

## Resumo

Uma inadequada distribuição do ar em câmaras frigoríficas de veículos, constitui a maior causa de um deficiente transporte de produtos perecíveis sob temperatura dirigida. No presente estudo foram desenvolvidos dois métodos, um experimental e outro computacional, para a modelação de escoamentos tridimensionais turbulentos, com transmissão de calor, em compartimentos frigoríficos de convecção natural ou forçada. O modelo computacional consiste num procedimento numérico para a resolução, por diferenças finitas/formulação do volume de controlo, das equações em termos de valores médios temporais exprimindo a conservação de massa, de quantidade de movimento, de energia e de concentração de espécies. O modelo  $k-\epsilon$  padrão, afectado da impulsão, foi utilizado para modelar o efeito da turbulência. A validação experimental foi realizada por confrontação das previsões numéricas com medidas obtidas em modelo reduzido. O bom acordo encontrado sugere a sua boa precisão para aplicações de engenharia. Uma técnica simples de modelação física, baseada na análise dimensional, foi usada para determinar as propriedades físicas do modelo (reduzido) experimental. Uma metodologia para a modelação não estacionária de câmaras frigoríficas de convecção forçada e a extensão do modelo computacional à carga armazenada, foram também apresentadas e validadas. Por fim, como exemplo da aplicabilidade prática do modelo computacional desenvolvido, procedeu-se à modelação de diversos casos práticos relevantes no domínio da refrigeração de câmaras para o transporte rodoviário de longa distância.

*Palavras chave:* refrigeração, refrigeração de produtos, veículos frigoríficos, ventilação, modelação numérica, validação experimental.

## *Abstract*

An improper air circulation within the refrigerated truck chambers is the major cause of inadequate road transport of perishable products under controlled temperature. In this study, two methods were developed, one experimental and another computational, for modelling of non-isothermal turbulent flows in refrigerated chambers, both of natural convection and of forced convection. The computational model consists on a numerical procedure, which solves, in finite-difference form using a control volume technique, the three-dimensional time-averaged equations expressing the conservation of mass, momentum, energy and concentration of species. A two equation turbulence model was used to model the effect of turbulence. The experimental validation was accomplished through confrontation of the numerical predictions with measures obtained in a reduced-scale model. The good agreement obtained suggests a good accuracy for engineering purposes. A simple physical modelling technique, based on dimensional analysis, was used to derive the physical properties of the experimental (reduced) model. A non-steady state modelling strategy of refrigerated chambers with forced convection and the extension of the computational model to the stored cargo were also presented and validated. As an example of practical applicability of the developed computational model, the simulation of different relevant practical cases of refrigeration of long road vehicle was performed.

*Keywords:* refrigeration, refrigeration of goods, refrigerated vehicles, ventilation, numerical simulation, experimental validation.