gradientes de concentração de soluto, supondo que a permeabilidade do meio fosse o fator dominante na mudança de fase, representando-a por uma expressão em função de potências da porosidade. Sasaguchi e Takeo (1994) analisaram a fusão em um meio poroso contido em uma geometria plana aletada, a distribuição de temperatura, linhas de corrente, a forma e a velocidade da interface e o número de Nusselt para diferentes orientações da superfície aquecida são comparadas, a análise mostrou que a taxa de fusão é maior com a fusão iniciando-se de baixo para cima, enquanto que os efeitos das aletas são mais significativos para o caso de fusão iniciando-se de cima para baixo. O trabalho de Pimentel (1995) estuda a mudança de fase em meios porosos constituídos de materiais metálicos e não-metálicos, usando um modelo numérico unidimensional, puramente condutivo, baseado no método das diferenças finitas explícito, faz uma análise da influência da variação da porosidade, a existência de condições de contorno de convecção natural e forçada e o uso de materiais metálicos e não-metálicos. Chang e Yang (1996) produziram uma simulação numérica da fusão em um meio poroso em uma cavidade retangular, utilizando o método SIMPLEC. Neste trabalho eles definem um parâmetro não

linear em função da diferença entre as temperatura quente e fria das paredes da cavidade e da temperatura de máxima densidade, relacionando a influência desse parâmetro e do número de Darcy, na forma e velocidade da interface, nas linhas de corrente e no campo de temperatura, também estima a variação do número de Nusselt nas paredes da cavidade em função do tempo para diferentes números de Darcy. Machie et. al (1999) fizeram um estudo da solidificação de um meio poroso contido numa cavidade retangular submetida a condições de contorno de temperatura constante e convecção. Utilizando uma solução analítica para a resolução do problema de mudança de fase, que considera a presença de convecção natural na região líquida. Sua análise é feita buscando a determinação do valor máximo do produto do número de Rayleigh e o número de Darcy, para o início da convecção natural, em função de parâmetros como espessura da camada solidificada e diferentes índices de permeabilidade e o número de Biot. Os trabalhos encontrados na literatura, tratam do problema de mudança de fase em meios porosos utilizando condições de contorno de temperatura constante, mas não tratam do problema quando a fusão é feita utilizando-se condições de contorno de fluxo de calor constante ou variável. Este trabalho procura desenvolver um modelo numérico para o problema de mudança de fase em meios porosos planos, finitos, saturados, utilizando um modelo puramente condutivo, unidimensional, com condições de contorno de temperatura imposta (T_0) e fluxo de calor constante (Q) e variável ($Q(t)$). O modelo é validado através da comparação dos seus resultados com os de uma solução analítica obtida na literatura. São feitas simulações numéricas em uma camada porosa constituída de areia/água, verificando a influência da variação da temperatura imposta, porosidade (ϵ), diferentes taxas de fluxos de calor constante e variável (com condições de contorno de troca de calor por convecção com o ambiente e a combinação desta com a incidência de radiação solar).

2. MODELAMENTO MATEMÁTICO

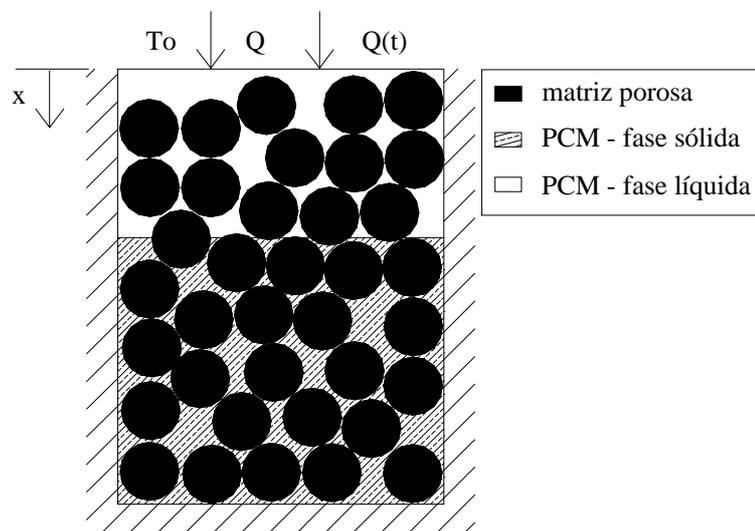


Figura1 Configuração básica do problema.

Considere uma camada porosa, plana, finita, com espessura d , preenchida com matriz porosa e um PCM, constituindo assim um meio poroso. A camada porosa encontra-se inicialmente a uma temperatura T_i , menor que a temperatura de mudança de fase do PCM, T_m . Subitamente o contorno superior da camada porosa pode ser submetido: a uma temperatura constante T_0 maior que T_m , fluxo de calor constante ou variável com o tempo, iniciando-se um processo de fusão a partir do contorno superior e a formação de duas regiões: sólida e líquida. As regiões são delimitadas por uma interface sólido-líquido, considerada fina e bem

definida, deslocando-se na direção positiva do eixo x e com temperatura igual a de mudança de fase T_m . O contorno inferior é mantido isolado termicamente durante todo o processo. A influência do meio poroso é considerada através de uma análise macroscópica e o conceito de propriedades efetivas. A Fig. 1, mostra a geometria do problema. A equação governante do processo é a equação da energia, que pode ser escrita de forma simplificada.

2.1. EQUAÇÕES GOVERNANTES

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) \quad (1)$$

As hipóteses para simplificação da equação da energia expressa na Eq.(1) são: regime transiente e unidimensional, fluido incompressível e estacionário, ausência de geração interna de energia, propriedades termofísicas isotrópicas e constantes, a matriz porosa e o PCM estão em equilíbrio térmico ponto a ponto, a transferência de calor dá-se unicamente por condução pura e ausência de convecção natural. Uma consideração importante é o fato do modelo utilizado, considerar que a transferência de calor dá-se unicamente por condução, não considerando a existência de convecção natural na região líquida. A existência da matriz porosa na camada porosa inibe o movimento das partículas de líquido, dificultando a formação de correntes convectivas no interior da camada porosa. Os estudos de Beckermann e Viskanta (1988) e Chellaiah e Viskanta (1988) fazem a análise da influência da convecção natural na mudança de fase em meio poroso. A presença de convecção natural na região líquida altera o formato e a velocidade da interface sólido-líquido, em meios porosos que são constituídos de matrizes porosas de dimensões reduzidas, a convecção natural é muito pequena podendo ser desprezada. A utilização de meios porosos com partículas de pequenas dimensões, torna os espaços vazios entre as partículas de matriz porosa reduzidos, restringindo a possibilidade de formação de fluxos convectivos, fazendo com que a convecção natural seja muito pequena, podendo ser desprezada. A equação da energia é aplicada nas regiões sólida e líquida do PCM:

Região sólida

$$\rho_s c_{ps} \frac{\partial T_s}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_s \frac{\partial T_s}{\partial x} \right) \quad (2)$$

Região líquida

$$\rho_l c_{pl} \frac{\partial T_l}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_l \frac{\partial T_l}{\partial x} \right) \quad (3)$$

Interface sólido-líquido

Na interface é feito um balanço de energia entre as duas fases. A energia necessária para ocorrer à mudança de fase flui através da interface. Tal energia é obtida pela diferença entre os fluxos de calor da fase sólida e líquida que é igual à taxa de variação de entalpia de massa solidificada ou fundida, por unidade de área da interface, logo:

$$k_s \frac{\partial T_s(S(t), t)}{\partial x} - k_l \frac{\partial T_l(S(t), t)}{\partial x} = \rho_s L \frac{dS(t)}{dt} \quad (4)$$

Onde: ρ_s é a densidade do PCM na fase sólida e L a entalpia específica de solidificação/fusão.

Com as seguintes condições de contorno:

Região líquida: $0 < x < S(t)$

Região sólida: $S(t) < x < d$

$$T_1(0, t) = T_o \quad \text{temperatura constante} \quad (5)$$

ou

$$-k_1 \frac{\partial T(0, t)}{\partial x} = G \quad x = 0 \quad t > 0 \quad (6)$$

onde

$$G = \begin{cases} Q & \text{fluxo de calor constante} \\ Q(t) & \text{fluxo de calor variável} \end{cases} \quad (7)$$

onde $Q(t) = IA - h_c(T_{\text{sup}} - T_A(t)) - \gamma\sigma(T_{\text{sup}}^4 - T_A^4(t))$

$$\frac{\partial T_s(d, t)}{\partial x} = 0 \quad x = d \quad t > 0 \quad (8)$$

$$T_s(x, 0) = T_i \quad 0 < x < d \quad t = 0 \quad (9)$$

$$T_s(x, t) = T_1(x, t) = T_m \quad x = S(t) \quad t > 0 \quad (10)$$

Na Eq.(7) no caso de fluxo de calor variável, I define a taxa de incidência de radiação solar que atinge a camada porosa; o termo “A” define a absorptância, que estima a quantidade de energia que é absorvida pela camada porosa. A perda de calor por convecção é definida por $h_c(T_{\text{sup}} - T_A(t))$ e a perda por radiação por $\gamma\sigma(T_{\text{sup}}^4 - T_A^4(t))$, onde h_c é o coeficiente de transferência de calor convectivo, γ estima a emissividade da camada porosa, σ a constante de Stefan-Boltzmann e T_{sup} e $T_A(t)$ as temperaturas respectivamente na superfície da camada porosa e do ambiente. A absorptância e a emissividade são estimadas em função do material da matriz porosa. O valor de I e da temperatura ambiente $T_A(t)$ variam com o tempo. Essas variações levam a variações no fluxo de calor por convecção e radiação, para a camada porosa levando a existência de um fluxo de calor variável com o tempo. O método para a obtenção da incidência de radiação solar e da temperatura ambiente podem ser encontrados em Silva (2000).

2.2. MEIO POROSO

A influência que o meio poroso exerce no processo é considerada através do conceito de propriedades efetivas. Considera-se uma análise macroscópica, onde o meio matriz porosa/fluido é considerado contínuo, permitindo a aplicação das leis macroscópicas da conservação. Essa análise permite considerar as propriedades termofísicas das regiões sólida e

líquida como uma ponderação entre as propriedades do PCM nas fases sólida e líquida e o material sólido, as propriedades efetivas são definidas em função da porosidade. Porosidade é definida como a fração em volume de fluido em relação ao volume total da amostra, ou seja:

$$\varepsilon = \frac{V_f}{V_T} \quad (11)$$

onde V_f é o volume ocupado pelo fluido e V_T é o volume total da amostra. A densidade e o calor específico efetivos são determinados usando-se as seguintes expressões, respectivamente, usadas por Pimentel (1995):

$$\rho_{s,l}^* = \rho_{mp}(1-\varepsilon) + \varepsilon\rho_{s,l} \quad (12)$$

$$c_{p,s,l}^* = c_{p,mp}(1-\varepsilon) + \varepsilon c_{p,s,l} \quad (13)$$

onde o subscrito "s,l" representam respectivamente o PCM nas suas fases sólida e líquida e "mp" o matriz porosa, enquanto que o sobrescrito "*" propriedade efetiva. A condutividade térmica efetiva é descrita pela correlação proposta por Chang (1990)

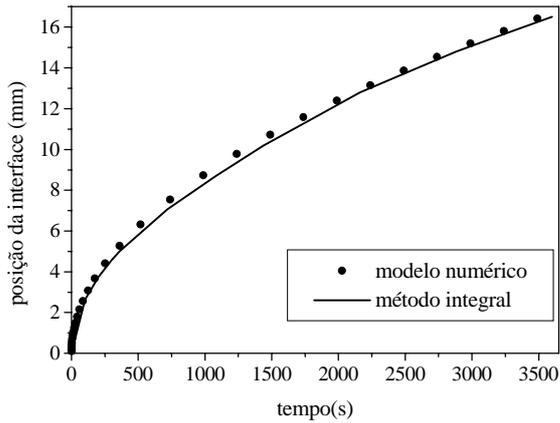
$$k_{s,l}^* = \frac{k_{s,l}[k_{s,l} + k_{mp} - (1-\varepsilon)(k_{s,l} - k_{mp})]}{k_{s,l} + k_{mp} + (1-\varepsilon)(k_{s,l} - k_{mp})} \quad (14)$$

Os valores das propriedades efetivas são obtidas, substituindo-se os valores para a matriz porosa e o fluido separadamente e obtendo-se então um valor efetivo do meio poroso matriz porosa/fluido para cada região: sólida ou líquida. Os valores efetivos são aplicados nas equações diferenciais e ainda é feita uma consideração na Eq.(4) referente ao balanço de energia na interface. O termo à direita da equação é substituído pela Eq.(15) onde o termo $(\rho_f \varepsilon)$ representa a densidade do fluido (não efetiva) presente na amostra.

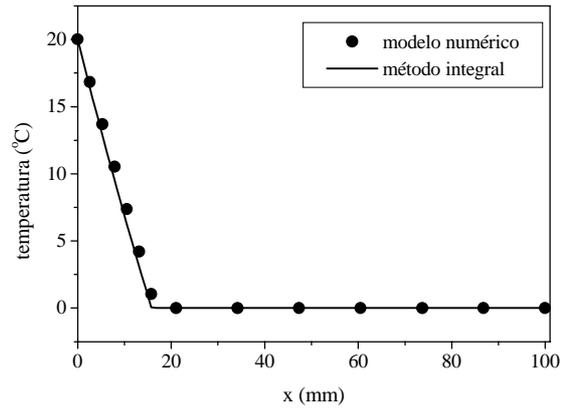
$$(\rho_f \varepsilon)L \frac{dS(t)}{dt} \quad (15)$$

3. SOLUÇÃO NUMÉRICA

Para se obter a solução das equações diferenciais que resolvem a distribuição de temperatura e a posição da interface, desenvolveu-se um modelo numérico, usando o esquema de malhas móveis, através do método de diferenças finitas em volumes de controle proposto por Patankar (1980) usando formulação implícita de Cranck-Nicholson. O modelo numérico é testado para diferentes números de pontos da malha e o intervalo de tempo, chegando a um valor de 20 pontos nodais da malha e intervalo de tempo de 1s, visando uma boa relação entre a precisão dos resultados e o tempo computacional gasto para a execução dos cálculos. O modelo numérico é validado pela comparação com uma solução analítica conhecida. Tal solução é obtida através do método integral, como mostrado em Ismail (1999). A Fig.2 mostra a comparação dos resultados numéricos com os resultados analíticos, para a fusão de uma camada de gelo ($\varepsilon = 1$), com temperatura imposta no contorno de 20°C e temperatura inicial igual a de mudança de fase (0°C), para um tempo de 3600s e uma camada de gelo de 0.1m.



a) posição da interface(mm) *versus* tempo(s)



b) distribuição de temperatura

Figura 2 Comparação do modelo numérico com solução analítica obtida do método integral.

4. DISCUSSÃO

Simulando o processo de fusão em uma camada porosa constituída de areia e água, foi analisada a posição da interface em função da variação dos parâmetros: temperatura imposta, porosidade, fluxos de calor constante e fluxo de calor variável, neste caso considerando que o contorno troque calor com o ambiente por convecção e também pela combinação desta com a incidência de radiação solar. As condições da simulação são: temperatura inicial (-2°C), espessura ($d = 0.3\text{m}$), tempo de simulação ($t = 7200\text{s}$), para o caso de temperatura imposta e fluxo de calor constante e um período de 12 horas par o caso de fluxo de calor variável. A Fig. 3 mostra a posição da interface em função da temperatura imposta no contorno. O aumento da temperatura imposta leva a um aumento da posição alcançada pela interface. A temperatura maior no contorno implica numa maior diferença de temperatura entre o contorno e a camada porosa na temperatura inicial, aumentando assim a quantidade de energia transferida para a camada porosa aumentando a posição alcançada pela interface. O comportamento da posição da interface em função da porosidade é mostrado na Fig. 4, o modelo proposto faz uma estimativa dos valores das propriedades termofísicas da camada porosa entre os valores da areia e da água através do conceito de propriedades efetivas baseado na porosidade, devido a difusividade térmica da areia ser maior que a da água, a adição de areia à camada porosa o que diminui a porosidade, aumentando a difusividade térmica do meio e a posição da interface o que favorece o processo de fusão.

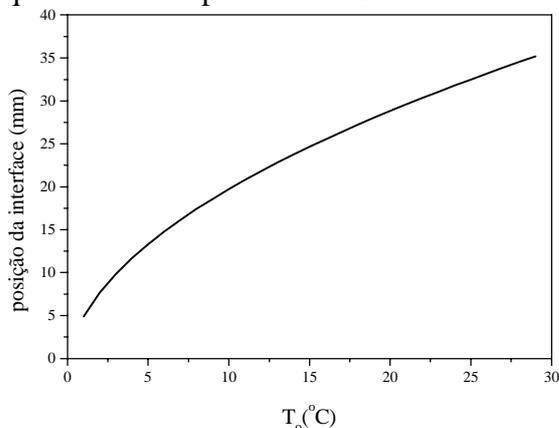


Figura 3 Posição da interface *versus* temperatura imposta.

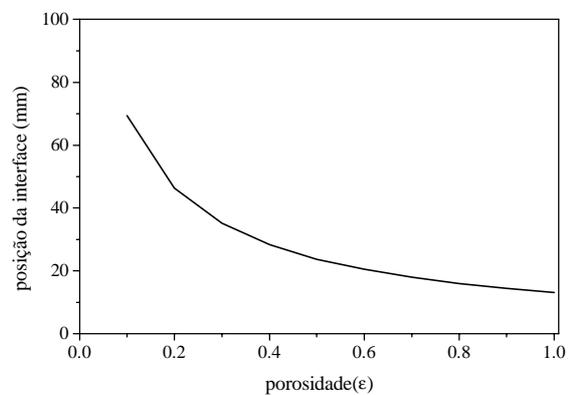


Figura 4 Posição da interface *versus* porosidade

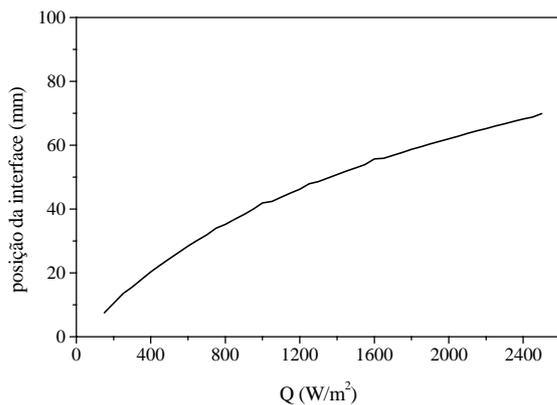


Figura 5 Posição da interface *versus* fluxo de calor

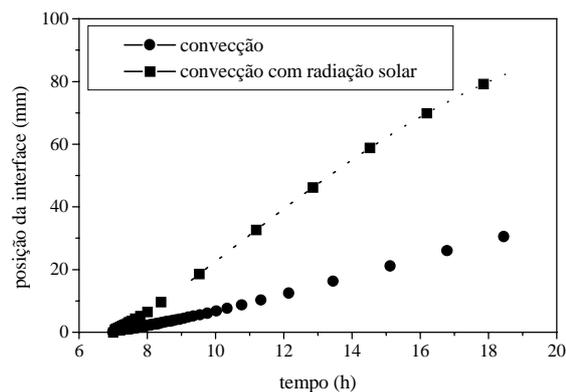


Figura 6 Posição da interface em função do tempo para as condições de convecção e convecção com incidência de radiação solar.

A Fig. 5 mostra o crescimento da interface em função do fluxo de calor imposto no contorno superior para um tempo de simulação de 7200s a uma temperatura inicial de $-2^{\circ}C$. O aumento do fluxo de calor no contorno superior aumenta a profundidade alcançada pela interface. O aumento do fluxo de calor transferido para a camada porosa, aumenta a diferença entre os fluxos de calor entre as regiões líquida e sólida, aumentando o deslocamento da interface, como descrito na Eq. (4). Na Fig. 6 mostramos a simulação do caso de fluxo de calor variável, comparamos as posições da interface em função do tempo para as condições de contorno com troca de calor com o ambiente por convecção e por esta, combinada com incidência de radiação solar. A presença da incidência de radiação solar aumenta a profundidade da interface, devido à maior quantidade de energia adicionada à camada porosa.. No caso de presença somente de convecção, a variação no fluxo de calor é menor, fazendo com que a interface alcance valores menores.

A análise do processo de fusão em meio poroso saturado plano foi estudado numericamente. O modelo numérico permitiu a análise para as condições de contorno de temperatura imposta e fluxos de calor constante e variável, verificando a influência da variação da temperatura imposta, porosidade, taxas de fluxo de calor constante e variável na posição da interface. Pela análise o aumento da temperatura imposta e da taxa de fluxo de calor constante aumentam a posição da interface pelo aumento da energia adicionada a camada porosa, isso também é verificado no caso da comparação entre o uso de condições de contorno de convecção e a combinação desta com a incidência de radiação solar, a maior quantidade de energia adicionada a camada porosa pela presença da radiação solar aumenta a posição alcançada pela interface. No caso da porosidade, o aumento desta faz diminuir a posição da interface, inibindo o processo de fusão. Este comportamento foi explicado pelo conceito de propriedades efetivas.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES (Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior), CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e a FAPESP (Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo) pelo apoio financeiro na realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- Albin et. al, 1982 Analysis of the food freeze drying process with predetermined surface temperature variation, in: *Drying'82*, A.S. Mizumdar, ed., Hemisphere Publishing Corp., Washington, D.C., pp. 151-156.
- Alexiades, V. e Solomon, A.D., 1993, *Mathematical modeling of melting and freezing process*, Hemisphere Pub., New York.
- Beckermann, C. e Viskanta, R., 1988, Natural convection phase change in porous media, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, v.31, pp. 35-46.
- Berggren, W.P., 1943, Prediction of temperature distribution in frozen soils, *Transactions: American Geophysical Union*, v.24, pp. 71-77.
- Chang, W.J e Yang, D.F., 1996, Natural convection for the melting of ice in porous media in a rectangular enclosure, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, v. 39, n°11, pp. 2333-2348.
- Chang, W.S., 1990, Porosity and effective thermal conductivity of wire screens, *Journal of Heat Transfer*, v. 112, pp.5-9.
- Chellaiah, S e Viskanta, R., 1988, Freezing of saturated a superheat liquid in porous media, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, v.33, n°5, pp. 321-330.
- Ismail, K.A.R., 1999, *Modelagem de processos térmicos: Fusão e solidificação*, Campinas, S.P., Brasil.
- Lunardini, V.J., 1981, *Heat transfer in cold climates*, Van Nostrand Reinhold Co, N.Y.
- Mackie, et al, 1999, Rayleigh-Bénard stability of a solidifying porous medium, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, v. 42, pp. 3337-3350.
- Matsumoto et. al, 1993, Solidification of porous medium saturated with aqueous solution in a rectangular cell, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, v. 36, n°11, pp. 2869-2880.
- ME Staff, 1983, Seasonal thermal energy storage, *Mechanical engineering*, v. 105, n° 3, pp. 28-34.
- Ozisik, M.N., 1993, *Heat Conduction*, 2° ed. John Wiley & Sons Inc.
- Patankar, S.V., 1980, *Numerical heat transfer and fluid flow*. McGraw-Hill, N.Y.
- Pimentel, J.R., 1995, *Contribuição ao estudo da mudança de fase em meio poroso plano saturado com líquido*, Tese de doutorado, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Brasil.
- Sanger, F.J., 1968, Ground freezing in construction, *ASCE Mechanics and Foundation Divisions*, v. 94, pp. 131-158.
- Sasaguchi, K e Takeo, H., 1994, Effect of the orientation of a finned surface on the melting of frozen porous media, *International Journal of Heat Mass Transfer*, v. 37, n° 1, pp. 13-26.
- Sasaki, A. et al., 1990, Numerical study on freezing heat transfer in water saturated porous media, *Numerical Heat Transfer, Part A*, v. 18, pp. 17-32.
- Silva, M.M., 2000, *Fusão e Solidificação em Meio Poroso*, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil 99p.
- Weaver, J.A. e Viskanta, R., 1986, Freezing of liquid saturated porous media, *Journal of Heat Transfer, Transactions of the ASME*, v. 108, pp. 654-659.

FUSION IN POROUS MEDIUM PLANE SATURATED

Marcelo Modesto Silva – mmodsil@fem.unicamp.br

Kamal A.R. Ismail - kamal@fem.unicamp.br

Departamento de Engenharia Térmica e Fluídos

Faculdade de Engenharia Mecânica

Universidade Estadual de Campinas

C. Postal 6122 Cep 13083-970 – Cidade Universitária Campinas S.P. – Brasil

***Abstract.** The problem of heat transfer with phase change in porous media can be found in many industrial, biological and agriculture applications. In the present study the problem of heat transfer with phase change in a porous layer was solved subject to the conditions of constant temperature and constant heat flux, respectively. The model is based upon one dimensional pure heat conduction formulation and the numerical solution is realized by the finite control volume method, associated with a moving grid method. The simulations are realized for constant temperature and variable heat flux. The results showing the effects of the nature of the porous materials, porosity, under the different boundary conditions are presented and discussed.*

***Keywords:** phase change, porous medium.*