

As Influências das Torres Hiperbólicas nas Usinas Termoelétricas: Um Foco Termonuclear

Influences of Hyperbolic towers in Thermoelectric Power Plants: A Thermonuclear Focus

Raquel Anna Sapunaru¹, Olavo Cosme da Silva², Maria Thereza da Silva Lopes Lima³,
Marina Corrêa de Souza⁴, Tarcísio Santos Flores⁵, Nathália Gracielle da Silva Cruz⁶, Hugo
Duarte Diamantino⁷, Lívia Alves Barroso⁸, Bruna Almeida Rocha⁹, Rômulo Luiz Mendes
Souza¹⁰, Pedro Camilo Ramos¹¹ e Márcio Henrique Marques Macedo¹²

¹ Professora Doutora em Filosofia da Ciência, Instituto de Ciência e Tecnologia, UFVJM, Diamantina, Brasil.

² Professor Doutor em Física, Instituto de Ciência e Tecnologia, UFVJM, Diamantina, Brasil.

^{3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11} Graduandos em Engenharia Química do Instituto de Ciência e Tecnologia, UFVJM, Diamantina, Brasil.

¹² Graduando em Engenharia Mecânica do Instituto de Ciência e Tecnologia, UFVJM, Diamantina, Brasil.

Resumo

Trata-se de um estudo breve da importância/eficiência e influência das torres hiperbólicas no processo de resfriamento de termoelétricas com ênfase nas termonucleares.

Palavras-chave: *Energias alternativas, processos de resfriamento, economia, eficiência.*

Abstract

We present a brief analysis of the importance and efficiency of hyperbolic cooling towers for nuclear thermoelectric plants. with an emphasis on the thermonuclear plant processes.

Keywords: *Alternative energies, cooling processes, economy, efficiency.*

1 Introdução

Uma torre de resfriamento ou de refrigeração é essencialmente uma coluna que permite a transferência de calor e massa através do contato entre duas correntes de fluidos. *Grosso modo*, a torre de refrigeração é essencialmente um dispositivo de remoção de calor potente. Este calor é oriundo de um processo e, posteriormente, ele será lançado para a atmosfera.

As torres possuem diversas aplicações: são utilizadas em indústrias químicas, termoelétricas, usinas nucleares e sistemas de condicionamento de ar em edifícios. Especialmente, nas torres hiperbólicas de resfriamento das usinas nucleares ocorre o que se chama de processo de tiragem natural, ou seja, o fluxo de ar circula naturalmente pela torre, sem o auxílio de ventiladores, gerando assim um baixo custo para a empresa que utiliza este tipo de torre de resfriamento. Além disso, as torres de resfriamento hiperbólicas possuem características próprias, a saber: aproximadamente 200 metros de altura e 100 metros de diâmetro de base (SAMPAIO, 2010). Por serem muito extensas, elas necessitam de um reforço na sua construção. Geralmente, utiliza-se concreto armado nas estruturas hiperbólicas, pois elas devem ser rígidas o suficiente para suportar não somente o peso dos componentes básicos, tais como, equipamentos mecânicos, distribuição de água, etc., mas também o peso da água, cargas de ventos e eventuais cargas sísmicas (OMNI, 1989).

O presente artigo pretende discorrer, brevemente, sobre a forma hiperbólica das torres de resfriamento em usinas termoelétricas, em breve oposição ao não uso das mesmas, com ênfase nas usinas termonucleares.

2 O Funcionamento das Torres Hiperbólicas

2.1 Descrição

Particularmente nas usinas termonucleares, a água utilizada no resfriamento do reator nuclear chega até a porção inferior da torre e entra em contato com o ar que ali se encontra, aquecendo-o. O ar quente é menos denso do que o frio, logo, tende a subir e dar espaço a entrada do ar frio pela base da torre que apresenta maior densidade. Neste tipo de torre, a água pode entrar em contato com a corrente de ar, gerando uma transferência de calor convectiva, isto é, a transferência acontece através do contato entre os dois fluidos em questão, água e ar. Este encontro entre os dois fluidos pode ocorrer através de um fluxo em contracorrente ou em fluxo cruzado.

No arranjo de fluxo em contra corrente, os fluidos estão em sentidos opostos, enquanto que no fluxo cruzado o ar é direcionado perpendicularmente ao fluxo da água. Destes arranjos apresentados o fluxo em contracorrente é o que apresenta maior eficiência. O fluxo cruzado,

por sua vez, possui uma eficiência muito variável que depende da disposição dos tubos, da trajetória do fluido do tubo com relação ao fluido externo e do número de fileiras. O fato do processo de transferência de calor em fluxos de contracorrente ser mais eficiente deve-se a sua configuração que possibilita um gradiente maior de temperatura da água e do ar. Consequentemente, ele permite uma maior troca de calor convectiva entre os fluidos. Na torre em contracorrente a água pode ser distribuída por pressão ou por gravidade. Porém, nas torres que utilizam o sistema de corrente cruzada, a distribuição é sempre por gravidade.

O sistema de distribuição por gravidade é composto por uma canaleta principal e canaletas secundárias nas quais estão fixados os bicos de aspersão, um tipo pulverização que proporcionam uma distribuição mais homogênea da água sobre a superfície do enchimento. Este tipo de distribuição é empregado nas torres de fluxo cruzado, pois a sua configuração permite que a água desça mais devagar. Logo, há um maior tempo de contato com a corrente de ar perpendicular a queda d'água. Uma de suas principais vantagens consiste no menor trabalho necessário para bombear a água, pois esta não está pressurizada, o que implica em menores custos de operação.

O sistema de distribuição por pressão está amplamente relacionado com o rendimento da torre, pois o aumento da pressão acarreta no aumento do fluxo de água. Contudo, este sistema exige uma maior quantidade de trabalho, já que a água encontra-se pressurizada.

O formato hiperbólico dessas torres contribui para uma maior velocidade de saída de ar quente, pois o afunilamento cria uma região de compressão no local de menor diâmetro. Nele, a velocidade do ar que está escoando no sentido de saída da torre aumentará e sua pressão na parte superior da torre sofrerá um decaimento. As vantagens deste tipo de torre estão ligadas à possibilidade de resfriamento de um grande volume de água, além de evitarem a recirculação do ar na parte interna. As torres de resfriamento hiperbólico apresentam um baixo custo de manutenção, mas possuem um alto custo de construção, devido ao seu formato extenso e apresenta um baixo gasto de energia, gasto este que está relacionado ao bombeamento de água no momento da aspersão.

Dito isso, nos questionamos: Se as torres hiperbólicas têm como principal função resfriar o fluido de trabalho, por que simplesmente não omitimos a torre, deixando este fluido de trabalho resfriar através do contato direto com o ar? Quais seriam as reais vantagens do uso da torre hiperbólica em relação ao vazio?

2.2 Funcionamento

Conforme Junior, as variáveis usualmente definidas na especificação de uma torre são: carga térmica a ser removida, vazão de circulação da água, *range* e *appro-*

ach (JUNIOR, 20011, p. 1). E nas palavras de Sampaio, o *range* de uma torre de resfriamento é definido como a diferença das temperaturas de alimentação da torre, água quente de entrada e, de devolução da torre, água de saída, resfriada. Já o *approach* é a diferença das temperaturas de devolução da torre, água de saída resfriada e, da temperatura de bulbo úmido do ar na entrada da torre (SAMPAIO, 2013, p.17). A temperatura de bulbo úmido é tida como um tipo de medida de temperatura que reflete as propriedades físicas de um sistema constituído pela evaporação. A evaporação ocorre devido à absorção de calor, ocasionando resfriamento, pois, como as moléculas de maior energia escapam, ou melhor evaporam e as que ficam têm menor energia cinética média, a temperatura do líquido diminui; é a temperatura mais baixa que pode ser alcançada apenas pela evaporação da água. Exemplificando, é a temperatura que se sente quando a pele está molhada e está exposta a movimentação de ar. Assim, quanto menor a umidade relativa do ar, maior o resfriamento.

Segundo o Roteiro de Laboratório de Calor e Fluidos, da Faculdade de Engenharia Mecânica da Unicamp, o projeto de uma torre de resfriamento parte dos valores da vazão e da temperatura da água a ser resfriada. Então, uma vez especificada a geometria da torre em termos de suas dimensões e tipo de enchimento, o funcionamento adequado dependerá do controle da vazão de ar. Em termos de insumo energético, a torre demandará potência para fazer escoar o ar, sendo que o enchimento da torre é um elemento que introduz perda de carga; a água deverá ser bombeada até o ponto de aspersão (UNICAMP, p. 1). E ainda, conforme Oliveira esse resfriamento ocorre por meio do contato entre a água quente e o ar ambiente que é insuflado para o interior da torre. A água é resfriada devido à transferência de massa e de calor latente e sensível para o ar (OLIVEIRA, 2010, p. 20).

Os sistemas de refrigeração disponíveis são os seguintes: sistema direto, mar ou rios; lagos de resfriamento, naturais ou artificiais; torres de refrigeração de tiragem mecânica e torres de refrigeração de tiragem natural.

De acordo com informações de Stamm, as Torres de Refrigeração de Tiragem Natural são as mais usadas e possuem como princípio de funcionamento baseado na convecção natural. Nas torres de tiragem natural, cilíndricas ou hiperbólicas, o fluxo de ar depende basicamente da sua altura. Para empreendimentos de grande porte como é o caso das usinas a vapor, atualmente são usadas exclusivamente torres hiperbólicas (STAMM, 1985, p. 31). Um exemplo disso são as usinas nucleares que utilizam torres de resfriamento exclusivamente hiperbólicas. As vantagens apresentadas para a utilização deste tipo de sistema é a maior eficiência nas regiões onde prevalece a alta umidade relativa do ar. Nelas, não têm componentes mecânicos e elétricos, os custos de manutenção são baixos, de excelente confiabilidade, ocupam menor área e a dispersão do vapor ocorre em elevada altitude eliminando os problemas de formação de

neblina e perda de eficiência por recirculação (STAMM, 1985, p. 31). A partir de informações do site Manutenção e Suprimentos, o formato também atende ao processo de resfriamento em si. O projeto natural deste equipamento de trabalho se dá através de bombeamento do fluido quente para cima da torre. Como a gravidade atrai a baixa liquidez, as correntes ascendentes de ar frio permitem a evaporação e a transferência de calor do fluido para o ar, diminuindo assim a temperatura. A forma hiperbólica de resfriamento acelera o fluxo de ar melhorando a eficiência de refrigeração (Manutenção e Suprimentos).

Numa torre de resfriamento, a principal contribuição para o resfriamento da água é dada pela evaporação de parte dessa água que circula novamente na torre. A evaporação da água, transferência de massa da fase líquida para a fase gasosa, causa o abaixamento da temperatura da água que escoar ao longo da torre de resfriamento. Isso ocorre porque a água para evaporar precisa de calor latente e esse calor é retirado da própria água que escoar ao pela torre. Vale lembrar que a transferência de massa da água para o ar ocorre porque as duas fases em contato tendem a entrar em equilíbrio. A evaporação de parte da água é responsável por aproximadamente 80% do resfriamento da água. A diferença de temperatura entre o ar e a água é responsável pelos outros 20 % do resfriamento.

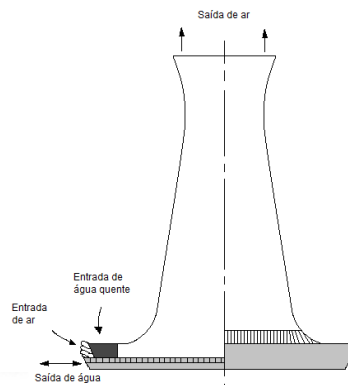


Figura 1- Esquema de funcionamento de uma torre hiperbólica

Conforme Oliveira, nas torres hiperbólicas, assim como nos demais tipos de torres, o ar entra em contato com a água quente, aquece-se e sua densidade diminui. A diferença de densidade entre o ar dentro da torre e o ar externo produz um escoamento natural do ar frio que entra na região inferior da torre e o ar mais quente e menos denso sai no topo. As torres com aspiração natural possuem chaminé de aspiração que facilita a saída do ar quente (OLIVEIRA, 2010, p. 28).

Nas palavras de Sampaio, na prática, para torres de resfriamento, comumente é utilizado o conceito de eficiência de resfriamento, dado por:

$$e_{torre} = \frac{(T_{entrada\ da\ água} - T_{saída\ da\ água})}{(T_{entrada\ da\ água} - T_{bulbo\ úmido})}$$

(SAMPAIO, 2013, p. 17).

Neste ponto, vale nos aprofundarmos um pouco mais na teoria de máquinas térmicas. A análise de eficiência de uma torre de resfriamento se dá a partir da razão entre as transferências de energia na forma de calor (Q), supondo comportamento real e ideal. Como já definido anteriormente, a temperatura de bulbo úmido é a mínima temperatura que a água pode atingir dado o processo de resfriamento. Partindo dessa ideia, a máxima troca de calor possível depende da temperatura de entrada da água, logo após a movimentação das turbinas. Consequentemente, se trata da maior temperatura presente no processo de resfriamento, associada à temperatura do bulbo úmido. Entende-se esse processo como sendo ideal, ou seja, aquele que possibilita a máxima transferência de calor, dado pela fórmula:

$$Q_{ideal} = m C_p (T_{entrada} - T_{bulbo\ úmido})$$

sendo m como sendo a massa de água analisada e o C_p como o calor específico da água a pressão constante.

Entretanto, considerando um comportamento real, a temperatura que a água atinge após o resfriamento é superior quando comparada a temperatura de bulbo úmido. Isso torna a transferência de calor nesse processo inferior, quando comparado ao processo ideal, como representa a fórmula:

$$Q_{real} = m C_p (T_{entrada} - T_{saída})$$

De acordo com as informações apresentadas temos que a eficiência do processo de resfriamento é a razão entre as transferências de calor entre a situação real e a ideal. A disposição dessa divisão deve-se ao fato de considerarmos a eficiência como sendo uma porcentagem, e seu máximo como 1, ou 100%. Dessa forma, o valor presente no denominador deve ser o maior, visando a percepção de quão eficaz é o processo comparado ao modelo ideal. Sendo assim:

$$e_{torre} = \frac{Q_{real}}{Q_{ideal}} = \frac{m C_p (T_{entrada} - T_{saída})}{m C_p (T_{entrada} - T_{bulbo\ úmido})}$$

Como as massas e os calores específicos possuem os mesmos valores, podemos simplificar a expressão:

$$e_{torre} = \frac{(T_{entrada} - T_{saída})}{(T_{entrada} - T_{bulbo\ úmido})}$$

Através da fórmula da eficiência de uma torre de resfriamento, vemos o motivo de ela ser empregada, principalmente, em usinas termelétricas. A temperatura

de entrada da água é altíssima, devido ao aquecimento a que ela é submetida em etapas anteriores. Assim que passa pela torre de resfriamento sua temperatura é diminuída, obtendo-se uma diferença relativamente grande entre a temperatura de entrada e a de saída da água, ocasionando em um numerador maior, quando utilizamos a fórmula de eficiência supracitada.

Imaginando outra situação de resfriamento da água, mas considerando que ela é resfriada ao ar livre, sem uma torre de resfriamento, a temperatura final da água será bem maior quando esta é submetida ao resfriamento por uma torre. Como nas duas situações a temperatura de entrada da água é a mesma com ou sem a torre, neste segundo caso, a diferença entre as temperaturas de entrada e saída da água é muito pequena, ocasionando em um numerador pequeno.

Considerando que os denominadores são os mesmos para as duas situações, pois a temperatura com que a água chega é a mesma e a temperatura do bulbo úmido é medido por um termômetro que independe se se trata de uma torre ou apenas resfriada ao ar livre, a primeira possui um numerador maior que a segunda. A razão representada na fórmula de eficiência será maior para a primeira situação comparada com a segunda, resultando em um maior coeficiente de eficiência para o primeiro caso. Assim, provando que as torres são mais eficientes quando se tratam do resfriamento da água.

3 Conclusão

As torres hiperbólicas das termoelétricas tem como função o resfriamento da água utilizada nas usinas, processo realizado através da transferência de calor entre a água aquecida e o ar frio. O funcionamento das torres consiste no gotejamento da água aquecida, possibilitando o contato da mesma com o ar frio. Assim, o ar frio retém o calor da água tornando-se menos denso que anteriormente, consequentemente sobe até o topo da torre sendo liberado na atmosfera. Posteriormente, a base encontra-se livre para a entrada de uma nova camada de ar frio, a água por sua vez é liberada com uma temperatura ideal pra ser reutilizada.

Em vista do que foi apresentado ao longo deste artigo, parece-nos claro o suficiente que as torres hiperbólicas possuem maior eficiência na refrigeração da água. Isso ocorre devido à estrutura da torre que permite melhor fluxo do ar quente, não possibilitando a recirculação desse ar. Além disso, o sistema proporciona maior superfície de contato do ar frio com a água aquecida, assegurando maior efetividade no resfriamento. Diferentemente do sistema de refrigeração com torres hiperbólicas, o sistema ao ar livre não possui tal eficiência devido à ocorrência da recirculação do ar e também o fato da superfície de contato entre a água e o ar frio ser menor. Ainda assim, o calor retido muito próximo ao solo pode gerar problemas ambientais ou atingir a população local causando-as desconforto.

Agradecimentos

Agradecemos ao Professor Rubens Martins Moreira do Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear (CDTN) por nos receber e nos incentivar a defender e divulgar a energia nuclear.

Agradecemos ao Professor Alexandre C. Tort, do Instituto de Física da UFRJ, pelas correções, sugestões e paciência, com o nosso excesso de entusiasmo.

Agradecemos a Professora Socorro Lima Costa do Departamento de Ciências Biológicas por abraçar nosso projeto.

Agradecemos à FAPEMIG e ao CNPq, sem os quais esta pesquisa não poderia ser realizada.

Agradecemos ao Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT) da UFVJM e a Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-graduação da UFVJM pelo apoio logístico e confiança.

UNICAMP, Laboratório de Calor e Fluido. Disponível em: <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0C DIQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.fem.unicamp.br%2F~em712%2Ftorre.doc&ei=ArBsVJCnO4ukg wTKsoSgCQ&usq=AFQjCNEWP_FESg0PnqIqm37_rGU_X1PxA&sig2=_DBZiWV89HRkJInSvUr6Jg&bv=80120444,d.eXY>. Acesso em: 19 out 2014.

Referências

JUNIOR, R. C. de L. Modelagem Fenomenológica do Desempenho de Torres de Resfriamento de Água Acopladas e Estudo de Casos. 2011. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

MANUTENÇÃO E SUPRIMENTOS. Disponível em: <<http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/sub-segmento/torres-de-resfriamento-hiperbolica/>>. Acessado em: 15 maio de 2014.

OLIVEIRA, V. F. de. Diagnóstico de Eficiência Energética de uma Torre de Resfriamento de Água da Arcelormittal Inox do Brasil. 2010. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

OMNI. Torres de Resfriamento de Água. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfvc4AE/apostila-torre-resfriamento#>>. Acesso em: 15 out 2014.

SAMPAIO, F. S. Torre de Resfriamento: Modelagem, Simulação e Testes Experimentais para o Apoio ao Ensino de Engenharia Mecânica. 2013. 158 f. Monografia – Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

STAMM, H. R. Localização de Usinas Térmicas. 1985. 106 f. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 1985.