



Instituto Politécnico, Nova Friburgo
August 30th- September 3rd, 2004

Paper CRE04 – TF15

Radiação Térmica em Estufas em Presença de Tubos para Aquecimento

Bernardo Bastos Alexandre¹ e Washington Braga Filho²

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-Rio
22453-900, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

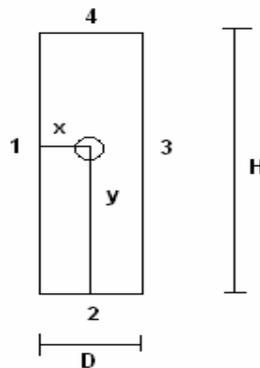
berbastos@mec.puc-rio.br¹ e wbraga@mec.puc-rio.br² (Orientador)

O objetivo do trabalho é estudar a Troca Térmica em estufas utilizadas para plantio de culturas [1]. O problema envolve interações entre as superfícies e um tubo de aquecimento, por Convecção e Radiação Térmicas, esta ocorrendo em presença de gases participantes. Devido à sua complexidade, soluções analíticas inexistem, o que resulta na busca de soluções numéricas. Na atual fase do projeto, apenas a Radiação Térmica em presença de gases participantes está sendo contemplada. A relevância deste modo está no fato que mesmo em baixas temperaturas o fluxo de calor radioativo é no caso da mesma ordem de grandeza da convecção natural.

As cavidades podem conter gases participantes, acarretando em algum tipo de interação entre fótons e a substância enquanto os primeiros atravessam o meio. O parâmetro que determina o grau de interação do gás é chamado de coeficiente de absorção. O gás que não interfere na radiação térmica é chamado de transparente.

A solução numérica será obtida a partir de um programa de simulação do escoamento de fluidos e térmico, FLUENT, disponível no Departamento de Engenharia Mecânica da PUC-Rio. Com objetivo de verificar a solução numérica fornecida pelo FLUENT foi feita uma análise para o mesmo problema, mas considerando gases transparentes, pois nesse caso uma solução analítica foi obtida [2].

O modelo utilizado nesse trabalho para a estufa terá uma seção retangular (comprimento D e altura H), de acordo com a figura 1. As paredes 1 e 3 simulam as plantas, a parede 2 o solo e a parede 4 o teto. Para o modelo apresentado, a profundidade da estufa é considerada infinita (muito maior que a altura H e o comprimento D), o que permite desprezar as trocas que ocorrem pelas extremidades. O tubo de raio r está posicionado na posição (x, y) .



Para análise de performance da estufa, vai-se definir uma eficiência baseada no fluxo de calor das paredes 1 e 3 (plantas) e no fluxo de calor que o tubo envia para o sistema (outras definições para eficiência poderiam ser adotadas):

$$\eta = \frac{(Q_1 + Q_3)}{Q_{TUBO}}$$

Para utilizar o FLUENT foi necessário determinar o modelo de radiação a ser usado. No presente trabalho, utilizou-se o método das ordenadas discretas, por ser este capaz de solucionar o problema para diferentes coeficientes de absorção (outros modelos não atendem essa restrição). Diversas malhas foram testadas a fim de se obter resultados confiáveis. A malha era alterada a partir da comparação entre a solução analítica [2] e os resultados numéricos obtidos, a fim de minimizar o erro. Como exemplo, desse processo, o número de pontos na superfície do tubo foi aumentado, já que os primeiros resultados para o fluxo de calor nessa superfície não eram satisfatórios.

Uma vez que os resultados para gases transparentes eram satisfatórios, foi possível estudar o efeito de presença de um gás participante (supondo, claro, que o procedimento numérico não seria alterado pela presença dos gases). O resultado apresentado na tabela 1 mostra a solução numérica obtida para: $H/D = 5:1$, Emissividade Superficial = 1.0, $T_1 = T_2 = T_3 = 293K$, $T_4 = 283K$, $T_{Tubo} = 358K$. A malha gerada apresenta 150 pontos nas paredes horizontais (1 e 3), 30 pontos nas paredes verticais (2 e 4) e 20 pontos na superfície do tubo. Foi necessário utilizar uma malha triangular, uma vez que a presença do tubo (Seção circular) não permitiu gerar uma malha quadrada.

Tabela 1 - Resultados numéricos para diferentes coeficientes de absorção

Calor Trocado [W]	Solução Analítica (a = 0)	Solução Numérica (a = 0)	Solução Numérica (a = 0.2)	Solução Numérica (a = 0.5)
Q_1	-32,05	-31,62	-33,28	-35,48
Q_2	-32,05	-31,70	-33,38	-35,58
Q_3	-3,57	-3,62	-4,20	-3,38
Q_4	-62,36	-62,47	-56,98	-51,22
Q_{Tubo}	130,02	129,41	127,84	125,66
$\sum Q$	0,00E+00	7,09E-03	-1,36E-03	-1,75E-03
Rendimento	-49,30%	-48,92%	-52,14%	-56,55%

Observando os resultados é possível concluir que a solução numérica para o gás transparente ($a = 0$) é muito próxima da solução analítica, apresentando um erro menor que 1%. Para gases participantes ($a \neq 0$) é possível observar que aumentando o coeficiente de absorção, a eficiência também será aumentada, uma vez que as plantas absorvem mais energia proveniente do tubo (minimizando as perdas). Comparando a eficiência obtida com gás participante e com gás transparente observa-se uma diferença maior que 10%, mostrando que o estudo da participação destes gases nesse problema é bastante importante. Os próximos passos deste projeto envolvem a interação da Radiação com a Convecção, conforme mencionado na introdução.

REFERÊNCIAS

1. Teitel, M., & Tanny, J., "Radiative Heat Transfer form Heating Tubes in Greenhouse", J. Agirc. Engng. Res (1998), vol 69, pages 185-188
2. Bastos B. & Braga,W., "Increasing Greenhouse Efficiency Due to Tube Sizing and Location", submetido ao ENCIT2004