



COMPROMETIDA COM A PROMOÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DA ENGENHARIA E DAS CIÊNCIAS MECÂNICAS

VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

ANÁLISE CFD PARA PROJETO DE RESFRIADOR

Fabio Kiyoshi Fugiwara, fabiofugiwara@yahoo.com.br

Valesca Alves Correa, valesca@unitau.br

Carlos Alberto Chaves, chaves@unitau.br

José Rui Camargo, ruir@unitau.br

Luiz Eduardo do Patrocínio Nunes, luiz@unitau.br

Universidade de Taubaté, R. Daniel Danelli, s/n CEP: 12060-440.

Resumo: *Este trabalho tem como objetivo a investigação do campo de escoamento de fluidos em um ambiente industrial para a otimização do resfriamento de peças compostas de polipropileno. A temperatura inicial da peça até o ponto de inspeção pelo operador apresentava-se excessiva e não ideal para condições normais de trabalho. Simulações computacionais transientes tridimensionais foram realizadas com o software comercial ANSYS CFX, onde os dados coletados foram comparados com a situação real. A variável relevante do escoamento foi a temperatura, o qual não poderia alcançar valores elevados em certas condições críticas. Os resultados numéricos foram avaliados e permitiram a melhor escolha do processo de resfriamento das peças. A aplicação das simulações computacionais proporcionou a obtenção dos melhores parâmetros para a otimização do resfriamento sanando possíveis erros de projeto e permitindo a implantação do resfriador.*

Palavras-chave: *CFD, Resfriador, Simulação Numérica, Transiente*

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de acelerar o desenvolvimento de projetos e buscar cada vez mais melhorias na verificação de erros e baixar custos envolvendo protótipos e testes antes do projeto ser construído e implantado, passou a ser fundamental para as empresas que atuam na área de engenharia. As simulações computacionais que utilizam métodos numéricos como o método dos volumes finitos tem se mostradas aptas a exibir situações virtuais que muito se aproximam das situações realísticas (Maliska, 2004).

Uma vez que análises feitas virtualmente mostram resultados com alta confiabilidade, cabe ao desenvolvedor visualizar os pontos que podem ser otimizados e/ou modificados, confirmando assim, a eficiência da utilização dos softwares de Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD) no desenvolvimento de projetos (Fortuna, 2000).

Dhensa et al (2004), apresentou em seu trabalho os resultados das investigações de diversos modelos de turbulência no resfriamento de sistemas usando modelagem CFD, onde destacaram a importância da aplicação desta metodologia nos estudos realizados.

Pereira et al (2006), utilizaram a abordagem CFD na análise de escoamentos anulares realizando uma ampla investigação no campo de escoamentos de fluidos e concluíram que as simulações numéricas apresentavam resultados satisfatórios e que ampliaram qualitativamente aos resultados experimentais obtidos.

Kadem et al (2007), realizaram um estudo com simulações numéricas da transferência de calor em paredes planas sujeitas a jatos turbulentos com a metodologia CFD e obtiveram boas aproximações dos resultados para discutir os parâmetros envolvidos no problema.

Ozturk e Tari (2007), usaram software CFD como modelador térmico no estudo do resfriamento forçado de sistemas eletrônicos, onde puderam comparar o efeito de diversos modelos de turbulência, esquemas de discretização, soluções de malha e critérios de convergência das simulações computacionais.

Neste trabalho serão abordados todos os passos seguidos desde a concepção até a implantação de um projeto, com os dados necessários para o alcance de uma conclusão robusta de funcionalidade de um sistema de resfriamento utilizando o ar como trocador de calor impulsionado por um motor elétrico munido com hélices em uma estrutura confeccionada por chapas metálicas e direcionadores de fluxo aerodinâmico utilizando o software de simulação computacional Ansys CFX.

Para resolução do problema, utilizou-se da modelagem com transferência de calor como base de análise térmica com unificação de situações diferentes em um mesmo domínio (Menter e Kuntz, 2000).

2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

O processo industrial em questão refere-se ao sistema de resfriamento de peças de polipropileno, onde foi observado que a temperatura inicial da peça até o ponto de inspeção pelo operador não seria ideal para condições normais de trabalho, ou seja, o operador ficava em exposição excessiva de calor nas mãos.

Para a implantação de um sistema adequado foram considerados o calor dissipado e o comportamento do resfriamento natural na peça em estudo que geraram dados relacionados em função do tempo expresso em segundos e da temperatura em graus Celsius.

O projeto foi desenvolvido por software de desenho auxiliado por computador (CAD), modelado em três dimensões com todas as medidas exatas do local em estudo. Toda a fase de desenvolvimento foi realizada com quantidade de material disponível que não era utilizado, sendo que todos os detalhes tinham que ser calculados de modo que não houvesse interferência nas demais estruturas.

Inicialmente foi feita uma verificação da quantidade de chapa de aço obsoleta disponível, o qual foi direcionada à construção do resfriador, sendo compatível com a quantidade necessária, concluindo-se que a área total cobria toda a expectativa, não sendo necessária à compra de novo material. A seguir foi realizada uma análise fluidodinâmica utilizando o software comercial Ansys CFX, observando-se que ainda não haveria troca de calor suficiente para resfriar a peça, pois o fluxo de ar gerado não correria corretamente devido seu escoamento laminar e conseqüentemente não tocava na peça. Foi realizado um estudo em relação à turbulência com conceitos de aerodinâmica (Wilcox, 2000).

Por elementos básicos que são usualmente discutidos na aerodinâmica, os “flaps”, algumas análises foram feitas com diferentes modelos e diferentes ângulos de ataque para checar a melhor posição de implantação.

Com o resultado esperado, a turbulência foi gerada na região correta, onde as peças passariam sendo resfriadas pela corrente de ar, definindo então o local específico dos “flaps”.

Um ponto foi observado em relação às hélices do motor e a rotação, que, antes sendo utilizados como sistema de exaustão não teriam a mesma eficiência sendo aplicados como insuflador, o que levou a modificação da posição do motor e o ângulo de ataque das hélices, resultando em um ganho de eficiência em fluxo de ar, maior turbulência e menor perda por arrasto devido à posição do motor.

Finalmente, o projeto apresentou-se capaz de resfriar as peças em uma taxa de temperatura e um intervalo de tempo esperado, onde o calor da peça no local de inspeção está adequado para não danificar a saúde das mãos do operador, incluindo uma taxa de aceleração de cura do componente químico que pela temperatura alta gerava refugos.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir serão descritas as metodologias utilizadas para realização da simulação computacional do processo de resfriamento das peças e definição dos parâmetros de entrada.

3.1. Coleta de Dados Experimentais

A coleta dos dados referentes às variações e taxa de resfriamento natural das peças em temperatura ambiente foi realizada com auxílio de pistola termômetro modelo TI-890 Instrutherm, com escala de -50°C à 1000°C , precisão de $\pm 2\%$ da leitura e 500ms de resposta, calibrada em 2009 por empresa certificada, contando com um cronômetro digital para acompanhamento transiente.

As condições de coleta seguiram-se em um dia com médio pico de temperatura a fim de se ter um resultado com limites prévios de variação, onde se acompanhou a saída num intervalo de tempo de 20 minutos contando a partir da saída da estufa.

A Figura 1 apresenta um esquema do layout do local, onde as posições circuladas são: ambiente de trabalho (1), peças a serem resfriadas (2) e saída da estufa (3). O fluxo de saída das peças que são movimentadas por suportes deslizantes para a operação final de inspeção, resulta na problemática do encontro das peças superaquecidas com as mãos do operador, onde será realizada a análise para a melhor disposição do sistema de resfriamento.

Uma peça foi escolhida aleatoriamente, seguindo-se todo o seu fluxo até a operação final, onde se anotou todos os comportamentos de temperatura por auxílio da pistola termômetro e o tempo medido por um cronômetro digital.

Os tempos foram seguidos de acordo com o gargalo de saída das peças no local, para que o cálculo mostrasse a melhor condição de localização das operações, nas quais, o resfriador deveria estar e com quais características técnicas de resfriamento possíveis poderiam ser aplicadas.

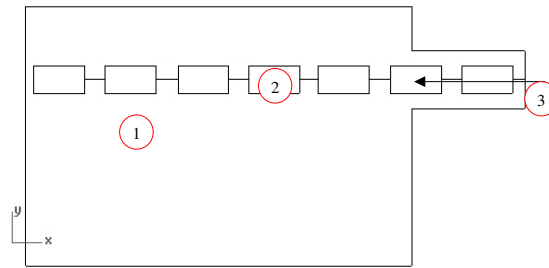


Figura 1. Representação do ambiente físico.

3.2. Modelagem Matemática

Devido ao comportamento de resfriamento das peças, e pelo fato das variáveis envolvidas estarem em função do tempo, a equação apropriada para aplicação neste caso foi a Eq. (1) de Resfriamento de Newton. Os dados coletados experimentalmente puderam ser aplicados para obtenção da constante de resfriamento “k” e foram avaliados em uma planilha eletrônica gerando um gráfico com comportamento exponencial, e assim como previsto pela Eq. (1), possibilitaram a conclusão de que o sistema poderia ser modelado para a aplicação de um resfriador por insuflamento de ar, devido a não aparentar instabilidade na temperatura.

$$T = (T_0 - T_f) \cdot e^{-k \cdot t} + T_f \quad (1)$$

onde:

T é a temperatura do corpo num determinado instante;

T_0 é a temperatura inicial do corpo;

T_f é a temperatura final do corpo;

“t” é o tempo contado a partir do resfriamento (contato ar→peça);

“k” é uma constante determinada experimentalmente.

Com a determinação da constante de resfriamento, foi possível uma estimativa de tempo e conseqüentemente uma posição onde a temperatura operacional teria um valor considerável.

A Fig. (2) mostra uma representação esquemática dos possíveis locais de instalação do resfriador. O local (B) se mostrou inadequado devido ao fluxo incorreto para o processo, apesar das peças possuírem uma temperatura em condições para operação, ao contrário do local (A), chegando a uma breve conclusão analítica de que o posicionamento da operação estava afetado devido ao calor sensível da peça

A posição ideal mostrada de acordo com a variação da temperatura e o tempo seria num ponto não equivalente devido ao layout disponível, ou seja, a localização estaria num ponto onde a realização da operação com a temperatura correta não seria possível, sendo assim, foi criado para melhor visualização um layout tridimensional.

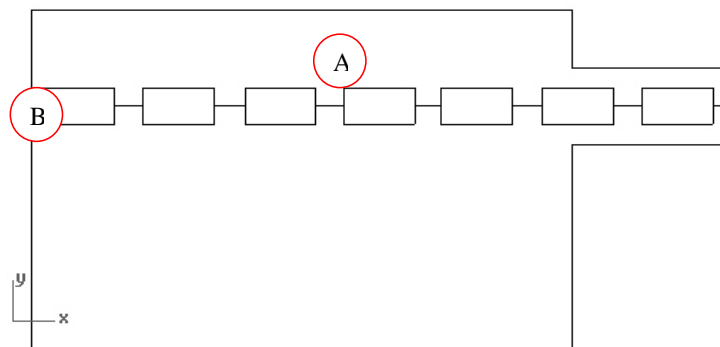


Figura 2. Representação esquemática do local.

3.3. Criação do Layout em Três Dimensões

Para garantia da posição e da proporção do local em estudo, todo o layout foi desenhado em escala 1:1 auxiliado por computador no aplicativo Rhinoceros. Desta forma, todos os detalhes dimensionais foram inclusos na análise garantindo a robustez do estudo.

Nesta investigação, o volume de análise foi limitado apenas na região onde se aplicaria o resfriador contando com uma região em que a vazão do ar afetaria uma determinada distância, fechando assim as condições de fronteira.

3.4. Software para Simulação

Tratando-se de um problema fluidodinâmico, a escolha deu-se pelo software comercial ANSYS CFX, disponibilizado pela Empresa a fim de estudo de caso e pesquisa. O software apresenta grande capacidade de análise e boa confiabilidade dos resultados, reforçando seu uso.

Com todas as situações já obtidas para a simulação, os passos seguintes mostram como foram definidos todos os parâmetros no programa ANSYS CFX, seguindo por definição de malha, as condições de contorno, parâmetros de cálculo e obtenção dos resultados.

3.4.1. A Definição da Geometria

As diversas simulações com o layout modelado tridimensionalmente por computador permitiu a análise das otimizações visando aumentar a eficiência do resfriador. Foi possível também, após as simulações, a definição da localização para a implantação do sistema no local correto.

3.4.2. Definição da Malha

Morais (2004) sugere que a abordagem da geometria relacionando o espaço físico, dados pelas condições do ambiente em relação à linguagem computacional e dos volumes finitos precisa ser definida corretamente de acordo com a relação e proporcionalidade da resolução dos resultados.

O pacote utilizado para a malha foi o CFX Mesh, incluso no módulo ANSYS WorkBench, por possuir uma interface gráfica de fácil visualização.

A geometria gerada se torna complexa por não ter uma continuidade uniforme dos elementos, no qual alguns pontos na geração da malha devem ser observados, o que necessitou da aplicação de algumas estratégias como ajustes do ângulo interno mínimo, espaçamento da resolução angular e escala.

A Fig. (3) mostra a malha refinada que resultou no estudo de uma malha não estruturada, devido às disposições da geometria em estudo.

3.4.3. Definição das Condições de Contorno

A partir da análise dos dados coletados que revelam o comportamento dos parâmetros do local em estudo, a maior preocupação foi a singularidade das variáveis e dos valores reais para serem introduzidos nas condições de contorno da análise computacional.

Inicialmente, foram definidos os fluxos de entradas e saídas, chamados no aplicativo CFX de “inlets” e “outlets”, que são caracterizados como onde o fluido entra e por onde sai.

O módulo utilizado foi o CFX Pre, que permite indicar todas as condições nas regiões da malha gerada pelo módulo CFX Mesh.

Os dados como temperatura do local, fluxo de ar normal, calor sensível das peças, pressão atmosférica foram todos coletados experimentalmente com instrumentos calibrados para dar maior similaridade do caso real na análise, onde as condições foram impostas na ordem: temperatura de saída do ar da estufa, temperatura de saída das peças, medição do tempo de resfriamento até um dado ponto, temperatura ambiente, pressão atmosférica, rotação do motor, velocidade de saída do ar do rotor, temperatura de entrada de ar no rotor e fronteiras para identificar toda parte aerodinâmica do resfriador.

No caso, a temperatura de saída do ar da estufa no local foi considerada 80°C, a temperatura de saída das peças com 76°C, o tempo de 18,48 minutos para que a peça atingisse temperatura ambiente média de 27°C, 1 atm como pressão local atmosférica, rotação do motor de 1750 rpm, com velocidade de saída do ar do rotor com 18 m/s e regime permanente.

Todas estas condições foram impostas nos locais determinados na malha que simula o local em estudo, e logo passado para o módulo seguinte do software, o CFX Solver.

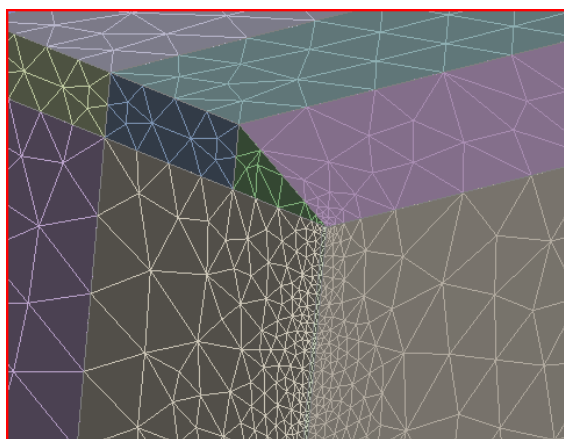


Figura 3. Concentração dos elementos de malha.

3.4.4. Definição dos Métodos Numéricos

Para a definição dos parâmetros de resolução do sistema, utilizou-se o módulo CFX Solver que possui algoritmos definidos.

Nesta etapa, todas as condições estão prontas para que todo o sistema computacional apresente um modelo matemático e assim iniciar o processo de resolução auxiliado pelo computador através das equações que governam o problema (Bird, 1960).

Assim como as condições de contorno e as características da malha, o módulo CFX Solver é ajustável de acordo com a situação e resolução desejada do problema, onde são os principais pontos vistos como ponto de convergência, taxa residual (RMS) e número de iterações. Caso o critério de convergência não ocorra nas primeiras iterações um *looping* é ativado através de uma sub-rotina interna do módulo para checar a convergência novamente através de um processo iterativo.

O hardware considerado para a solução numérica foi básico e o tempo envolvido no processamento foi satisfatório para que se obtivesse a convergência necessária.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados coletados em condições reais de operação são apresentados na Fig. (04) e mostram a variação da temperatura do polipropileno em relação ao tempo. De acordo com a Eq. (1) o comportamento da curva resultante dada pelo gráfico mostra a tendência de resfriamento das peças em condições normais, antes da implantação do resfriador.

Com o projeto instalado, novas medições foram feitas para averiguar a eficiência do resfriador, o resultado segue ilustrado no gráfico apresentado na Fig. (5) que compara os valores de temperatura antes e depois da instalação do resfriador.

A Fig. (6) mostra as análises feitas pelo ANSYS CFX evidenciando o comportamento do ar com a temperatura e o escoamento, mostrando o comportamento real, onde se pode observar na vista superior do local em estudo o comportamento apenas com insufladores laterais (região B) e o comportamento térmico na saída de uma estufa (região A).

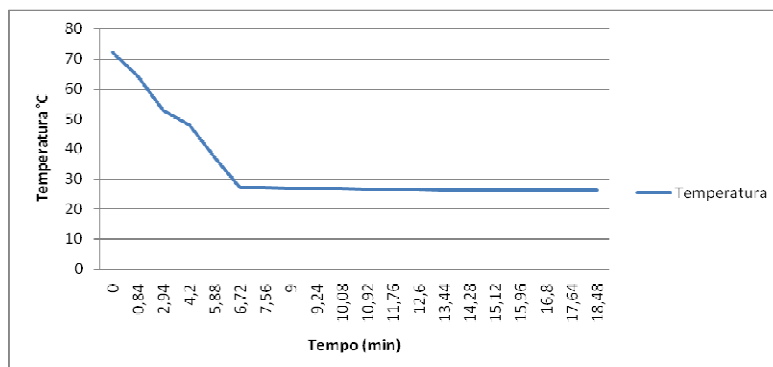


Figura 4. Variação da temperatura com o tempo.

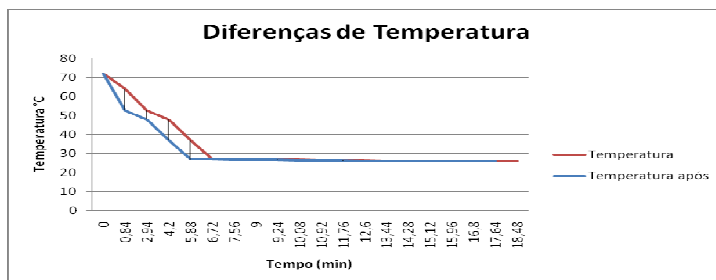


Figura 5. Diferenças entre a temperatura antes e depois.

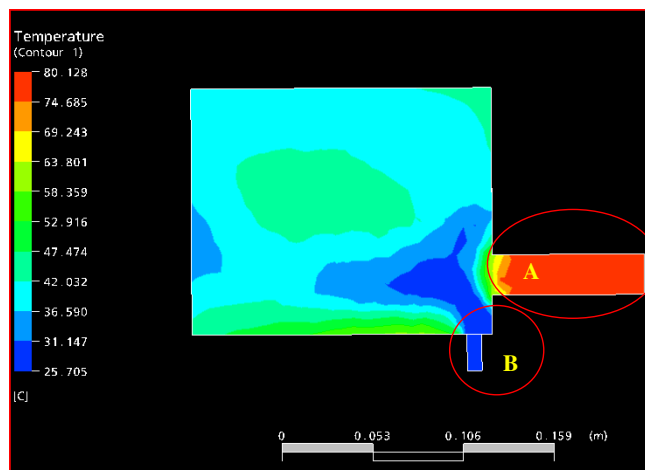


Figura 6. Variação da temperatura com o tempo.

O resfriador é representado na Fig. (7) provido com os itens aerodinâmicos que produziram efeitos idênticos ao construído.

Todo o material utilizado na construção do resfriador foi reciclado de sobras e todos os pontos das chapas metálicas foram soldados e cortados para uma fácil montagem. Os efeitos na análise computacional são mostrados na Fig. (8), após a instalação em frente à estufa demonstrando exatamente o fluxo de ar escoado em relação ao fluxo estudado no resfriador implantado.

A assimetria mostrada no escoamento foi um fato importante notado pois, mesmo no resfriador real o fluxo estava na mesma condição de velocidade, o que melhorou ainda mais a disposição da direção do fluxo de ar nas peças que saíam.

A Fig. (9) mostra a representação computacional da localização física do resfriador implementado.

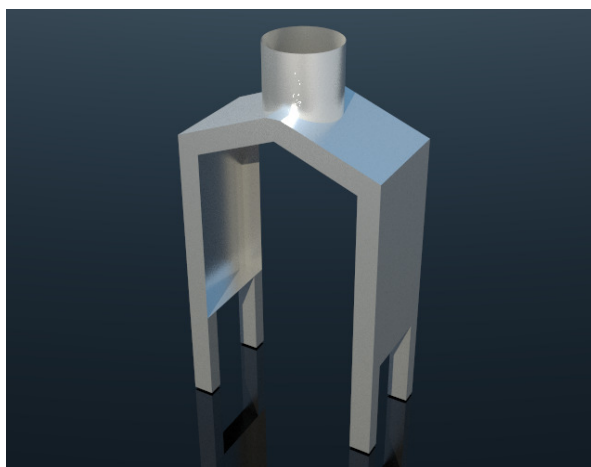


Figura 7. Imagem esquemática renderizada do resfriador.

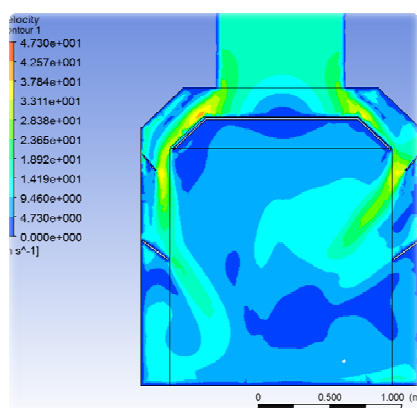


Figura 8. Contornos mostrando as regiões de velocidade de escoamento de ar.

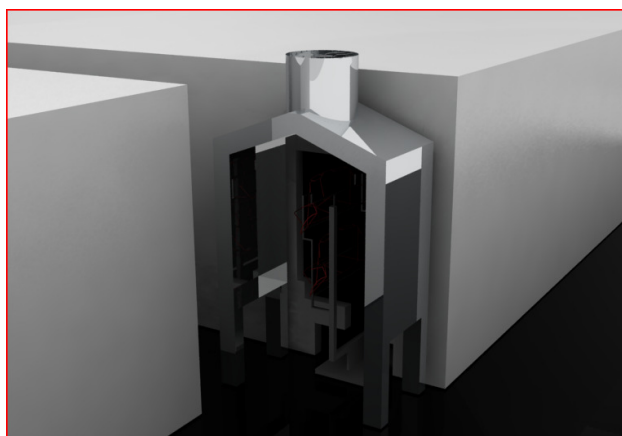


Figura 9. Renderização do local onde o resfriador foi implantado.

5. CONCLUSÕES

A utilização dos softwares envolvidos nas simulações foram essenciais na análise das melhores condições a serem implementadas no resfriador.

Todos os dados das análises simuladas, assim como os com o resfriador real apresentaram concordância levando a conclusão de que foi totalmente viável, otimizando tempo em realizações de testes, auxiliando na aquisição de dados, visão do escoamento do ar e implantação de acessórios aerodinâmicos para otimização do fluxo.

O estudo da turbulência na troca de calor foi fundamental, na definição exata da direção do escoamento de ar nas peças. Os pontos favoráveis para a implantação foram satisfeitos, seguindo conceitos de segurança no trabalho, no qual o problema de super aquecimento das peças para os operadores foi resolvido com sucesso, chegando à taxa de resfriamento de 7° C à 13°C por minuto por peça.

O resfriador foi implantado e sua função está perfeitamente de acordo com o projeto, resfriando as peças, causando uma melhor condição de trabalho e atingindo outros importantes pontos no processo de fabricação.

6. REFERÊNCIAS

- Bird, R.B., Stewart, W.E. and Lightfoot, E.N., 1960, "Transport Phenomena", John Wiley & Sons, Inc.
- CFX, 2008, Software for Fluid Dynamics Manual, ANSYS, versão 12.
- Dhinsa, K. K., Bailey, C. J. and Pericleous, K. A., 2004, "Turbulence Modelling and It's Impact in CFD Predictions for Cooling of Electronic Components", IEEE – Inter Society Conference on Thermal Phenomena, p. 487.
- Fortuna, A.R., 2000, "Técnicas Computacionais para Dinâmica dos Fluidos: Conceitos Básicos e Aplicações", Ed. da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brazil.
- Kadem, N., Mataoui, A., Salem, A. and Younsi, R., 2007, "Numerical Simulation of Heat Transfer in an Axisymmetric Turbulent Jet Impinging on a Flat Plate", AMO – Advanced Modeling and Optimization. ISSN: 1841-4311, V.9., Number 2.
- Menter, F.R. and Kuntz, M., 2000, "Development and Application of a Zonal DES Turbulence Model for CFX-5", CFX Validation Report, CFX-VAL 17/0503.
- Morais, E.L., 2004, "Verificação de Soluções Numéricas de Escoamentos Laminares Obtidas com o Método dos Volumes Finitos e Malhas Não-estruturadas", Dissertação de Mestrado, Curitiba, Brazil.

- Maliska, C.R., 2004, "Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional", Ed. LTC, Rio de Janeiro, Brazil.
- Wilcox, D.C., 2000, "Turbulence Modelling for CFD". DCW Industries, p. 314.
- Ozturk, E. and Tari, I., 2007, "CFD Modeling of Forced Cooling of Computer Chassis", ASME IMECE – Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics, V.1., Number 4, p. 304-313.
- Pereira, F. A. R., Ataíde, C. H. and Barroso, M. A. S., 2006, "Abordagem de CFD com Modelo de Fase Discreta para Análise do Escoamento Anular", ENAHPE – Encontro Nacional de Hidráulica de Perfuração e Completação de Poços de Petróleo e Gás.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

Os trabalhos escritos em português ou espanhol devem incluir (após direitos autorais) título, os nomes dos autores e afiliações, o resumo e as palavras chave, traduzidos para o inglês e a declaração a seguir, devidamente adaptada para o número de autores.

COMPUTATIONAL ANALYSIS FOR POLYPROPYLENE COOLER PROJECT

Fabio Kiyoshi Fugiwara, fabiofugiwara@yahoo.com.br

Valesca Alves Correa, valesca@unitau.br

Carlos Alberto Chaves, chaves@unitau.br

José Rui Camargo, ruir@unitau.br

Luiz Eduardo do Patrocínio Nunes, luiz@unitau.br

Universidade de Taubaté, R. Daniel Danelli, s/n CEP: 12060-440.

Abstract: This study aims to research the field of fluid flow in an industrial environment to optimize the cooling of parts made of polypropylene. The initial temperature of the piece to the point of inspection by the operator had to be excessive and not ideal for normal working conditions. Transient three-dimensional computer simulations were performed using the commercial software ANSYS CFX, where the data were compared with the actual situation. The flow rate variable was temperature, which could not reach high values in certain critical conditions. The numerical results were evaluated and allowed the best choice of the cooling process of the parts. The application of computer simulations provided to obtain the best parameters for the optimization of cooling remedying possible design errors and allowing the deployment of the cooler.

Key-words: *CFD, Transient, Numerical Simulation, Cooler*