

**Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics**

---

# Processamento Paralelo na Determinação da Curva de Resfriamento da Água pelo Método de Procura em Rede

Andressa Tais Diefenthaler<sup>1</sup>Peterson Cleyton Avi<sup>2</sup>Edson Luiz Padoin<sup>3</sup><sup>1,2,3</sup>Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, UNIJUÍ, Ijuí, RS

## 1 Introdução

A fabricação de processadores tem evoluído rapidamente nos últimos anos. Atualmente, esses componentes incorporam múltiplas unidades de processamento chamados de cores ou núcleos. Desta forma, os processadores atuais podem executar tarefas em paralelo, possibilitando redução no tempo de execução e aumento na precisão dos resultados [1].

Em Diefenthaler, Avi (2016) [2], foi realizado um experimento prático relacionado aos princípios da Termodinâmica, no qual foi analisada a eficiência de quatro tipos de ampolas de vidro, diferenciadas pela presença ou ausência de vácuo e espelhamento, a partir do processo de resfriamento da água quente ao longo do tempo. Os dados experimentais obtidos foram modelados, sendo possível encontrar as equações das curvas de resfriamento em cada recipiente a partir da resolução do Problema Inverso via método de Procura em Rede, o qual foi validado através da comparação com os resultados fornecidos pela resolução do Problema Direto, pela Lei de Resfriamento de Newton. A partir do desenvolvido, evidenciou-se a eficiência do método, pois os resultados se mostraram coerentes e obteve-se elevados coeficientes de determinação.

Entretanto, o método de Procura em Rede configura-se como um método exaustivo, que encontra o melhor conjunto de parâmetros calculando as distribuições dos dados através de todas as possibilidades de combinações dos parâmetros, dentro dos intervalos iniciais definidos [3]. Deste modo, o programa implementado no software *Matlab* demandou um elevado tempo de execução. Diante disso, o objetivo desta pesquisa é analisar os ganhos alcançados com o emprego do processamento paralelo no método de Procura em Rede, para a determinação da curva de resfriamento da água em ampolas de garrafas térmicas.

## 2 Resultados

No experimento realizado, foi analisado o desempenho de quatro ampolas, sendo que neste artigo é considerada apenas aquela que apresentou melhor desempenho, ou seja, a

---

<sup>1</sup>andressa\_td@hotmail.com<sup>2</sup>peterson.avi@unijui.edu.br<sup>3</sup>padoin@unijui.edu.br

ampola fabricada em vidro com vácuo e espelhada. Para a obtenção dos dados, em [2] foi realizada a medição da temperatura de 1ℓ de água a uma temperatura inicial de 70°C ao longo de 7 horas (25200s), as quais foram medidas a cada 20min (1200s), totalizando um conjunto de 22 dados. Para a modelagem matemática dos dados, foi considerada a equação da função exponencial natural decrescente (pois a temperatura da água diminui e tende a se estabilizar ao longo do tempo), ou seja,  $y = A * e^{-Bx} + C$ , com três parâmetros  $A$ ,  $B$  e  $C$  não linearizáveis. No programa elaborado em *Matlab*, considerando o método de Procura em Rede, foram definidos intervalos de 0 a 50 para os parâmetros  $A$  e  $C$ , e de  $-0.01$  a 0 para o parâmetro  $B$ , considerando 1000 divisões para cada intervalo. Os resultados obtidos para a ampola com vácuo e espelhada são apresentados abaixo [2].

$$R^2 = 99.94\% \quad T = 21.3714 + 48.6486e^{-0,00001001t} \quad (1)$$

$$t = 6282.6s$$

onde:  $T$  é a temperatura ( $C^\circ$ ),  $t$  é o tempo ( $s$ ) e  $R^2$  é o coeficiente de determinação (que indica o quão bem os dados se ajustaram à curva).

Objetivando reduzir o tempo de execução, o programa foi reescrito em linguagem C com a biblioteca OpenMP para processamento paralelo. Utilizou-se para isso o compilador g++ versão 6.2.1, sendo que os testes foram executados em um equipamento com processador Intel modelo *i7 - 4510U* de 4 cores com sistema operacional *Linux Ubuntu* de versão 4.4.0 - 64 - *generic*. O tempo total de execução do programa foi de 1430,63s, sendo obtida a mesma equação da simulação realizada em *Matlab*; o tempo foi reduzido para 799,93s quando utilizado dois cores do processador trabalhando em paralelo. Da mesma forma, conseguiu-se também ganhos quando utilizado 3 e 4 cores do processador, onde os tempos foram reduzidos para 690,93s e 576,42s, respectivamente.

### 3 Conclusões

A partir dos procedimentos realizados, evidencia-se que o emprego do processamento paralelo possibilita ganhos na redução do tempo de execução, viabilizando a utilização do método de Procura em Rede de modo eficiente e acurado. Deste modo, em trabalhos futuros pretende-se incorporar novas variáveis e aumentar o número de divisões para cada intervalo, assim como o número de cores do processador utilizado, garantindo a precisão dos resultados e a otimização do tempo.

### Referências

- [1] E. L. Padoin, L. L. Pilla, M. Castro, F. Z. Boito, P. O. A. Navaux, J. F. Mehaut, Performance/energy trade-off in scientific computing: The case of ARM big.LITTLE and Intel Sandy Bridge. In *IET Computers & Digital Techniques*, 2014.
- [2] A. T. Diefenthaler, P. C. Avi, Determinação da Curva de Resfriamento da Água em Ampolas de Garrafas Térmicas, In *Anais do VII MCSUL - Conferência Sul em Modelagem Computacional*, Rio Grande, 2016.
- [3] A. J. Silva Neto, F. D. Moura Neto, *Problemas Inversos: Conceitos Fundamentais e Aplicações*, UERJ, Rio de Janeiro, 2005.