

# PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM TROCADOR DE CALOR PARA AQUECIMENTO DE PISCINA

## **João Casagrande Angelo**

Eletromeca Metalúrgica Casagrande LTDA

joaoangelo1979@hotmail.com

## **Luís Mauro Moura**

Curso de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUCPR

R. Imaculada Conceição, 1155 –CEP: 80215-901 – Curitiba – PR – Brasil

Lmoura@ccet.pucpr.br

## **José Antônio Velásquez Alegre**

Curso de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Paraná - PUCPR

R. Imaculada Conceição, 1155 –CEP: 80215-901 – Curitiba – PR – Brasil

velasqz@rla01.pucpr.br

**Resumo.** *Apresenta-se um projeto e metodologia utilizada para a construção de um trocador de calor para aquecimento de piscina. O desafio do projeto está na adequação do conforto térmico com os mais variados tamanhos de piscinas e suas respectivas perdas térmicas. Diversas técnicas para solucionar os problemas de detalhamento na concepção do produto, cálculos térmicos e elaboração de programa para visualização das curvas de funcionamento foram utilizadas para fornecer um projeto confiável e seguro. O propósito final é construir um aquecedor para piscinas com baixo custo de aquisição.*

**Palavras-chave:** *Trocador de Calor, Aquecedor a gás, Sistemas Energéticos.*

## **1. INTRODUÇÃO**

O alto custo de aquisição e manutenção de aquecedores para piscinas, força pequenos clubes e residências manterem suas portas fechadas durante a maior parte dos dias frios no ano, sobretudo no sul do Brasil. Desta maneira, procurou-se desenvolver um equipamento de aquecimento para piscinas com uma certa quantidade de tecnologia e uma eficiência energética adequada a um preço reduzido. Procurou-se adequar o conforto térmico com os mais variados tamanhos de piscinas e suas respectivas perdas térmicas. Diversas técnicas para solucionar os problemas de detalhamento na concepção do produto, cálculos térmicos e elaboração de programa para visualização das curvas de funcionamento foram utilizadas para fornecer um dimensionamento confiável e seguro. O propósito final é construir um aquecedor para piscinas com baixo custo de aquisição, fácil utilização, manutenção, instalação e seguro para o operador.

A diversidade do clima e as quatro estações em nosso país tornam-se condicionantes para a utilização da piscina, considerado muitas vezes um alto investimento. Aquecer piscinas é um processo bastante simples, principalmente quando se conta com fontes de calor de elevada potência. Todavia, é muito comum associar potência elevada com elevado consumo. As vantagens do sistema a gás são conhecidas: facilidade e baixo custo de instalação, rapidez e pleno controle de aquecimento e custo do gás relativamente baixo. Os aquecedores a gás independem das condições

do ambiente e podem, portanto manter sua capacidade de recuperação sob qualquer relação entre a temperatura da água do ambiente. Além disso, os aquecedores de passagem são muito robustos e suportam facilmente trabalho contínuo, como o que se precisa para aquecer piscinas. O estudo a seguir buscou desenvolver um aquecedor para piscinas que pudesse ser instalado em piscinas novas ou já existentes, sem a necessidade de reformas, pois não requer bombas ou tubulações adicionais. A água da piscina é circulada diretamente através da própria bomba e do filtro existentes, desta maneira a filtragem e o aquecimento são simultâneos. O funcionamento do aquecimento é totalmente automatizado, cabendo ao usuário somente a liberação da água em uma válvula. Todo esse estudo foi desenvolvido para diminuir o tempo de aquecimento e manutenção da temperatura de uma piscina. Normalmente encontramos no mercado aquecedores a gás, elétricos (bombas de calor) e solares com um tempo de aquecimento entre 24 e 120 horas, conforme a potência do aquecedor instalado, dimensões da piscina e estações do ano. A manutenção da temperatura necessita um período de funcionamento diário entre 2 e 4 horas, conforme o local (aberto ou fechado). Sabendo-se que no aquecedor por energia solar, são necessários de 10 a 15 dias de insolação para atingir a temperatura de conforto e de 4 a 5 horas para a manutenção da temperatura, buscamos não ter somente por alguns meses do ano o investimento de aquecimento. Desenvolvemos um aquecedor a gás natural ou GLP de passagem para piscinas. Foram considerados os estudos de algumas marcas já existentes no mercado, avaliando seus pontos fortes e fracos e buscando propor melhorias. Técnicas para solução de problemas na concepção e fabricação do aquecedor foram utilizadas para otimizar o projeto. O sistema de controle e manutenção de temperatura e o sistema de economia de gás são os pontos fortes desse projeto. Um termostato eletrônico monitora e mantém a temperatura e uma válvula solenóide diminui o consumo de gás quando a temperatura de conforto for atingida. Além das técnicas para resolver problemas na concepção, esse trabalho também conta com a elaboração de um programa de simulação para a visualização de curvas de aquecimento teórico, que são comparadas com as curvas de aquecimento obtidas em campo.

## 2. ANÁLISE

Na Tab. 1 apresenta-se as necessidades do mercado nacional identificadas para a comercialização de um sistema de aquecimento de piscina.

Tabela 1. Identificação das necessidades do mercado

<b>Em relação a funcionabilidade</b>	<b>Em relação a diferenciais</b>
1 - Fácil instalação	1 - Custo inicial Baixo
2 - Fácil conservação	2 - Boa Eficiência Energética
3 - Fácil manutenção	3 - Baixo custo de utilização
4 - Segurança na operação e Durabilidade	4 - Design diferenciado

Na Tab. 2 apresenta-se o levantamento dos pontos fracos e fortes para o desenvolvimento e construção do produto desenvolvido. Na Tab. 3 apresenta-se a análise externa procurando-se determinar a viabilidade real na implantação de uma unidade fabril de construção do equipamento.

Na análise de custo elaborada para a construção do aquecedor, sendo o custo por unidade estimado de R\$1.200,00 e do conjunto de R\$2.170,00, considerando o acréscimo da válvula solenóide e do controlador digital de temperatura.

Tabela 2. Análise dos pontos fortes e fracos do projeto

Pontos Fortes	Pontos Fracos
Equipe técnica qualificada	Falta de experiência construtiva
Pouca concorrência no segmento	Baixos recursos financeiros
Disponibilidade de Laboratórios	Indisponibilidade de espaços
Baixo custo de projeto	
Baixo custo administrativo	

Tabela 3. Análise externa (Concorrência)

Baixa concorrência nesse nicho de mercado	Experiência das empresas nesse mercado
Carência de um produto de qualidade e baixo custo de aquisição	Pouca tradição da equipe em técnicas
Mercado em expansão	Redução do crescimento na construção civil
Produto inovador	Pesquisa e desenvolvimento de produtos pelos concorrentes

### 3. DESENVOLVIMENTO

Para o projeto e construção do aquecedor foram assumidas as condições listadas na Tab. 4. O programa de simulação desenvolvido permite a mudança destes valores para o dimensionamento de novos produtos.

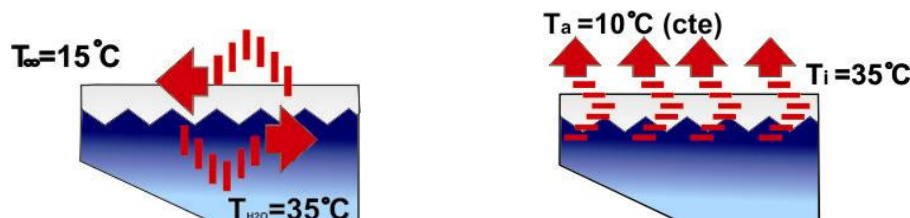
Além disso, foi desenvolvida uma pesquisa de campo para determinar as dimensões das tubulações e equipamentos e levantamento das perdas térmicas máximas por Radiação, Convecção, Evaporação e Condução na tubulação, paredes da piscina e fundo, Tab. 5. Todos as perdas térmicas foram modeladas e individualmente.

Tabela 4. Condições de projeto

Considerações Gerais		Hipóteses
Dimensões da Piscina	7,00 m de comprimento 3,90 m de largura 1,50 m de profundidade média	Regime Permanente. Transferência de Calor Unidimensional na direção radial do cilindro. Resistência Térmica na parede do tubo desprezível.
Temp. Inicial d'água	15°C	Umidade Relativa do Ar 80%
Temp. Final d'água	35°C	Umidade Relativa da Superfície da Piscina 100%
Temp. Ambiente	15°C	

Tabela 5. Valores de Carga térmica calculados

Perdas por Condução na Tubulação	0,26 kW
Perdas por Radiação	2,96 kW
Perdas por Condução no Fundo da Piscina	5,90 kW
Perdas por Condução nas Paredes da Piscina	6,82 kW
Perdas por Convecção Livre	11,20 kW
Perdas por Evaporação	15,66 kW
Somatório das Perdas Térmicas	42,81 kW

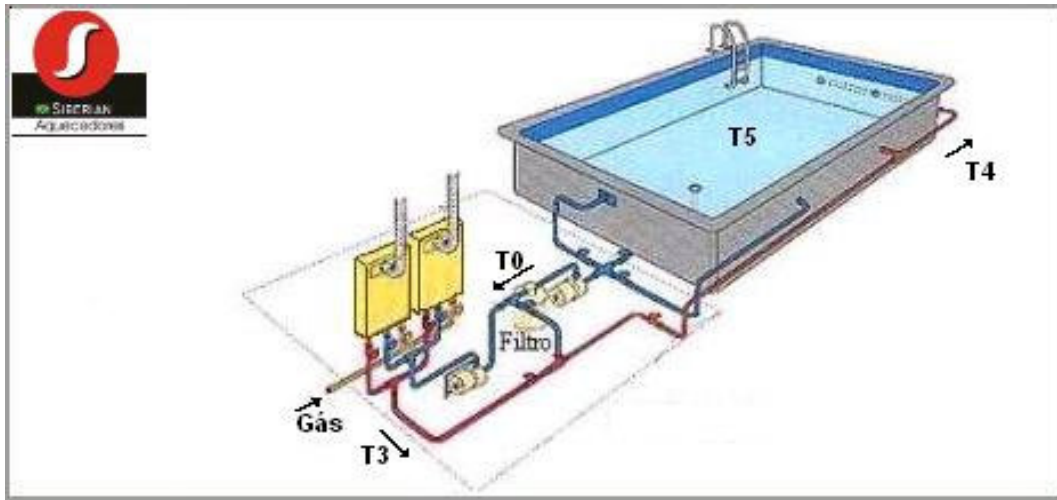


### 3.1 Modelo de Aquecimento

Para o dimensionamento da capacidade energética do sistema de aquecimento requerida foi desenvolvido um simulador de aquecimento de piscina em regime transiente, desenvolvido na linguagem Borland C++ Builder 5. O modelo simulado é apresentado na Fig. 1, composto pela piscina, trocando calor com o ambiente e pelo sistema de circulação e aquecimento de água. A água da piscina a uma temperatura inicial  $T_0$  é bombeada para o trocador de calor, que posteriormente sai a uma temperatura  $T_3$  maior que a inicial. Ao percorrer a tubulação mesmo isolada existe uma perda térmica por condução que acarreta em um decréscimo de temperatura  $T_4$ . Devido ao grande volume d'água a temperatura cai drasticamente  $T_5$ , obtida a partir da temperatura de mistura, considerando-se as perdas térmicas na piscina (Condução, Evaporação, Radiação e Convecção). Essa temperatura é levemente superior a  $T_0$ . Obtém-se dessa forma um incremento de temperatura ao longo do tempo e suas respectivas perdas térmicas. Através de uma formulação de balanço de energia obtém-se a eq. (1) para o cálculo da temperatura média da piscina,  $T_5$ , sendo calculada a cada intervalo de tempo junto com suas respectivas perdas térmicas.

$$T_5 = \frac{\frac{[-Q + mC_p T_4](t_1 - t_0)}{\rho V C_p} + T_i}{1 + \frac{m(t_1 - t_0)}{\rho V}} \quad (1)$$

Na Fig. 2 observa-se que a temperatura média da piscina necessita de 31 horas para atingir  $35^{\circ}\text{C}$ , porém atinge  $32^{\circ}$  (temperatura de conforto térmico) em 24 horas.



Hipóteses do modelo:

- Sistema Aberto
- Regime Transiente
- Balanço de Massa
- Balanço de Energia

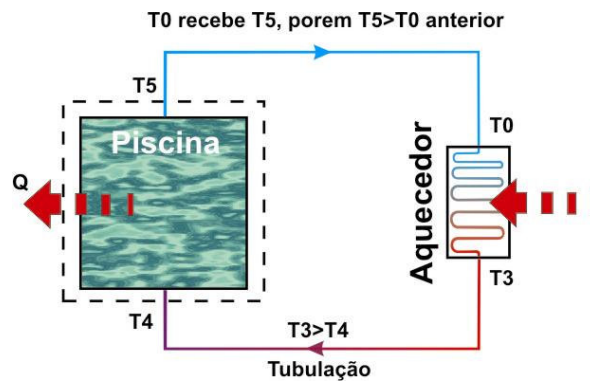


Figura 1. Esquema de montagem do conjunto e do modelo

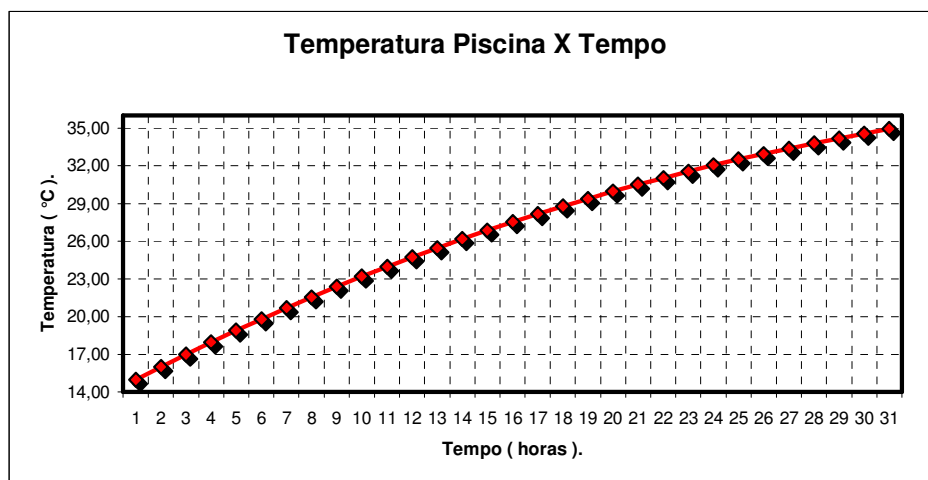


Figura 2. Gráfico da temperatura teórica da piscina em função do tempo

Na Fig. 3 apresenta-se o cálculo das perdas térmicas pelos diferentes processos no regime transiente. Observa-se que a perda por condução pelas paredes é o termo de maior importância, sobretudo por que a piscina utilizada para este dimensionamento não foi construída com isolamento

térmico. Com o aumento da temperatura da piscina as perdas por convecção e evaporação passam a serem importantes também, em função disto, é importante, quando não utilizada, manter a piscina coberta com uma capa térmica.

São necessários dois aquecedores para iniciar o processo de aquecimento do sistema, mas quando o controlador detecta que somente um aquecedor consegue prover o sistema ela desliga um aquecedor e opera somente com o outro.

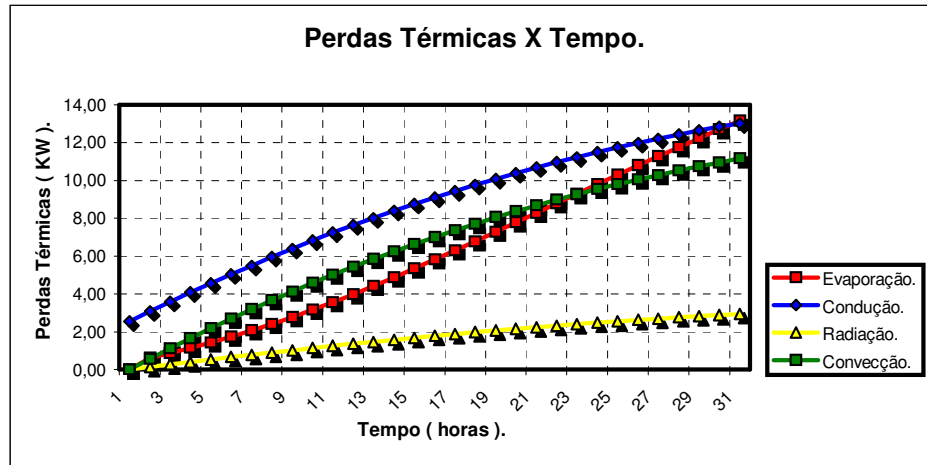


Figura 3. Gráfico das perdas térmicas em função do tempo

### 3.1 Dimensionamento dos queimadores

Para dimensionar o Trocador de Calor é necessário determinar as temperaturas de entrada e saída. Através coeficiente de excesso de ar = 1,05, eq. (2), e a reação estequiométrica foi possível determinar as entalpias do ar, combustível e da mistura proveniente dos escapamentos e balanço de massa e energia em todo sistema se obteve as vazões mássicas. Com o balanço de energia no queimador obtém-se a temperatura de entrada no trocador de calor igual a 1680 °C, maior que o ponto de fusão do cobre.

$$\alpha = \frac{\left(\frac{Ar}{Combustivel}\right)_{Real}}{\left(\frac{Ar}{Comb}\right)_{Estequimetrico}} = 1,05 \quad (2)$$

A solução foi estipular a temperatura de entrada igual a 500°C e através de uma simulação iterativa para os valores de alfa determinar as outras propriedades. A temperatura de saída do trocador de calor foi estipula em 150°C para não haver condensação de ácidos. O aquecedor foi dimensionado com circulação em contracorrente, Figs. 4 e 5.

Foram construídos dois aparelhos ligados em paralelo de 15,5 m de comprimento de tubo e queimadores com 26,5 KW de potência controlados por válvula solenóide e controlador digital para desligar um dos aparelhos quando obter a temperatura desejada.

O trocador de calor foi projetado com aletas, em alternado e com isolante térmico para obter uma melhor eficiência térmica.

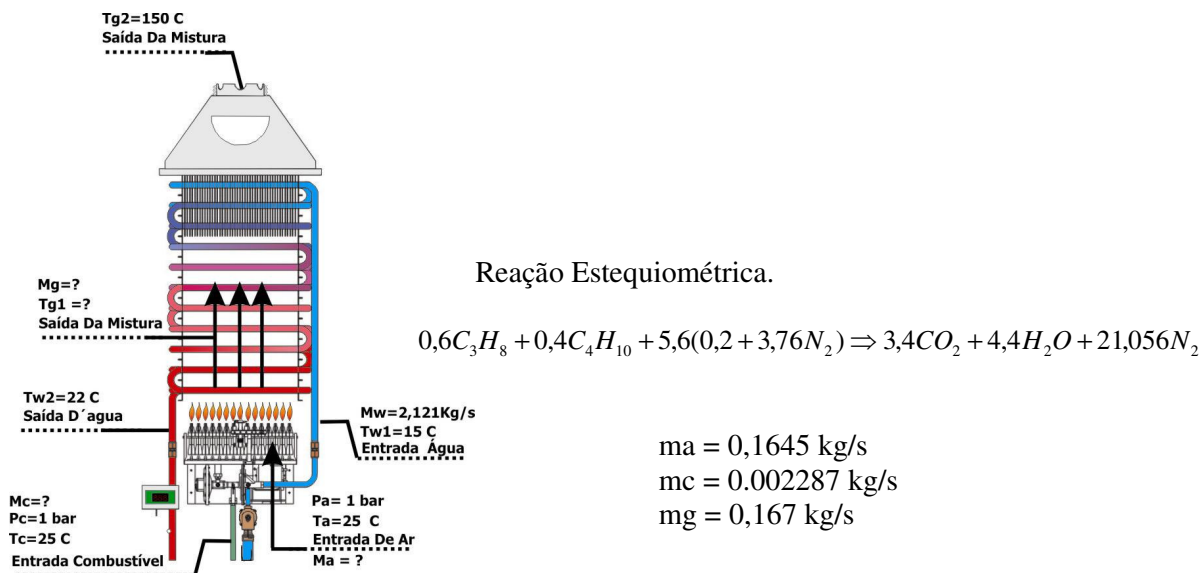


Figura 4. Condições de cálculo

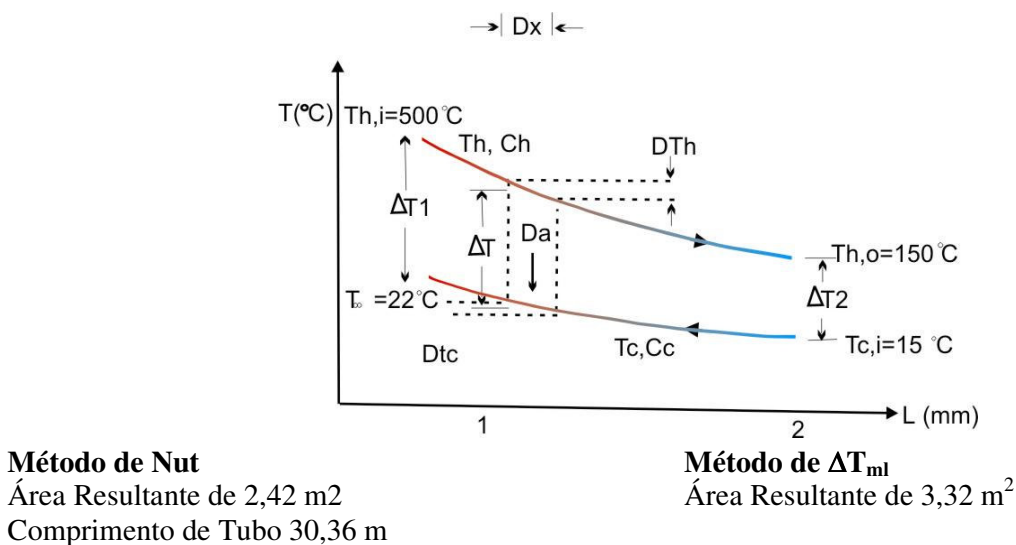


Figura 5. Gráfico Temperatura x Comprimento

#### 4. RESULTADOS

Como visto nas Figs. 6 a 8, a temperatura prática apresentou uma pequena defasagem em relação à teórica devida ao grande volume da piscina e somente uma entrada de água quente, dificultando a velocidade de homogeneização entre temperaturas frias e quentes, não considerado nos cálculos teóricos.

Os aquecedores forneceram resultados práticos superiores aos teóricos, pois foi anexado ao equipamento aletas e isolantes térmicos.

A Temperatura de entrada no Aquecedor (fundo da piscina) foi muito prejudicada pela diferença de densidade entre a água fria e quente, Fig. 8.

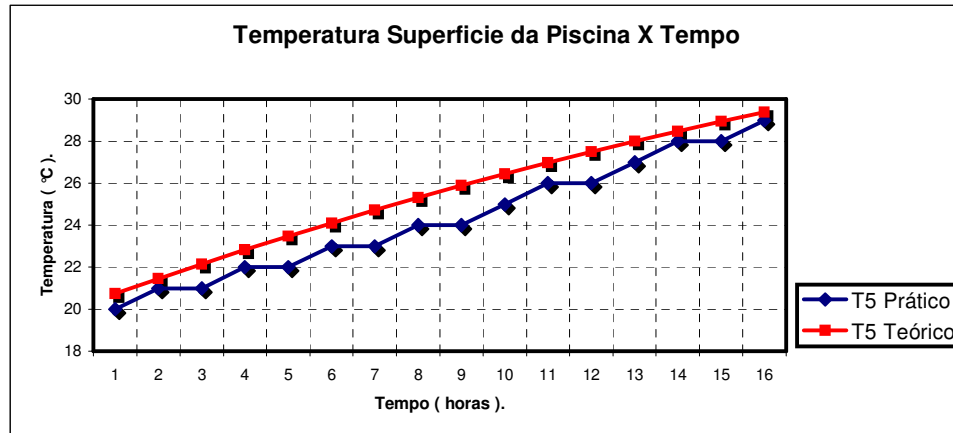


Figura 6. Temperatura Média da Piscina

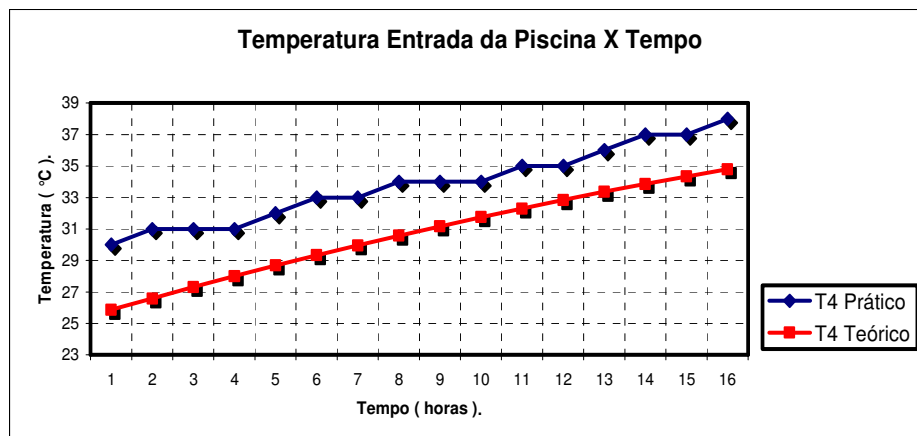


Figura 7. Temperatura de Entrada na Piscina.

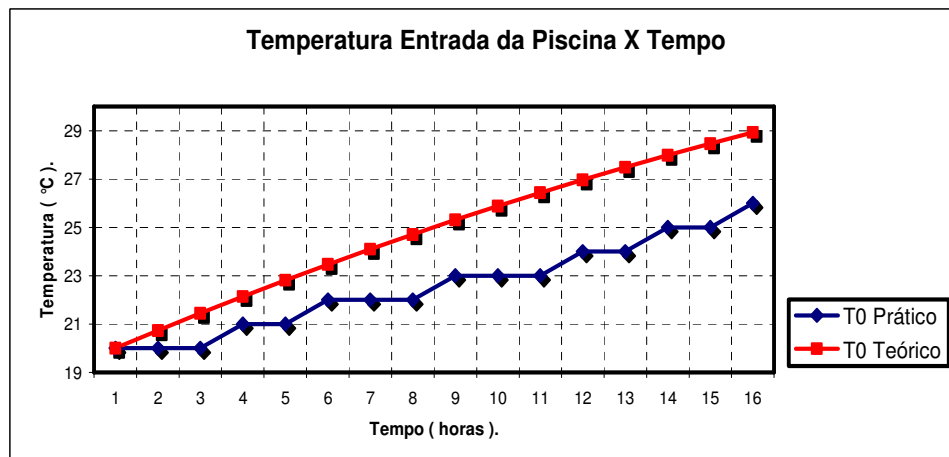


Figura 8. Temperatura de Retorno



#### 4.1 Alterações de projeto

Aletas de alumínio muito próximas dos queimadores, Fig. 9, apresentaram condensação acentuada devido à baixa temperatura inicial e a alta umidade relativa do ar. A solução, no protótipo, foi remover as primeiras camadas de aletas próximas dos queimadores resolvendo o problema completamente.

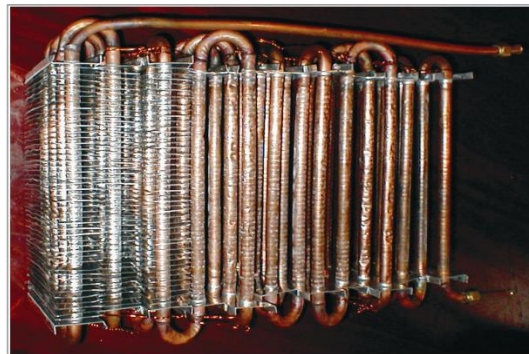
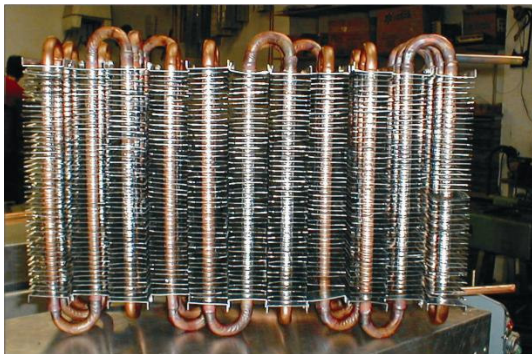


Figura 9. Modificação no Trocador de Calor

#### 5. CONCLUSÃO

Com as considerações iniciais de projeto observou-se um comportamento experimental muito próximo ao modelo adotado. Entretanto a diferença de temperatura entrada/saída nos aquecedores forneceu resultados superiores aos valores teóricos, provavelmente devido ao superdimensionamento na espessura do isolante térmico, utilização de aletas no trocador de calor, a instalação de válvulas obstruindo parcialmente o escapamento dos gases e permitindo uma leve pressão positiva nos trocadores de calor e a instalação dos tubos dos trocadores de calor alternado, tornando o escamento mais turbulento.

A metodologia e programas de simulação são aplicáveis a todos os modelos de piscina em diferentes condições ambientais, porém quanto maior o volume da piscina e menor o número de saídas de água quente, ocasiona imprecisões consideráveis devido à baixa capacidade de mistura da água.

Com baixo custo inicial, mais econômico que a maioria dos outros produtos no mercado e bons resultados de aquecimento, comprova-se que estes aquecedores são uma ótima opção para o mercado.

#### 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- W. F. Stoecker, J. W. Jones; Refrigeração e Ar condicionado; tradução José M. Saiz Jabardo – São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1985.
- J. P. Holman; Heat Transfer; 4<sup>a</sup> ed., McGraw-Hill, New York: USA; 1976.
- G. J. Van Weylen e R. E. Sonntag; Fundamentals of Classical Thermodynamics; Wiley; New York: USA; 1970.
- ASHRAE Handbook, Fundamentals Volume, Cap.08, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers; Atlanta: USA; 1981.
- F. P. Incropera, D. P. Witt; Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa; 4<sup>a</sup> ed; LTC do Brasil; 1990.
- Baldam, R. de Lima, Utilizando Totalmente o Autocad; 9<sup>a</sup> ed.; Érica Editora; São Paulo, Brasil; 1966.
- Mizrahi, Victorine Viviane; Treinamento em Linguagem C; McGraw-Hill, São Paulo, Brasil; 1990.

## 7. DIREITOS AUTORAIS

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

### HEAT EXCHANGER FOR SWIMMING POOL HEATING

**João Casagrande Angelo**

Eletromeca Metalúrgica Casagrande LTDA

joaoangelo1979@hotmail.com

**Luís Mauro Moura**

Mechanical Engineering Departament, Pontifical Catholic University of Paraná - PUCPR

Imaculada Conceição, 1155, 80215-901 – Curitiba – PR – Brazil

Lmoura@ccet.pucpr.br

**José Antônio Velásquez Alegre**

Mechanical Engineering Departament, Pontifical Catholic University of Paraná - PUCPR

Imaculada Conceição, 1155, 80215-901 – Curitiba – PR – Brazil

velasqz@rla01.pucpr.br

**Abstract.** *This project has been developed based on a market opportunity. The high coast to acquire and maintenance of a swimming pool heater, force small swimming pool clubs and residences to keep doors closed during several cold days in the year. The main idea is to provide a device with some technological sources and high thermal efficiency with low price. The present project is based on a several study of market brands. The challenging is to find a thermal comfort for the all-different sizes of swimming pools and theirs specifics heat loses. Technique to solve detail problems on product conception, thermal calculation and a program to view the heating curves during the time are used to provide a reliable and safety project. The final propose is to build this swimming pool heater with low initial price, easy to use, to maintain, to set and safety for the user.*

**Keywords.** *heat exchangers, gas heaters, thermal systems.*