

ÁREA TEMÁTICA: Gestão Ambiental

ANÁLISE ECONÔMICA DE REDUÇÃO DE SÓLIDOS SUSPENSOS EM TORRE DE RESFRIAMENTO USANDO FILTRAÇÃO LATERAL

Fernanda Selbach¹ (fernanda_selbach@yahoo.com.br), Luciano Peske Ceron¹ (Luciano.ceron@puhrs.br), Gabriel Espindola de Araújo¹ (g.e.araujo@outlook.com), Rodrigo Iglesias (rodrigo.iglesias@puhrs.br)

1 Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

RESUMO

Na maioria dos processos produtivos, há necessidade de remover calor de sistemas. A água aparece como o fluido de resfriamento mais utilizado. Após ser utilizada como fluido refrigerante, a água "quente" que retorna do processo é resfriada em torres de resfriamento de água, sofre abaixamento de temperatura e volta novamente ao processo. A redução de temperatura nas torres de resfriamento ocorre basicamente por processo evaporativo. As perdas por evaporação e respingos acarretam a concentração de sais dissolvidos e sólidos, que conferem características corrosivas e incrustantes à água e devem ser removidos. Existem basicamente dois métodos de abatimento de impurezas nos sistemas de resfriamento de água: purga controlada e sistemas de filtração. O objetivo deste artigo foi calcular o aumento do custo operacional de uma torre de resfriamento devido a indisponibilidade do sistema de filtração lateral para abatimento de sólidos suspensos na água. A torre de resfriamento avaliada está instalada em uma refinaria de petróleo localizada no Rio Grande do Sul. A coleta de dados de projeto (contemplando a filtração lateral), dados de análises de acompanhamento da água de resfriamento e dados de operação permitiram calcular o aumento do custo de operação devido a indisponibilidade do sistema de filtração. Na avaliação econômica foram considerados valores médios para o custo de captação e tratamento das águas de reposição e da água de purga.

Palavras-chave: Torres de resfriamento;Purga; Filtração lateral.

ECONOMIC ANALYSIS OF REDUCTION OF SUSPENDED SOLIDS IN COOLING TOWER USING SIDE FILTRATION

ABSTRACT

In most production processes, there is a need to remove heat from systems. Water appears as the most commonly used cooling fluid. After being used as a refrigerant, the "hot" water that returns from the process is cooled in cooling towers, undergoes a temperature drop and returns to the process again. The lowering of temperature in the cooling towers occurs basically by evaporative process. Evaporation and splash losses result in the concentration of dissolved and solid salts, which impart corrosive and fouling characteristics to the water and must be removed. There are basically two methods of abating impurities in water cooling systems: controlled purge and filtration systems. The objective of this article was to calculate the increase in the operating cost of a cooling tower due to the unavailability of the lateral filtration system for the reduction of suspended solids in the water. The evaluated cooling tower is installed in an oil refinery located in Rio Grande do Sul. The collection of project data (including lateral filtration), cooling water monitoring data and operating data allowed us to measure the economic impact due to the stopping of the filtration system for maintenance. For the economic evaluation, mean values were considered for the cost of abstraction and treatment of the waste water and the for the purge effluent.

Keywords: Cooling tower; Blowdown; Side-stream.

1. INTRODUÇÃO

As operações que envolvem transmissão de calor e necessitam resfriamento para controle de temperatura aparecem como sendo uma das etapas de maior demanda de água nos processos industriais. A redução de consumo dos recursos hídricos dentro de uma instalação industrial está intimamente ligada à reutilização interna da água. No contexto de limitação de uso e necessidade de diminuição de demanda de captação, aparecem os sistemas de arrefecimento que, em geral, operam em circuitos com recirculação visando a reutilização de água (OLIVEIRA, 2010). De acordo com Sautchúk (2004), a empresa que reutiliza suas águas reduz as vazões de captação e lançamento, contribuindo para conservação dos recursos naturais.

Para que possa ser reutilizada, a água que circula pelos equipamentos do processo como fluido refrigerante, retorna quente à uma torre de resfriamento para sofrer redução de temperatura (FREIRE, 2015). Blackadder e Nedderman (2004) definem uma torre de resfriamento como uma coluna de transferência de massa e calor, projetada de forma a permitir uma grande área de contato entre as duas correntes.

Trovati (2004) esclarece que “O tratamento da água de resfriamento pode ser feito com o emprego de diversas técnicas e métodos, sejam eles químicos, físicos ou uma combinação de ambos. A escolha do melhor método deve se basear na sua eficiência e, evidentemente, no seu custo fixo e operacional. Deve-se, também, levar em consideração os efeitos ambientais e respectiva legislação de controle.”.

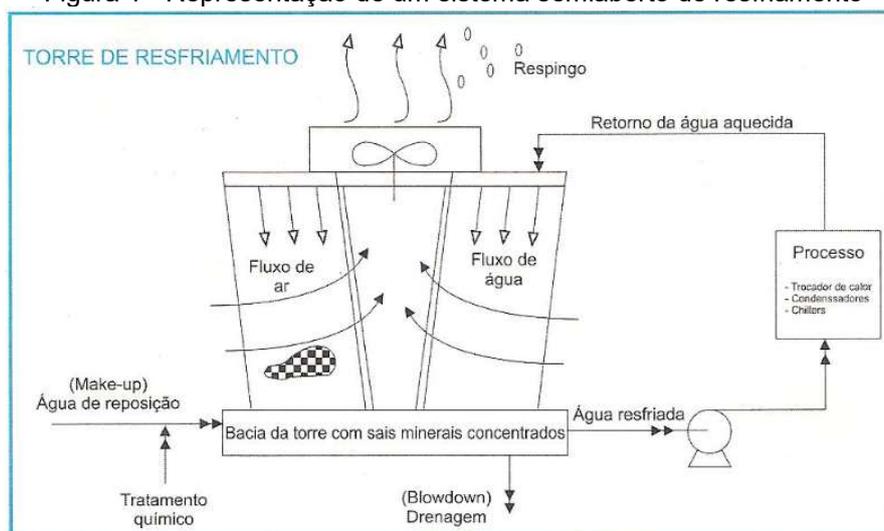
A motivação para este estudo de impacto econômico é decorrente da indisponibilidade do sistema de filtração lateral devido parada para manutenção do sistema de retrolavagem automática. Foi efetuado cálculo para verificação do aumento de custo de operação de uma torre de resfriamento, utilizando dados de projeto dos equipamentos envolvidos, dados de processo e resultados das análises na água de resfriamento.

1.1 Torres de resfriamento

Quando a água passa pelos equipamentos de troca térmica nos processos, sofre um aquecimento que pode variar até 15°C. A torre de resfriamento será responsável por permitir o abaixamento da temperatura desta água novamente (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

A Figura 1 representa um sistema de resfriamento semi aberto com recirculação.

Figura 1 - Representação de um sistema semiaberto de resfriamento



Fonte: MONTAGNOLI (2003).

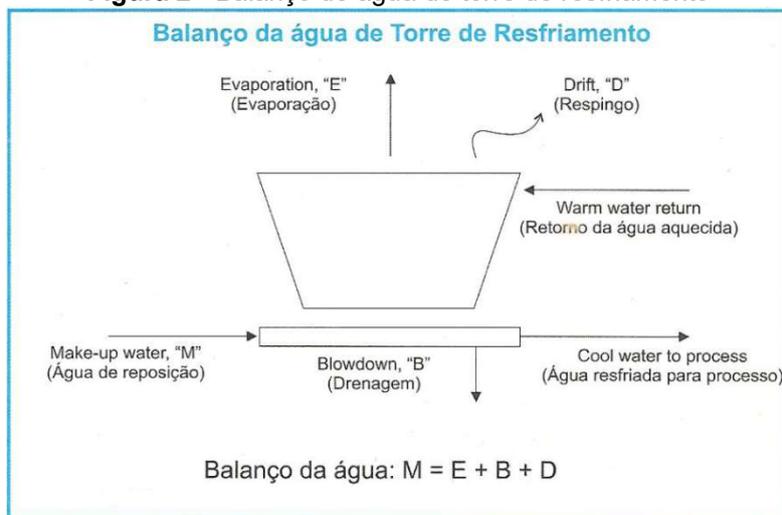
Na maioria dos sistemas de torre de resfriamento, a água quente (água a ser resfriada) retorna ao topo da torre para ser distribuída, por bicos dispersores, sob o material de enchimento interno, chamado recheio. O recheio vai permitir que as gotículas de água aquecida, que vão descer, sejam distribuídas de forma uniforme por toda a área da torre, aumentando a superfície de contato água-ar (MONTAGNOLI, 2003).

Segundo Elking (1997), salienta que sistemas abertos de resfriamento, são caracterizados por descarte da água quente de volta ao local de captação, apresentam consumo elevado de água, sendo utilizados somente quando existe abundante disponibilidade hídrica. Além disso, este tipo de sistema impede a execução de tratamento químico da água para prevenção de corrosão e incrustação, devido ao grande volume a ser tratado e também devido à restrição de descarte destes produtos químicos nas bacias receptoras. A água como fluido refrigerante de processo, se utilizada sem tratamento químico, acarreta a necessidade de utilização de materiais não-ferrosos nos tubos dos trocadores de calor, de maior custo se comparado com aço-carbono. Outra desvantagem de utilização de sistema aberto, diz respeito à poluição térmica que seria gerada pela água quente, se descartada de volta na bacia.

A torre de resfriamento avaliada neste artigo opera em circuito semi aberto com recirculação, evitando grandes desperdícios de água. Mierzwa; Hespanhol (2005) descreve que em sistemas do tipo semi aberto, uma reposição de água sempre é necessária para suprir as perdas inerentes ao processo de resfriamento. O conhecimento das perdas em sistema semi aberto de resfriamento é importante para adoção de medidas operacionais que visem a redução das mesmas.

No sistema de resfriamento de água do tipo semiaberto ocorrem perdas por evaporação, arraste de gotículas pelo ar, respingos, purga e vazamentos (em menor proporção). O somatório das perdas pode representar até 4% da vazão de água circulante no circuito (CORTINOVIS, 2006). A Figura 2 apresenta de forma esquemática os diversos tipos de perda que ocorrem em uma torre de resfriamento.

Figura 2 - Balanço de água de torre de resfriamento



Fonte: MONTAGNOLI (2003).

As perdas por evaporação de água na torre de resfriamento dependem dos seguintes fatores (DANTAS, 2004):

- Diferencial de temperatura entre a água de retorno do processo (quente) e a água de saída da torre de resfriamento (fria): Quanto maior for a temperatura de retorno da água que retorna do processo maior será a taxa de evaporação de água da torre;
- Umidade relativa do ar: quanto maior a umidade relativa do ar, maior a dificuldade de evaporação, diminuindo a eficiência da torre;
- Diferença entre a temperatura da água que sai da torre de resfriamento e a temperatura de bulbo úmido (*Approach* da torre de resfriamento): quanto maior essa diferença entre as temperatura maior a perda de água por evaporação.

A temperatura de bulbo úmido é utilizada como uma temperatura de referência, medida em condições padronizadas e que varia em relação a umidade relativa do ar. A temperatura de bulbo úmido traduz o valor mínimo de temperatura que pode ser atingido em água de uma torre de resfriamento (OLIVEIRA, 2010).

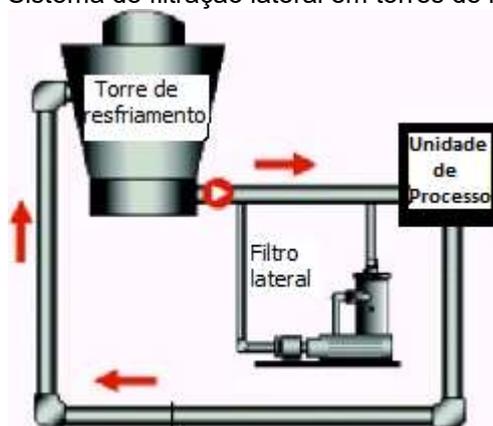
1.2 Filtração em sistemas de resfriamento de água

A operação de filtração pode ser projetada para vazão total de água da torre de resfriamento ou apenas para um percentual do volume circulante, dita filtração lateral. Esta última é amplamente indicada, se comparada à filtração total, por apresentar satisfatória melhoria da qualidade da água com menor custo de instalação e manutenção (MONTAGNOLI, 2003).

A filtração lateral em sistema de resfriamento de águas é efetuada sobre uma pequena fração (1 a 5%) da água circulante, suficiente para manter uma concentração de sólidos em suspensão aceitável (máxima de 100ppm). Este sistema tem como objetivo melhorar a qualidade da água de resfriamento devido a redução da concentração de sólidos em suspensão. Testes demonstram também que ocorre redução da corrosividade da água (ELKIND, 1996). O projeto original de operação da torre de resfriamento avaliada contempla a filtração de 3% do volume total de água circulante.

A Figura 3 apresenta um esquema simplificado de filtração lateral demonstrando que a fração de água que é filtrada retorna para circuito de resfriamento.

Figura 3 - Sistema de filtração lateral em torres de resfriamento



FONTE: MORAES (2017).

Montagnoli (2003) orienta que dentre os sólidos que causam problemas em um circuito de resfriamento e que podem ser removidos através de filtração, destacam-se:

- As partículas metálicas e incrustações desprendidas dos equipamentos e das tubulações;
- Poeira carregada pelo ar e que é puxada para dentro da torre pelos ventiladores;
- Os minerais precipitados pelo uso de produtos químicos ou de condicionadores magnéticos;
- Areia e terra contidos na água de make-up.

Removendo esses sólidos da água da torre de resfriamento, será garantida melhor qualidade da mesma, com isso pode-se obter diversos ganhos econômicos, tais como (MONTAGNOLI, 2003):

- Redução do custo de manutenção: menos paradas para limpeza na bacia da torre, nos trocadores de calor, *chillers* (resfriadores) e outros equipamentos do sistema de resfriamento;
- Economia de energia: melhor troca térmica nos trocadores de calor e *chillers* (resfriadores);
- Redução no consumo de água: redução na necessidade de purga e reposição;
- Sensível redução no consumo de produtos químicos: devido a redução de purga e reposição a ao ganho de eficiência dos bactericidas dosados.

2. OBJETIVO

O objeto deste trabalho é uma torre de resfriamento instalada em refinaria de petróleo, situada no estado do Rio Grande do Sul, originalmente projetada para operar com sistema de filtração lateral. O filtro instalado segundo Lira (2014) é um método físico de tratamento da água de resfriamento,

responsável por promover abatimento de sólidos suspensos e garantia da qualidade da água. Mota (2004) enfatiza que sólidos suspensos são extremamente prejudiciais aos circuitos de resfriamento. A deposição deste contaminante em regiões de baixa velocidade de escoamento, além de obstruir a passagem da água, desencadeia processos corrosivos por depósito, que podem levar a danos extremos de furo nos tubos dos trocadores de calor, detectados através da contaminação das correntes circulantes, forçando a parada do processo produtivo para manutenção.

3. METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido a partir da coleta de dados de projeto, processo e resultados das análises físico-químicas da água de uma torre de resfriamento e da água de reposição.

Dados de projeto do sistema de filtração lateral e da torre de resfriamento, disponíveis nos manuais de operação da empresa onde a torre de resfriamento está instalada, foram utilizados para quantificar a capacidade máxima de remoção de sólidos suspensos da água circulante.

Os dados de processo, tais como tempo de filtração, tempo de duração da retrolavagem e vazão de retrolavagem do filtro foram coletados através do software *PI Process Book*. Esses dados permitiram quantificar a água perdida durante os processos de retrolavagem ao longo de um dia. A capacidade efetiva de filtração foi calculada pela diferença entre capacidade total de filtração de projeto e a água rejeitada no processo de retrolavagem.

Os valores de concentração de sólidos suspensos na água da torre de resfriamento, foram coletados do software *PI Process Book*. A partir do histórico de concentração ao longo dos anos de 2006 até 2012 foi possível calcular um valor médio para este parâmetro. O período de referência citado de 2006 até 2012 é utilizado porque nestes anos existiam registros rotina de análise da concentração de sólidos suspensos. Período de referência mais atual não foi possível de ser utilizado em função da ausência de dados pela extinção da execução de análise de sólidos suspensos. O valor médio de concentração de sólidos suspensos na água de resfriamento circulante permitiu calcular a vazão de purga necessária para abater a mesma massa de sólidos suspensos removidos por filtração lateral.

Os valores de custos do tratamento da água de reposição e da água de resfriamento foram obtidos em planilhas de acompanhamento operacional, fornecidos pelo engenheiro de acompanhamento da torre de resfriamento. Os quantitativos de produtos utilizados no tratamento e os custos unitários não foram apresentados pois tratam de informação sigilosa cuja autorização de divulgação foi negada pela empresa terceirizada tratadora da água.

Calculada a vazão de purga necessária para executar o mesmo abatimento de sólidos suspensos que o filtro e relacionando este valor com o custo de tratamento das águas (reposição e água circulante), foi possível quantificar o impacto econômico da operação da torre de resfriamento sem o sistema de filtração lateral, sendo este o objetivo principal deste trabalho. Os resultados dos cálculos obtidos através da metodologia proposta serão apresentados na seção de Resultados e Discussões.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de projeto do filtro lateral, apresentados na Tabela 1, permitiram calcular a capacidade diária total de sistema filtração, apresentado na Equação 1:

Tabela 1 - Dados de projeto do filtro lateral

Filtro lateral	Valores	Unidade
Fabricante	Weir	
Tipo	Backflushing	
Modelo	FPB-2000LB-12	
Vazão	523	m ³ /h
Pressão mínima/normal/máxima	5,2/7,1/8,5	kgf/cm ²
Temperatura	30-60	°C

Grau de filtração	150	microns
Sólidos concentrados - entrada	800	mg/L
Sólidos concentrados - saída	150	mg/L
Perda de carga/ Limpo (ΔP Limpo)	0,17	kgf/cm ²
ΔP Sujo	0,35	kgf/cm ²
Vazão de lavagem	6 -10% da vazão nominal	

Fonte: MANUAL DE OPERAÇÃO DA TORRE DE RESFRIAMENTO (2005).

$$Q_{filtração} = [T * C_{filtração} * 24] \quad (1)$$

Onde: $Q_{filtração}$ = Capacidade de filtração por dia (m³/d)
 T = Volume circulante da torre de resfriamento (m³/h)
 $C_{filtração}$ = Capacidade % de filtração

A capacidade diária de filtração é de 12.552 m³/dia.

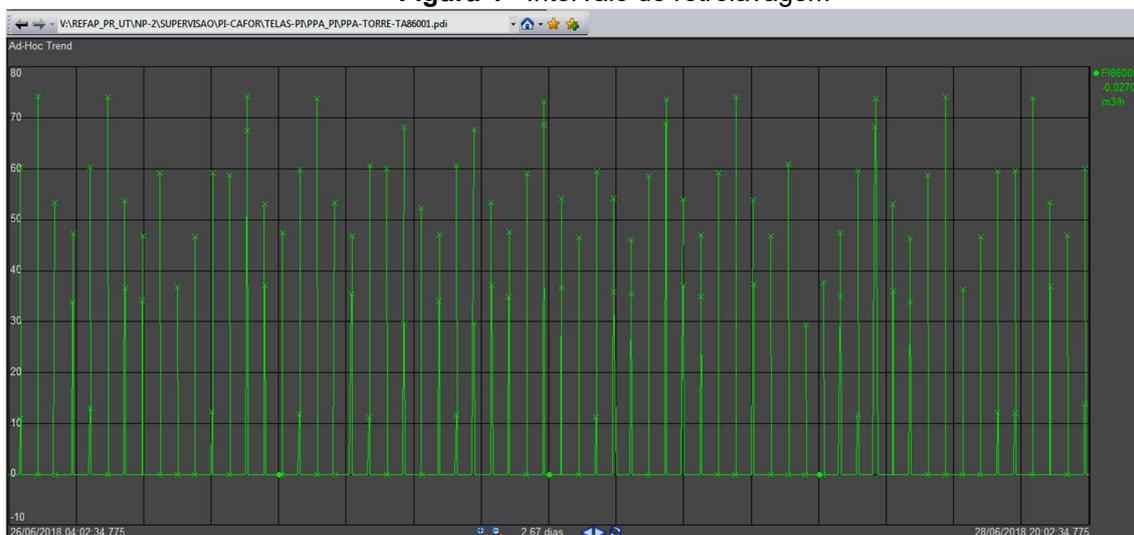
O filtro lateral opera com retrolavagem em automático, consumindo 10% da vazão nominal, conforme os dados já apresentados na Tabela 1. A vazão de água perdida em retrolavagem do filtro pode ser calculada pela Equação 2.

$$Q_{retrolavagem} = [T * C_{filtração}] * 0,10 \quad (2)$$

Onde: $Q_{filtração}$ = Capacidade de filtração por dia (m³/d)
 T = Volume circulante da torre de resfriamento (m³/h)
 $C_{filtração}$ = Capacidade % de filtração

Então, vazão de água perdida em um ciclo de retrolavagem ($Q_{retrolavagem}$) é de 52,3m³/h. Dados operacionais registram que os ciclos de retrolavagem ocorrem a cada 1 hora com duração de 3 min, demonstrados na Figura 4.

Figura 4 - Intervalo de retrolavagem



FONTE: PI Process Book da empresa (2018)

O volume de água de retrolavagem que é perdida durante um dia pode ser calculado pela Equação 3.

$$Q_{\text{retrolavagem por dia}} = Q_{\text{retrolavagem}} * t_{\text{ciclo de retrolavagem}} * N_{\text{ciclos por dia}} \quad (3)$$

Onde: $Q_{\text{retrolavagem por dia}}$ = Vazão perdida por dia no processo de retrolavagem (m³/d)

$Q_{\text{retrolavagem}}$ = Vazão perdida no processo de retrolavagem em um ciclo de retrolavagem (m³/min)

t = Tempo de duração de um ciclo (min)

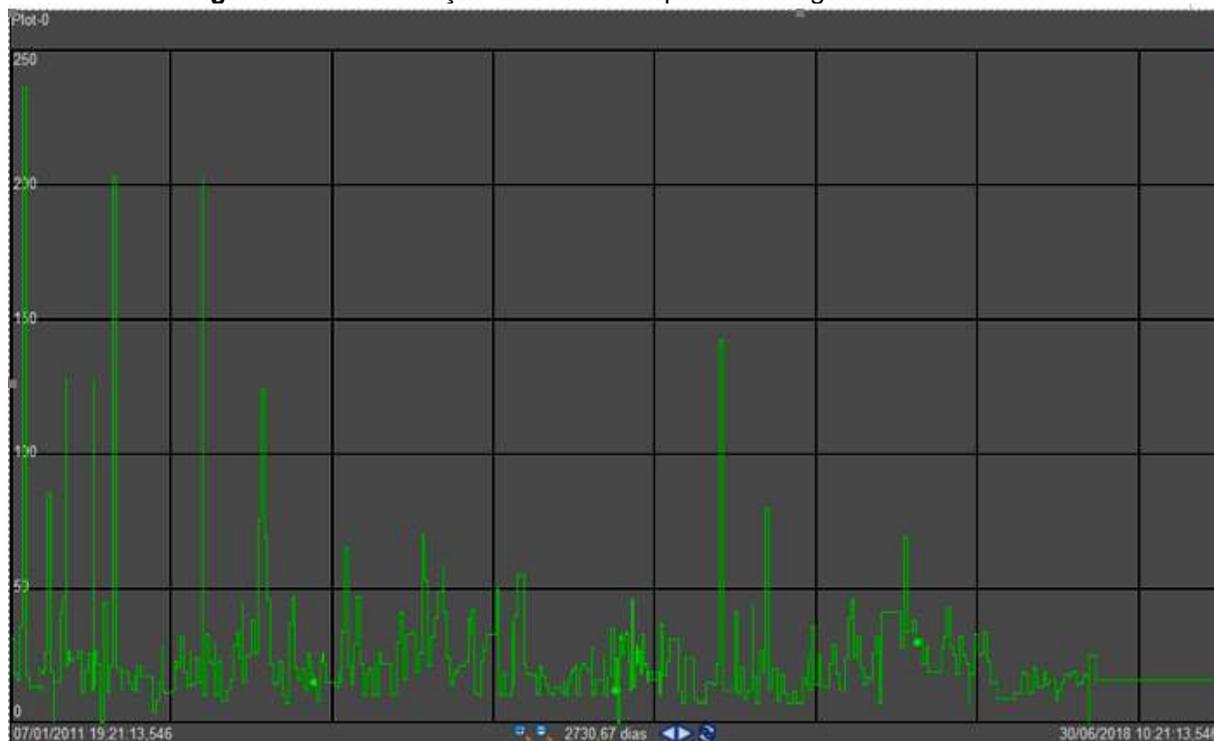
$N_{\text{ciclos por dia}}$ = Número de ciclos de retrolavagem por dia (24)

Então, volume perdido na retrolavagem por dia é de 62,88 m³/dia.

A capacidade efetiva de retrolavagem é calculada pela diferença entre a vazão nominal e vazão perdida na retrolavagem, portanto, a capacidade efetiva de retrolavagem é 12.489,12 m³/dia.

A análise de sólidos suspensos na água de resfriamento apresenta um valor médio entre os anos de 2006 até 2012 de 24,16 ppm (aproximadamente 24,16 g/m³), apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Concentração de sólidos suspensos na água de resfriamento



FONTE: *PI Process Book* da empresa (2018)

A operação do filtro lateral está projetada para filtrar 3% da vazão circulante com a finalidade de reduzir em média 80% de sólidos suspensos presentes na corrente de alimentação, conforma dados já apresentados na Tabela 1.

Sabendo a concentração de sólidos suspensos da água que entra no filtro e a eficiência do filtro, é possível calcular a massa de sólidos em suspensão removidos no filtro, pela Equação 4.

$$M_{SS\text{removidos}} = C_{SS} * Q_{\text{retrolavagem por dia}} * \eta \quad (4)$$

Onde: $M_{SSremovidos}$ = Massa de sólidos suspensos removidos por dia (g_{SS}/dia)
 $Q_{retrolavagem\ por\ dia}$ = Vazão perdida no processo de retrolavagem por dia (m^3/d)
 C_{SS} = Concentração de sólidos suspensos na entrada do filtro (g/m^3)
 η = Eficiência do filtro ($\eta = 0,81$)

Então, a massa de sólidos suspensos removido por filtração é de 244.407 g_{SS}/dia .
 Quando da indisponibilidade do filtro lateral para manutenção, 244 kg/dia de lodo (sólidos suspensos) devem ser abatidos pela execução de purgas, para manter a mesma qualidade da água de resfriamento.
 Sabendo a concentração de sólidos suspensos na água de purga, podemos calcular o volume que teria que ser descartado para purgar 244 kg de sólidos suspensos, pela Equação 5.

$$Q_{Purga} = \frac{M_{SSremovidos}}{C_{SS}} \quad (5)$$

Onde: Q_{Purga} = Vazão de purga para remover 244 kg de sólidos por dia (m^3/d)
 $M_{SSremovidos}$ = Massa de sólidos suspensos removidos por dia (g_{SS}/dia)
 C_{SS} = Concentração de sólidos suspensos na entrada do filtro (g/m^3)
 Portanto: $Q_{Purga} = 244.407\ g_{SS}/dia / 24,16\ g_{SS}/m^3 = 10116,19\ m^3/dia$

4.1 Custo do tratamento químico por litro de água de resfriamento

A água da torre de resfriamento é composta por água clarificada que recebe tratamento com produtos químicos (Inibidor de corrosão + Inibidor de incrustação + Dosagem de biocida). O valor médio de custo dos produtos químicos por m^3 da água tratada é de R\$ 1,50/ m^3 (informado pela empresa onde a torre de resfriamento está instalada).

O custo do tratamento químico por m^3 de água tratada é calculado pela Equação 6.

$$C_{Trat\ químico} = Q_{reposição} * P \quad (6)$$

Onde: $C_{Trat\ químico}$ = Custo do tratamento para tratar água de reposição ($\$/d$)
 $Q_{reposição}$ = Vazão de água de reposição para purgar 244 kg de sólidos suspensos (m^3/d)
 P = Preço do tratamento químico por m^3 de água a ser tratada ($\$/m^3$)

Então, o custo do tratamento químico por m^3 de água tratada é $10.116,19\ m^3/dia * R\$ 1,50/m^3 = R\$ 15.174,27/dia$.

4.2 Custo de captação de água bruta mais tratamento (água de reposição)

A água bruta é captada do rio dos Sinos e passa por processo de clarificação para ser utilizada como água de reposição. O custo médio do litro da água clarificada informado pela empresa onde a torre de resfriamento está instalada é de R\$ 0,60/ m^3 .

Custo da reposição = $10.116,19\ m^3/dia * R\$ 0,60/m^3 = R\$ 6.069,71/dia$

4.3 Custo adicional de operação em caso de indisponibilidade do filtro lateral

O custo diário adicional de operação da torre de resfriamento, quando o sistema de filtração fica indisponível para operação, é a soma do custo da água de reposição ("make-up") mais o custo do tratamento químico, portanto, $R\$ 15.174,27/dia + R\$ 6.069,71/dia = R\$ 21.243,98/dia$

5. CONCLUSÃO

Torres de resfriamento são equipamentos importantes para indústrias que requerem controle de temperatura em determinadas partes do processo. As torres de resfriamento, dimensionadas a partir de valores de vazão e temperatura da água a ser resfriada,
 Os sistemas de resfriamento são passíveis de perdas de água por evaporação, arrastre e

respingo, vazamentos e purga. As purgas são necessárias para manutenção da qualidade da água de resfriamento circulante. A execução de purgas em demasia gera um custo adicional devido descarte de produtos químicos utilizados no tratamento da água das torres de resfriamento e em função da necessidade de reposição de água tratada num mesmo volume purgado, a fim manter o volume total de água circulante constante. O volume de água circulante está relacionado diretamente com a capacidade de troca térmica do sistema de resfriamento.

Uma das formas de reduzir purga se dá pela utilização de filtros laterais. Os filtros são projetados para abatimento de sólidos suspensos melhorando a qualidade da água circulante. A melhoria da qualidade da água diminui a necessidade de purgas do sistema, a necessidade de reposição de água, a necessidade de dosagens adicionais de produtos químicos para tratamento na torre de resfriamento. Como consequência, a diminuição da concentração de sólidos em suspensão, melhora a eficiência de troca térmica nos trocadores de calor do processo que utilizam a água da torre de resfriamento como fluido refrigerante, reduzindo da necessidade de paradas de manutenção para limpeza dos trocadores de calor.

Para o caso estudado, a indisponibilidade do filtro elevaria o custo de operação da torre de resfriamento em R\$21243,98 por dia. Esse valor representa a soma do custo da água reposição e o custo de tratamento adicional que teria que ser efetuado para abatimento de 244kg de sólidos suspensos através de purga adicional. Os cálculos efetuados demonstraram que os filtros laterais, previstos em projeto, contribuem para consequências positivas ecológicas e econômicas (redução do volume descartado de água tratada e redução de custo de operação).

Com o aumento das restrições ambientais em relação a captação de água e em relação ao descarte de efluentes cresce a preocupação no sentido de minimizar o consumo de água. Diante da necessidade de economizar recursos como água e energia, o sistema de resfriamento de água industrial ganhou mais evidência dentro dos processos produtivos. A operação adequada do filtro lateral na torres de resfriamento aparece como sendo solução para uso racional de água.

A título de sugestão para estudos futuros complementares a este, seria interessante mensurar o custo de aquisição, instalação e manutenção do filtro. De posse do valor monetário economizado por dia com a operação deste, é possível quantificar em quanto tempo o investimento é recuperado. Outra sugestão de estudo complementar seria avaliar o custo da utilização de água filtrada no lugar da água clarificada como água de reposição, fazendo comparação de gastos entre filtrar a água em sistema lateral ou filtrar a água antes de repô-la na bacia.

REFERÊNCIAS

BLACKADDER, D.A; NEDDERMAN, R.M. Manual de operações unitárias. São Paulo: Hemus, 2004.

DANTAS, E. (2004). Geração de vapor e água de refrigeração. Rio de Janeiro, RJ: ECOLAB.

ELKIND, R. (1996). *PETROBRAS - TRATAMENTO DE ÁGUA DE RESFRIAMENTO*. (Apostila Petrobras). Rio de Janeiro, Brasil.

ELKING, R. (1997). *REFAP: TRATAMENTO D'ÁGUA*. RIO DE JANEIRO (Apostila Petrobras), Rio de Janeiro, Brasil.

FREIRE, Wildemar de Aguiar. Análise energética do sistema de resfriamento de uma planta de compressores de ar modelo zh9000 . 2015. Disponível em: <<http://ppgpe.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/Dissertacao2015-PPGEP-MP-WildemardeAguiarFreire.pdf>>. Acesso em: Jun. 2018

LIRA, Osman de Oliveira. Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em etas. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde (Funasa). Brasília, 2014. 112 p. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manualcont_quali_agua_tecnicos_trab_emetas.pdf> Acesso em: junho 2018.

MIERZWA, J. C., & HESPANHOL, I. (2005). *ÁGUA NA INDÚSTRIA: USO RACIONAL E REUSO*. São Paulo: Oficina de Textos.

MONTAGNOLI, V. (2003). *ÁGUA DE RESFRIAMENTO: POR QUE MANTÊ-LA LIMPA?* (L3PPM, Ed.) *MEIO FILTRANTE* (06), 34.

MORAES, Bianca de. Sistema de resfriamento industrial. 2017. Disponível em: <<http://refrisat.com.br/conteudo/sistema-de-resfriamento-industrial/>>. Acesso em: jun. 2018

MOTA, L. C. S. Impacto da Cobrança pelo Uso da Água na Lucratividade e no Custo dos Principais Setores Usuários - Industrial, Agropecuário e Hidroelétrico. 2004. 195 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Departamento de Engenharia Civil. Disponível em: <http://www.ceivap.org.br/downloads/30.pdf>. Acesso em Jul. 2018.

OLIVEIRA, Vagner Ferreira de. Diagnóstico de eficiência energética de uma torre de resfriamento de água da Arcelormittal Inox Brasil. 2010. 109 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Mecânica) -Escola de Engenharia da UFMG, UFMG, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOS-8GGP42/disserta__o_de_mestrado_vagner_ferreira_de_oliveira.pdf?sequence=1>. Acesso: 25 jun. 2018.

SAUTCHÚK, Carla A. et al. Conservação e reúso de água: Manual de orientações para o setor industrial. Volume 1. FIESP/CIESP, 2004. 90 f. Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/publicacoes/pdf/ambiente/reuso.pdf>>. Acesso em jul. 2018.

TROVATI, Joubert. Tratamento de água de resfriamento, Araraquara-SP, set., 2004. (Curso Online). Disponível em: <http://www.snatural.com.br/PDF_arquivos/Torre-Caldeira-Tratamento-Agua.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2018.