

Utilização de efluente tratado em complexo industrial automotivo

Effluent use in an automotive industrial complex

Sandro Carlos Pohl¹, Denise Maria Lenz²

RESUMO

ABSTRACT

Neste trabalho, realizaram-se modificações nos sistemas produtivo e de tratamento de efluentes em um complexo industrial automotivo a fim de possibilitar a utilização do efluente tratado no sistema de torres de resfriamento. Inicialmente, realizou-se um balanço hídrico nos processos industriais para determinar o consumo de água e analisou-se a qualidade do efluente tratado quanto aos parâmetros físico-químicos em dois pontos do sistema de tratamento de efluentes: no decantador secundário (P1) do tratamento físico-químico e na saída da lagoa de polimento (P2). Essas análises mostraram que o efluente tratado no decantador secundário não tem capacidade de atender às especificações da água de circulação das torres de resfriamento sem a realização de muitas alterações em seu tratamento, optando-se pela utilização do efluente tratado na saída da lagoa de polimento após modificações, como: alteração na concentração de ácido fosfórico e de ácido nítrico da solução de limpeza dos tanques de fosfatização, elevação em 50% da capacidade de aeração da lagoa aerada e troca do coagulante sulfato de alumínio pelo cloreto férrico no tratamento físico-químico. Assim, os parâmetros do efluente tratado na lagoa de polimento aproximaram-se aos parâmetros especificados para água de torres de resfriamento. A introdução desse efluente na proporção de 40% do volume da água de circulação na torre de resfriamento resultou em elevação do ciclo de dureza e redução no ciclo de sílica. A utilização de um filtro abrandador na saída da lagoa de polimento proporcionou a redução dos parâmetros de qualidade da água para valores similares aos da água de recirculação nas torres de resfriamento.

Palavras-chave: efluente industrial; reúso; indústria automotiva; torres de resfriamento.

In this work, some changes in the productive system and in the effluent treatment plant of an automotive industrial complex have been performed in order to enable the treated effluent use in the cooling towers of the industry. Initially, a hydric balance in the industrial processes was performed, allowing the determination of water consumption. After, the effluent quality was analysed through its physico-chemical parameters at two sites of the effluent treatment plant: in the secondary settling tank (P1) of the physico-chemical treatment and in the exit of the polishing pond (P2). These analyses showed that the effluent from the settle tank does not have the ability to contemplate the specifications for water used in the cooling towers without much change in effluent treatment so that the effluent from polishing pond was used for testing in the cooling towers after some changes. These changes have included: phosphoric acid and nitric acid concentration changes in the cleaning solution of phosphating tanks, 50% increase in the aeration capacity of the aerated lagoon and replacement of aluminum sulfate coagulant by ferric chloride in physico-chemical treatment. With these modifications, the effluent from polishing pond approached the parameters specified for water cooling towers. The use of this treated effluent as 40% of water volume of the cooling tower resulted in hardness cycle increase and reduction in silica cycle. The use of a softener filter after the polishing pond decreased the effluent quality parameters to similar values to those for water cooling towers.

Keywords: effluent; reuse; automobile industry; cooling towers.

INTRODUÇÃO

Questões como a pequena disponibilidade de água doce e o elevado crescimento populacional, aliadas ao aumento do consumo de água, à constante redução da qualidade dela e ao custo elevado de seu tratamento, estimulam a busca por alternativas que conduzam a

um aumento na eficiência da utilização da água, entre as quais está incluído o reúso (CORWIN & BRADFORD, 2008). A água de reúso é uma alternativa cada vez mais utilizada, principalmente nos grandes centros urbanos, nas atividades que não necessitam de água de boa qualidade, como: irrigação de jardins, lavagens de calçamentos,

¹Mestre em Engenharia. Supervisor de manutenção da General Motors do Brasil – Gravataí (RS), Brasil.

²Doutora em Engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e Université de Paris VII. Professora adjunta do Curso de Química e do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Materiais e Processos Sustentáveis da Universidade Luterana do Brasil – Canoas (RS), Brasil.

Endereço para correspondência: Denise Maria Lenz – Avenida Farroupilha, 8001 – São José – 92425-900 – Canoas (RS), Brasil – E-mail: denise.lenz@gmail.com

Recebido: 17/08/13 – **Aceito:** 18/07/16 – **Reg. ABES:** 122371

descargas de banheiros, limpezas de automóveis, processos industriais e produção de alimentos.

Para Florêncio, Bastos e Aisse (2006), as motivações que levam ao processo de reúso e reciclagem da água podem incluir tanto a baixa capacidade de oferta, decorrente da baixa pluviosidade, como a elevada demanda, decorrente da excessiva concentração urbana em grandes centros e das crescentes atividades agroindustriais, uma vez que o reúso de água proporciona alívio na demanda e preservação de oferta de água para usos múltiplos. Estima-se que a agricultura irrigada responda por cerca de 60 a 70% do consumo de água doce no planeta e no Brasil (ANA, 2002; REBOUÇAS, 2003).

Os benefícios ambientais com o reúso da água são muitos, incluindo a provisão de água controlada, conservação dos ecossistemas sensíveis, diminuição do desperdício e redução e prevenção da poluição (YASHIKAWA, 1998). Para a USEPA (2004), o reúso industrial de água pode ser aplicado principalmente nos seguintes processos: água para sistema de refrigeração, aquecimento e processos industriais. Segundo Costanzi (1998), o setor industrial tem a necessidade de buscar e desenvolver novas tecnologias que visem ao reúso da água com baixo custo e de maneira segura para a manutenção da confiabilidade da planta e da qualidade do produto. Os rios e as fontes de água que abastecem as grandes cidades brasileiras encontram-se em situação crítica com relação ao volume e à qualidade dessa água (ANA, 2002). Assim, a utilização de efluentes industriais tratados possibilita à empresa um controle parcial do consumo de água em momento de possível falta dela, como em períodos críticos de estiagem, reduzindo, dessa forma, o custo estrutural da empresa.

Segundo Silva Filho (2009), na maioria das vezes, não existem padrões de qualidade de água de reúso para determinada atividade industrial, o que pode dificultar a identificação de oportunidades, sendo necessário um estudo mais detalhado do processo industrial para a caracterização da qualidade do efluente e, em paralelo, um estudo para a adaptação do efluente para uso nesses processos.

Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade técnica do aproveitamento do efluente industrial tratado na Central de Tratamento de Efluentes Líquidos (CETEL) do Complexo Industrial Automotivo de Gravataí (CIAG), no Estado do Rio Grande do Sul, no sistema de torres de resfriamento da General Motors do Brasil (GMB), empresa pertencente ao CIAG. Por meio da análise do balanço hídrico e da avaliação da qualidade do efluente tratado quanto às características físico-químicas, foram realizadas modificações no sistema produtivo e no processo físico-químico do tratamento do efluente com o objetivo de adequá-lo às condições de qualidade requeridas pelo sistema de torres de resfriamento. A GMB utiliza água disponibilizada pelo serviço público no sistema de resfriamento de água que é utilizada nos processos da pintura de carrocerias e de funilaria. O uso de efluente tratado no sistema de resfriamento possibilitaria o uso da água do serviço público em outros processos que necessitam de água com melhor qualidade. Optou-se pela

utilização do efluente tratado nas torres de resfriamento em razão dos altos índices de perda de água por evaporação nesses sistemas de troca térmica e dos seus requerimentos de qualidade de água menos restritivos.

METODOLOGIA

Caracterização do Complexo Industrial Automotivo de Gravataí

O trabalho foi desenvolvido na CETEL e no sistema de torres de resfriamento que atende ao setor de pintura por eletrodeposição (ELPO) da empresa Automotiva General Motors do Brasil, que estão localizados no CIAG, no Estado do Rio Grande do Sul. O CIAG (Figura 1) é uma montadora de veículos que executa a montagem de subconjuntos pré-fabricados por um grupo de 17 empresas (“sistemistas”) que fornecem peças e componentes automotivos para a montadora. A água utilizada nos processos do CIAG é obtida do rio Gravataí pela Companhia Riograndense de Saneamento (Corsan), que realiza o tratamento dela na Estação de Tratamento de Água (ETA) de Gravataí e envia ao Complexo Industrial (GMB e “sistemistas”).

Sistema de tratamento de efluentes da Central de Tratamento de Efluentes Líquidos

Os efluentes produzidos pela GMB e “sistemistas” são segregados em quatro linhas distintas: efluentes oleosos, efluentes industriais, efluentes sanitários e efluentes do ELPO, sendo encaminhados para o sistema de tratamento da CETEL. Esse sistema está dividido em tratamento preliminar, tratamento primário e tratamento secundário, e o efluente tratado é conduzido à ETE do município, ETE Parque dos Anjos, para disposição final no Rio Gravataí (Figura 2). As características físico-químicas dos efluentes tratados pela CETEL na saída do decantador secundário (P1) e após a passagem pela lagoa de polimento (P2) foram medidas no período de janeiro a dezembro de 2010.

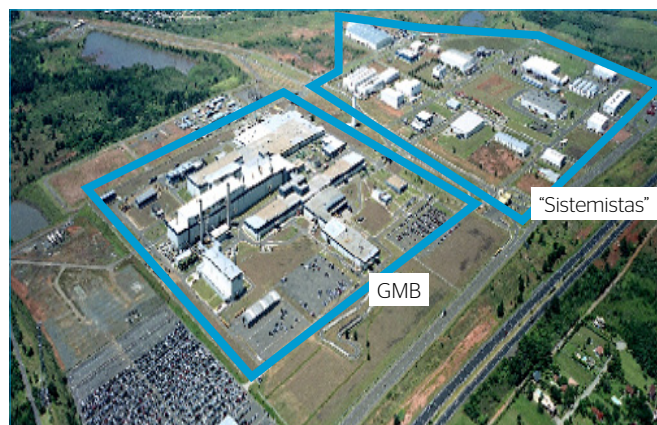


Figura 1 - Vista aérea do Complexo Industrial Automotivo de Gravataí (CIAG): General Motors do Brasil (GMB) e “sistemistas”. Fonte: CIAG (2012).

Sistema de torres de resfriamento

O sistema de resfriamento da GMB é composto por três conjuntos de torres de resfriamento da Durr Brasil Ltda., modelo BE-45014-A19-I-E, com carga térmica de 4.235.000 kcal.h⁻¹ e vazão de 770 m³.h⁻¹. O primeiro conjunto de torres (Figura 3) é composto de seis torres com duas bacias de coleta de água. Uma bacia com subdivisões internas atende a cinco torres cuja produção de água gelada é utilizada na climatização dos processos do setor de pintura do corpo do automóvel, do setor de pintura de para-choques e para refrigeração do ambiente produtivo dos prédios que comportam esses setores. A segunda bacia, local onde foi realizado o teste com o efluente tratado, é utilizada pela torre que atende às necessidades de controle de temperatura dos subprocessos de tratamento de superfície e pintura por eletrodeposição. O segundo conjunto de torres produz água gelada para refrigeração dos equipamentos de solda utilizados nos processos de funilaria enquanto a água produzida pelo terceiro conjunto de torres é utilizada na climatização do prédio da funilaria.

Balanco hídrico

O balanço hídrico na GMB foi realizado por meio da utilização de nove medidores identificados na Tabela 1. A frequência de medição foi diária, de janeiro a dezembro de 2010. A vazão de entrada de efluentes na CETEL é medida pela calha Parshall com totalizador da Siemens Hydroranger 220° e sensor ultrassom Milltronics PL-514°.

Caracterização físico-química do efluente tratado e da água de circulação na torre de resfriamento

Os parâmetros utilizados para avaliação do efluente tratado pela CETEL foram os elencados pela Resolução n° 128/2006 do Conselho Estadual de Meio Ambiente (CONSEMA, 2006) do Estado do Rio Grande do Sul, respeitando as frequências de análises e formas de amostragem de acordo com a Licença de Operação do CIAG (Tabela 2).

As análises dos efluentes foram realizadas no Laboratório do Sistema Integrado de Tratamento dos Efluentes Líquidos (SITEL)



Figura 3 - Torres do sistema de resfriamento de água do setor de pintura da General Motors do Brasil (GMB) de Gravataí (RS), Brasil. Fonte: o autor.

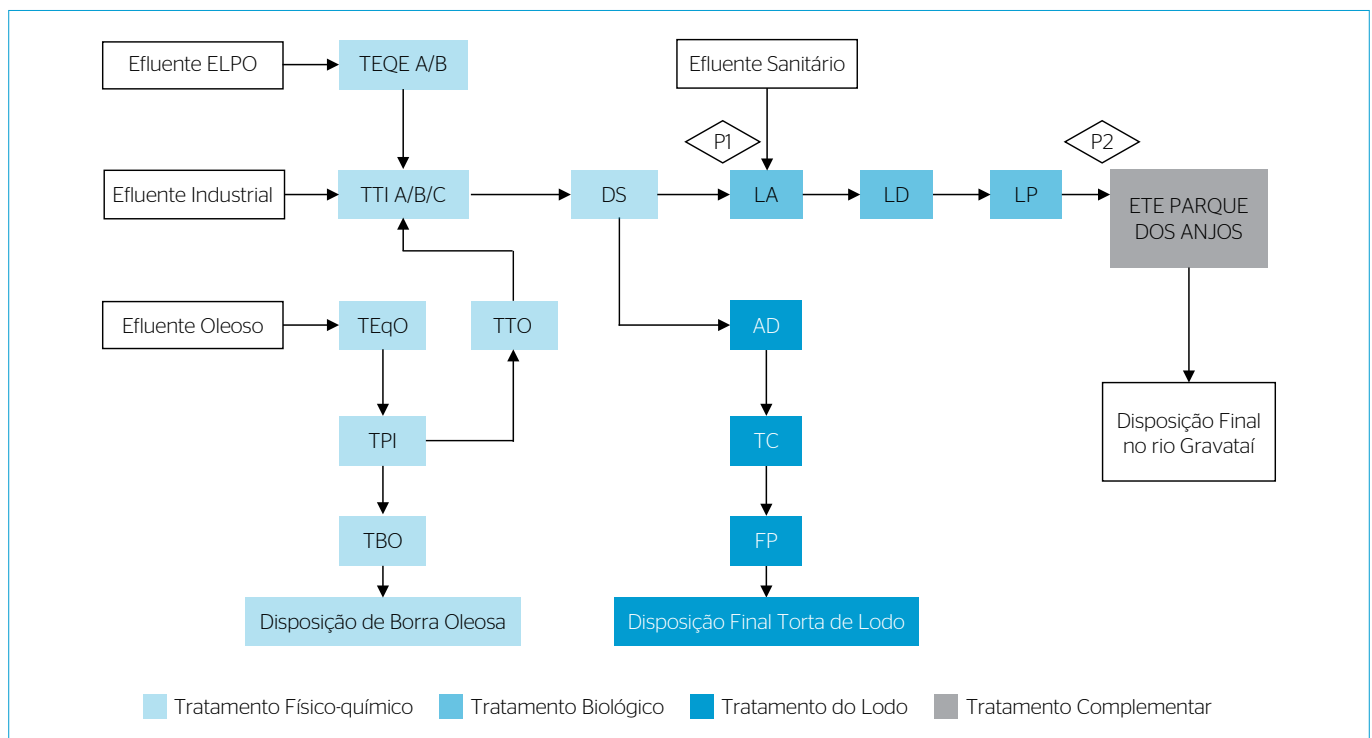


Figura 2 - Fluxograma da Central de Tratamento de Efluentes Líquidos (CETEL), sendo: TEQE A/B - tanques de equalização do efluente ELPO, TTI - tanques de tratamento do efluente industrial, TEqO - tanque equalização do efluente oleoso, TTO - tanque de tratamento do efluente oleoso, TPI - tanque separador de óleo livre, TBO - tanque de borra oleosa, DS - decantador secundário, LA - lagoa de aerção, LD - lagoa de decantação, LP - lagoa de polimento, AD - adensador de lodo, TC - tanque condicionador de lodo e FP - filtro-prensa. P1 e P2 - pontos de coleta do efluente. Fonte: o autor.

Tabela 1 - Informações técnicas dos medidores de vazão do balanço hídrico.

Identificação das entradas/setores	Modelo (Marca)	Q _n * (m ³ .h ⁻¹)	Q _{min} ** (m ³ .h ⁻¹)
Principal GMB - R35 Entrada	Flostar M - HF100L (Actaris)	100,00	0,60
Teste de infiltração	Multijato Magnético - MJ 984 (LAO)	15,00	0,30
Lavagem de matrizes	Multijato Magnético - MJ 984 (LAO)	15,00	0,40
Banhos e pintura	Magnético AXF 100 (Yokogawa)	10,00	0,45
Restaurante	Multijato Magnético - MJ (LAO)	15,00	0,30
Banheiros	Multijato Magnético - MJ (LAO)	15,00	0,30
Torres de resfriamento	Magnético AXF 050 (Yokogawa)	10,00	0,30
Casas de ar	Magnético AXF 025 (Yokogawa)	10,00	0,20
Anti-incêndio	Multijato Magnético - MJ (LAO)	15,00	0,30

GMB: General Motors do Brasil.

*Vazão nominal. **Vazão mínima.

da Corsan, com exceção das análises de sílica solúvel (alto teor) e dureza total, que foram realizadas no laboratório da Haas do Brasil, situado no CIAG. As análises da água da torre de resfriamento foram realizadas no laboratório da GE Betz. Todas as análises foram executadas utilizando os métodos-padrão, conforme definido pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

As análises da tratabilidade do efluente foram realizadas em dois pontos: o primeiro (P1) localiza-se na saída do decantador secundário e o segundo ponto de coleta (P2) na lagoa de polimento, representados na Figura 2. Os parâmetros de caracterização do efluente nesses dois pontos, com vistas à sua utilização nas torres de resfriamento, encontram-se na Tabela 3. Também foi caracterizada a água do sistema aberto do primeiro conjunto de torres de resfriamento por intermédio dos parâmetros descritos na Tabela 4. Esses parâmetros são os utilizados como referência para dosagem de reagentes no tratamento da água do processo de recirculação da torre, com o objetivo de evitar corrosão e incrustação nos tubos e equipamentos do sistema. Tais parâmetros são os que usualmente são controlados em torres de resfriamento, conforme trabalhos publicados (MIERZWA,

Tabela 2 - Parâmetros analisados, padrão de emissão, limites de controle, frequência e tipo de amostragem e código do método de análise das amostras da lagoa de polimento da Central de Tratamento de Efluentes Líquidos (CETEL).

Parâmetro	Padrão de emissão e limite de controle GMB*	Frequência de amostragem**	Tipo de amostragem	Código do método***
Sólidos sedimentáveis totais	<1,0 mL.L ⁻¹ , em cone Imhoff	Semanal	Composta	Método 2540-F
pH	6,0 a 9,0	Diária	Simple	Método 4500-H*B
DBO ₅ 20 °C	<70,0 mg.L ⁻¹	Semanal	Composta	Métodos 5210 A e 5210 B
DQO	<260,0 mg.L ⁻¹	Diária	Composta	Métodos 5220 B
Sólidos suspensos totais	<80,0 mg.L ⁻¹	Semanal	Composta	Método 2540-D
Óleos e graxas minerais	<10,0 mg.L ⁻¹	Semanal	Simple	Método 5520-D e 5520-C
Ferro total	<10,0 mg.L ⁻¹	Semanal	Composta	Método 3111
Manganês	<1,0 mg.L ⁻¹	Semanal	Composta	Método 3111
Cádmio	<0,1 mg.L ⁻¹	Semanal	Composta	Método 3113 B
Chumbo	<0,2 mg.L ⁻¹	Semanal	Composta	Método 3113 B
Cobre total	<0,5 mg.L ⁻¹	Semanal	Composta	Método 3113 B
Cromo hexavalente	<0,1 mg.L ⁻¹	Semanal	Composta	Método 3500-Cr D
Cromo total	<0,5 mg.L ⁻¹	Semanal	Composta	Método 3113 B
Níquel	<1,0 mg.L ⁻¹	Semanal	Composta	Método 3111
Arsênio	<0,1 mg.L ⁻¹	Semanal	Composta	Métodos 3030 F e 3113 B
Alumínio	<10,0 mg.L ⁻¹	Semanal	Composta	Método 3111
Zinco	<1,0 mg.L ⁻¹	Semanal	Composta	Método 3111
Fósforo total	<2,0 mg.L ⁻¹ ou 75% de remoção	Semanal	Composta	Método 4500-PB-4 e 4500-PE
Nitrogênio total Kjeldahl	<15,0 mg.L ⁻¹ ou 75% de remoção	Semanal	Composta	Método 417-B/D e 4500-Norg-C
Nitrogênio amoniacal	<20,0 mg.L ⁻¹	Semanal	Composta	Método 417-B, 417-D
Surfactantes	<2,0 mg.L ⁻¹	Semanal	Composta	Métodos 5540 A e 5540 B

GMB: General Motors do Brasil; DQO: Demanda Química de Oxigênio.

*Conforme Resolução nº 128/2006 do CONSEMA do Estado do Rio Grande do Sul e de acordo com a Licença de Operação do CIAG. **Período de janeiro a dezembro de 2010.

***Standard Methods.

2002; USEPA, 2004; SILVA FILHO, 2009), diferenciando entre os autores os limites de controle para eles.

No processo de troca térmica efetuada nas torres de resfriamento ocorre a perda de água de diversas formas, sendo as principais causadas por evaporação forçada pelos sistemas de ventilação, correspondendo a mais de 90% delas. Há também perdas por respingos durante o processo de recirculação da água nos sistemas de placas que formam as colmeias e pelo processo de purga, para correção de alguns parâmetros da água que estão fora dos limites especificados para o sistema e que possam estar prejudicando a estrutura ou a eficiência do sistema.

Proposições de alterações no sistema de tratamento dos efluentes

Após análise e comparação da qualidade do efluente tratado com a qualidade da água das torres de resfriamento, propôs-se modificar o processo de tratamento de efluentes da CETEL com o objetivo de utilizar esse efluente tratado nas torres de resfriamento. Essas modificações incluíram:

1. o aumento do número de aeradores na lagoa de aeração,
2. a troca do coagulante sulfato de alumínio por cloreto férrico, e
3. a instalação de um filtro abrandador na saída da lagoa de polimento.

Tabela 3 - Parâmetros analisados na saída do decantador (P1) e da lagoa de polimento (P2), padrão de emissão, limites de controle da General Motors do Brasil (GMB) para água de reposição (ou alimentação) em torres de resfriamento, frequência e tipo de amostragem e métodos de análise.

Parâmetro	Limites de controle GMB*	Frequência de amostragem**	Tipo de amostragem	Código do método***
Sólidos dissolvidos totais	<500 mg.L ⁻¹	Semanal	Composta	Método 2540-D
pH	7,0-8,8	Quinzenal	Simple	Método 4500-H ⁺ B
Alcalinidade total	75-250 mg.L ⁻¹	Mensal	Composta	Método 2320 B
Ortofosfato total	15,0-40,0 mg.L ⁻¹	Semanal	Composta	Método 4500 E
Cloretos	<300,0 mg.L ⁻¹	Semanal	Composta	Método 4500 B
Dureza total	<800 mg.L ⁻¹	Semanal	Composta	Método 3500 D
Sílica solúvel alto teor	<200 mg.L ⁻¹	Semanal	Composta	HACH Método 8185
Fósforo total	<1,0 mg.L ⁻¹	Semanal	Composta	Método 4500-P B-4 e 4500-P E
Ferro total	<3,0 mg.L ⁻¹	Semanal	Composta	Método 3111
Cobre total	<0,5 mg.L ⁻¹	Semanal	Composta	Método 3113 B

GMB: General Motors do Brasil.

*Norma interna da GMB baseada no Manual do SindusCon-SP (2005). **Período de janeiro a dezembro de 2010. ***Standard Methods.

Tabela 4 - Parâmetros e suas especificações para análise e controle da água de recirculação em torres de resfriamento.

Parâmetro	Limites de controle GMB*	Frequência de amostragem**	Tipo de amostragem	Código do método***
Alcalinidade total	75-250 mg.L ⁻¹	Mensal	Composta	LS-023 - GE
CBT	<10.000 UFC.ml ⁻¹	Quinzenal	Composta	LS-059 - GE
Cloretos	<300,0 mg.L ⁻¹	Semanal	Composta	LS-025 - GE
Condutividade	<6.000 µSiemens	Semanal	Simple	LS-007 - GE
Delta ortofosfato	80-100%	Semanal	-	-
Dureza cálcio	150-800 mg.L ⁻¹	Semanal	Composta	LS-013 - GE
Dureza total	200-1.000 mg.L ⁻¹	Semanal	Composta	LS-026 - GE
Ferro total	<3,0 mg.L ⁻¹	Semanal	Composta	LS-032 - GE
Molibdênio baixo teor	1,1-3,2 mg.L ⁻¹	Semanal	Composta	LS-212 - GE
Ortofosfato filtrado 0,22	12,0-37,0 mg.L ⁻¹	Semanal	Composta	LS-243 - GE
Ortofosfato total	15,0-40,0 mg.L ⁻¹	Semanal	Composta	LS-243 - GE
pH	7,0-8,8	Quinzenal	Simple	LS-006 - GE
Sílica ciclada	<200,0 mg.L ⁻¹	Semanal	-	-
Sílica solúvel alto teor	<200,0 mg.L ⁻¹	Mensal	Composta	LS-016 - GE

GMB: General Motors do Brasil. CBT: contagem de mesófilos aeróbios totais.

*Norma interna da General Motors do Brasil (GMB) baseada no Manual do SindusCon-SP (2005).

Realizada no ano de 2010. *Standard Methods.

A elevação do número de aeradores na lagoa de aeração proporcionalmente o aumento do volume de oxigênio no efluente, favorecendo uma maior eliminação do nitrogênio e fósforo na lagoa de decantação. Já a troca do coagulante foi sugerida pela necessidade de remoção de compostos de fósforo e nitrogênio ainda no processo físico-químico. Segundo Wesner (1998), os coagulantes mais utilizados são: sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), cloreto férrico ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), sulfato ferroso (FeSO_4), cloreto de polialumínio ($\text{Al}(\text{OH})_x(\text{Cl})_y$) e polímeros catiônicos e, dependendo das condições físico-químicas do efluente em tratamento, determina-se o melhor tipo e a dosagem ideal do coagulante. Na CETEL utilizou-se uma solução aquosa composta de 43,86% em massa de FeCl_3 , 20,88% em massa de Fe^{+3} e 0,09% em massa de HCl, apresentando densidade de $1,46 \text{ g}\cdot\text{cc}^{-1}$ em 20°C .

Após o tratamento secundário e na saída da lagoa de polimento foi instalado um filtro abrandador (Jojaco modelo J380 Master®) com o objetivo de reduzir a concentração dos íons de cálcio e magnésio, elevando os ciclos de concentração que são controlados nas torres de resfriamento. O filtro abrandador é dividido em seis seções: as duas primeiras são de área de expurgo e as quatro seguintes utilizam leito de quartzo (com granulometria variando entre 0,4 e 1 mm). As duas primeiras seções têm a função de área livre para expansão do material, as duas seguintes, de eliminar impurezas orgânicas e químicas e as duas últimas purificam os materiais dissolvidos na água. A vazão máxima nominal do filtro abrandador é de até $5 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ (JOJACO, 2011).

Utilização do efluente tratado nas torres de resfriamento

Para o teste de utilização do efluente tratado, realizado no ano de 2011, escolheu-se a torre de resfriamento cuja característica que a diferencia das demais é tratar-se de um sistema isolado, com uma bacia de água sem interligação com as demais torres. Esse sistema de resfriamento é composto por um *chiller* com 1240 TR (York®). No circuito fechado do sistema, uma bomba de 75 kW envia a água gelada para os processos de pré-tratamento, pintura por eletrodeposição, controle de temperatura dos circuitos de tintas, casas de ar e subprocessos auxiliares. O circuito de recirculação aberto é composto pela torre, com uma bacia de água de 40 m^3 e uma bomba centrífuga de 50 kW. A troca de calor ocorre com a passagem do ar pela colmeia, utilizando um ventilador de 24 kW. Esse sistema possui *software* de controle que possibilita variações na frequência de operação do ventilador. A manutenção, o controle e as análises desses processos são realizados pelas empresas Haas do Brasil e Nalco. Utilizou-se o número de ciclos ou Ciclos de Concentração (CC) em que a água é concentrada na torre de resfriamento como parâmetro de controle ao utilizar o efluente tratado nela. O CC é a relação entre a concentração de íons solúveis na água de reposição (como magnésio e sílica) e a concentração desses íons na água de recirculação na torre de resfriamento (BUECKER, 1997).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Balço hídrico

O processo de montagem do balanço hídrico, por si só, promove uma sustentável redução do consumo de água e geração de efluentes. Isso se deve ao fato de que a discussão sobre o consumo de água atinge os diversos níveis operacionais, permitindo uma tomada de consciência quanto à prática de desperdícios, muitos dos quais são corrigidos de imediato (FLORÊNCIO; BASTOS; AISSE, 2006). O balanço hídrico (Figura 4) apresenta os volumes médios mensais das unidades da GMB, destacando os pontos de consumo de água e de geração de efluentes. Salienta-se que não foram consideradas as perdas de água nos referidos setores, tendo em vista que são desprezíveis, e as medições das vazões apresentaram desvio padrão inferior a 4%, com incerteza de cerca de 3% do valor lido, conforme os manuais dos medidores de vazão.

O consumo de água nas torres de resfriamento totalizou uma média de $4.500 \text{ m}^3\cdot\text{mês}^{-1}$ no ano de 2010. Essa média sofre variações, dependendo da época do ano, elevando-se nos meses com temperatura ambiente mais elevada e reduzindo-se nos meses mais frios. Segundo Mierzwa (2002), a demanda de água no sistema de resfriamento da empresa Kodak é de $322 \text{ m}^3\cdot\text{dia}^{-1}$, e desse valor 250 m^3 são consumidos por evaporação e os outros 72 m^3 são eliminados pelas purgas do sistema.

Já a vazão média de efluente tratado na CETEL e lançado no rio Gravataí, no ano de 2010, totalizou uma média de $1.045 \text{ m}^3\cdot\text{dia}^{-1}$, com um desvio padrão de 401 m^3 . Esse valor é similar aos valores de água utilizados no CIAG, que é de $834,87 \text{ m}^3\cdot\text{dia}^{-1}$, com desvio padrão de $248,44 \text{ m}^3\cdot\text{dia}^{-1}$. A geração de efluente no complexo industrial ocorre diariamente, com volumes similares nos dias produtivos e oscilantes nos finais de semana e feriados.

Qualidade do efluente tratado

Os resultados das análises efetuadas no efluente tratado e coletado em um ponto após o tratamento do efluente industrial encontram-se na Tabela 5. Os parâmetros fósforo e nitrogênio total Kjeldahl encontram-se expressos em porcentagem de remoção. Em algumas análises, a remoção de fósforo e nitrogênio total Kjeldahl ficou abaixo dos valores especificados. Expressas em unidades de concentração ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), a média de nitrogênio total Kjeldahl do efluente foi de $20,0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, com desvio padrão de $3,8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, enquanto a concentração de fósforo atingiu $14,3 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, com desvio padrão de $3,0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Esses elevados índices ocorreram provavelmente em razão das limpezas químicas dos banhos do sistema de tratamento das unidades de pintura eletroforética (ELPO) e também em decorrência do efluente sanitário, que tem sua origem nos banheiros e nos restaurantes da GMB. O nitrogênio amoniacal, em duas análises, excedeu o limite máximo especificado na licença de operação da GMB, que é de $20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

Os resultados das análises realizadas no efluente na saída do decantador secundário (P1) e na lagoa de polimento (P2) (Tabela 6) mostram que os parâmetros sólidos dissolvidos totais, alcalinidade total, ortofosfato total, sílica, cloretos e ferro total tiveram valores médios mais elevados no decantador secundário do que na lagoa de polimento, ocorrendo o inverso com fósforo total, dureza total e cobre.

Os resultados médios dos parâmetros de caracterização do efluente do decantador secundário (P1) mostram que parâmetros como sólidos dissolvidos totais, pH, fósforo total e ferro total não atendem às especificações recomendadas pela SindusCon-SP (2005) para qualidade da água de reúso em torres de resfriamento com recirculação (Classe 4), conforme terceira coluna da Tabela 6. Os valores de alcalinidade total, cloretos e cobre estão dentro do especificado. Na caracterização do efluente da lagoa de polimento (P2), os resultados médios mostram que os parâmetros sólidos dissolvidos totais e fósforo total não atendem às especificações da SindusCon-SP (2005) para torres de resfriamento com recirculação. Os valores de pH, alcalinidade total, cloretos,

ferro total e cobre encontram-se dentro do especificado para o uso em questão. A USEPA (2004) recomenda índices menos restritivos para valores de pH para torres de resfriamento, tolerando entre 6,0 e 9,0. Nesse caso, o efluente tratado do decantador secundário e da lagoa de polimento estariam atendendo ao parâmetro de pH.

Comparando-se os resultados das análises do efluente do decantador secundário (P1) e da lagoa de polimento (P2) com os limites de controle para a qualidade da água de recirculação nas torres de resfriamento, foi considerada a utilização do efluente disponibilizado no decantador secundário.

Qualidade da água das torres de resfriamento

A Tabela 7 apresenta os resultados médios das análises da água da torre de resfriamento. Em algumas amostras de água, o valor de pH da água da torre esteve fora da faixa ideal de trabalho, associado provavelmente a falhas operacionais nas torres. Similarmente, a dureza total e a dureza de cálcio se mantiveram abaixo do mínimo, conforme os limites estabelecidos na Tabela 4.

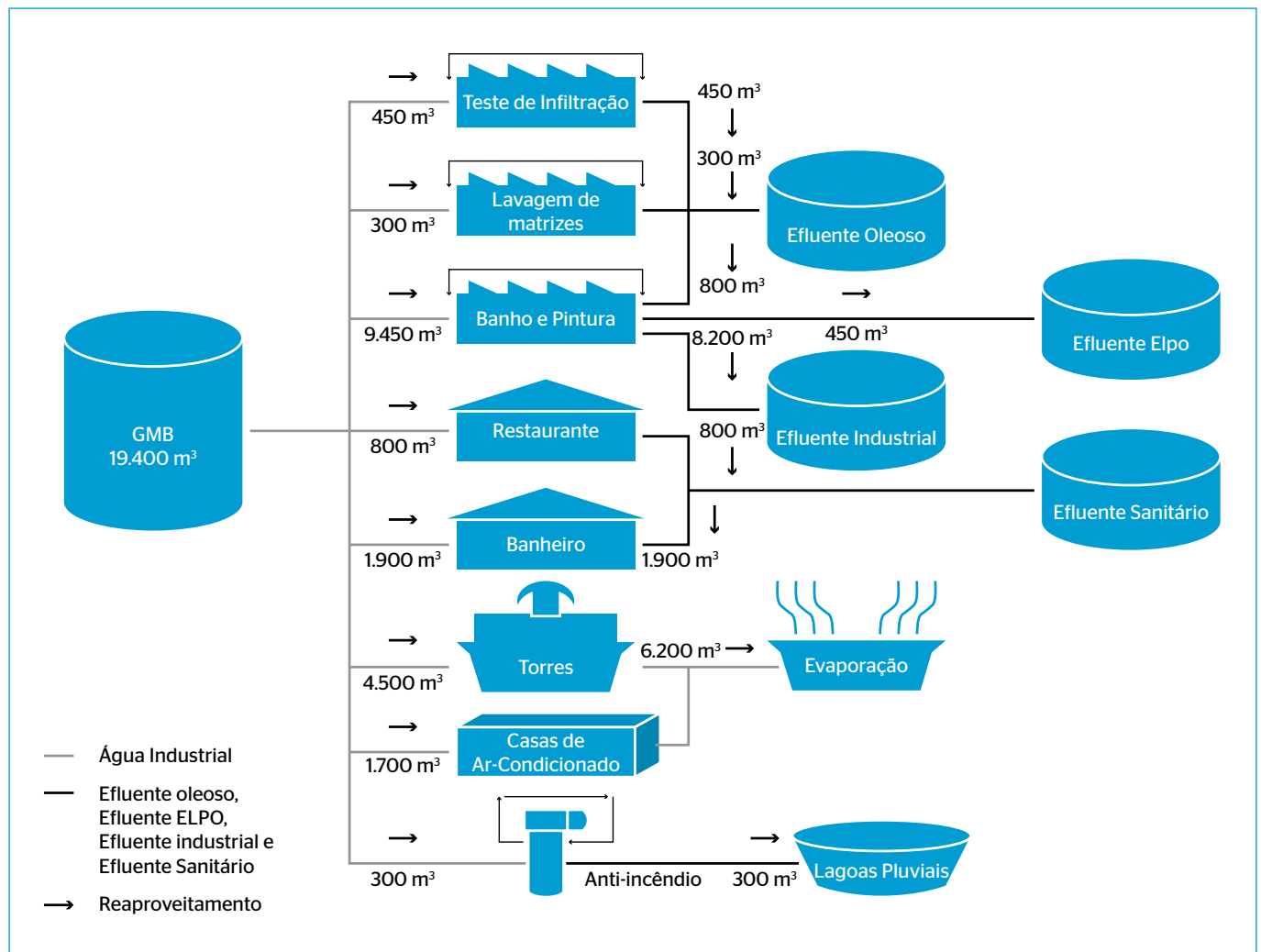


Figura 4 - Balanço hídrico da empresa General Motors do Brasil (GMB) de Gravataí (RS), Brasil - médias mensais do ano de 2010.

Com relação à dispersão das análises, a contagem de mesófilos aeróbios totais (CBT) mostrou-se estável durante as análises, apresentando coeficiente de variação de 0,09. No entanto, a maioria dos parâmetros que são controlados na água do sistema aberto das torres de resfriamento apresentou uma oscilação de seus valores em aproximadamente 50% da média, conforme a época do ano. No verão, ocorre aumento

Tabela 5 - Caracterização do efluente tratado pela Central de Tratamento de Efluentes Líquidos (CETEL) na saída da lagoa de polimento.

Parâmetro	CETEL
Sólido sedimentáveis totais (mL.L ⁻¹)	<0,10
pH (unidades de pH)	7,07±0,17
DBO ₅ 20 °C (mg.L ⁻¹)	20,81±8,26
DQO (mg.L ⁻¹)	98,97±40,72
Sólidos suspensos totais (mg.L ⁻¹)	29,42±14,85
Óleos e graxas minerais (mg.L ⁻¹)	2,25±1,37
Ferro total (mg.L ⁻¹)	0,75±0,47
Manganês (mg.L ⁻¹)	0,58±0,19
Cádmio (mg.L ⁻¹)	Não detectado
Chumbo (mg.L ⁻¹)	0,0002±0,0011
Cobre total (mg.L ⁻¹)	0,005±0,011
Cromo hexavalente (mg.L ⁻¹)	Não detectado
Cromo total (mg.L ⁻¹)	0,002±0,008
Níquel (mg.L ⁻¹)	0,47±0,19
Arsênio (mg.L ⁻¹)	0,001±0,002
Alumínio (mg.L ⁻¹)	0,16±0,18
Zinco (mg.L ⁻¹)	0,13±0,12
Fósforo total (% remoção)	79,04±14,62
Nitrogênio total Kjeldahl (% remoção)	57,98±27,11
Nitrogênio amoniacal (mg.L ⁻¹)	8,09±6,71
Surfactantes (mg.L ⁻¹)	0,04±0,03

DQO: Demanda Química de Oxigênio.

nessas concentrações em razão das perdas maiores de água por arraste, evaporação e por descarga. Entretanto, as oscilações na qualidade da água ocorreram dentro dos limites de operação do sistema.

Modificações no sistema de tratamento de efluentes e no sistema produtivo

Com o intuito de melhorar a qualidade da água fornecida pela lagoa de polimento de forma que reduza os elevados índices de fósforo e nitrogênio total Kjeldahl dos efluentes, aumentou-se em 50% a capacidade de aeração da lagoa aerada com a adição de mais dois aeradores (Aerosan EMA 20^o de 20 CV). Outra modificação foi a introdução do

Tabela 7 - Análises dos parâmetros da água de recirculação na torre de resfriamento com reposição de água potável.

Parâmetros	Média e desvio padrão
Alcalinidade total (mg.L ⁻¹ .CaCO ₃)	109,14±33,81
CBT* (UFC.mL ⁻¹)	955,56±83,15
Cloretos (mg.L ⁻¹)	111,30±63,60
Condutividade (µSiemens)	903,52±479,28
Delta ortofosfato (%)	0,89±0,05
Dureza cálcio (mg.L ⁻¹ .CaCO ₃)	179,18±105,22
Dureza total (mg.L ⁻¹ .CaCO ₃)	262,91±166,21
Ferro total (mg.L ⁻¹)	0,58±0,47
Molibdênio baixo teor (µg.L ⁻¹)	1,08±0,91
Ortofosfato filtrado 0,22 (mg.L ⁻¹)	14,99±7,55
Ortofosfato total (mg.L ⁻¹)	16,82±8,52
pH (unidades de pH)	7,54±0,47
Sílica ciclada (mg.L ⁻¹)	92,50±44,06
Sílica solúvel alto teor (mg.L ⁻¹)	66,23±23,61

*Contagem total de mesófilos aeróbios

Tabela 6 - Caracterização do efluente industrial na saída no decantador secundário (P1) e na lagoa de polimento (P2) e parâmetros controlados para água nas torres de resfriamento.

Parâmetro	Decantador Secundário (P1)	Lagoa de Polimento (P2)	Limites de controle GMB (*)
Sólidos Dissolvidos Totais	1314,23 ± 199,75	856,68 ± 108,53	< 500,00
pH (unidades de pH)	6,30 ± 0,20	7,15 ± 0,18	7,00 - 8,80
Alcalinidade Total (mg.L ⁻¹ .CaCO ₃)	211,22 ± 40,53	171,94 ± 36,30	75,00 - 250,00
Ortofosfato Total (mg.L ⁻¹)	6,86 ± 7,75	6,70 ± 4,90	15,00 - 40,00
Cloretos (mg.L ⁻¹)	278,40 ± 190,68	189,50 ± 106,27	< 300,00
Dureza Total (mg.L ⁻¹)	76,80 ± 23,10	81,80 ± 15,29	< 800,00
Sílica Alto Teor (mg.L ⁻¹)	111,48 ± 56,04	37,10 ± 10,99	< 200,00
Fósforo Total (mg.L ⁻¹)	12,71 ± 9,22	14,35 ± 4,55	< 1,00
Ferro Total (mg.L ⁻¹)	2,40 ± 1,58	0,60 ± 0,34	< 3,00
Cobre Total (mg.L ⁻¹)	0,01 ± 0,00	0,02 ± 0,01	< 0,50

GMB: General Motors do Brasil.

*Norma interna da GMB baseada no Manual do SindusCon-SP (2005).

cloreto férrico como coagulante no tratamento secundário, na proporção média de $1,00 \text{ mL.L}^{-1}.\text{mês}^{-1}$ de efluente homogeneizado nos tanques de tratamento industrial (TTI). Após a dosagem do cloreto férrico, foi adicionado o polieletrólito com relação de consumo de $0,80 \text{ mL.L}^{-1}$ de efluente durante o ano. Essa dosagem de cloreto férrico e polieletrólito é precedida da dosagem de soda cáustica a 50% na proporção média de $0,27 \text{ mL.L}^{-1}.\text{mês}^{-1}$ de efluente homogeneizado nos tanques TTI, visando à elevação do pH.

O sistema de limpeza nos tanques de fosfatização do processo produtivo foi alterado, introduzindo ácido nítrico e ácido fosfórico à solução de limpeza de forma que a concentração de ambos nessa solução seja de 1,5% (v/v). O objetivo dessa modificação foi reduzir as concentrações de nitrogênio e fósforo no efluente industrial. Após a execução desse novo procedimento de limpeza em um intervalo de quatro limpezas – cada limpeza realizada a cada três meses –, não foram detectadas alterações significativas nas condições dos tanques em comparação com as limpezas anteriores. Conforme verificado posteriormente, essa modificação no sistema produtivo mostrou-se eficiente e foi adicionada ao procedimento de limpeza dos tanques de fosfatização. A Tabela 8 mostra as análises do efluente tratado após as modificações descritas.

Essas modificações resultaram em uma redução da DBO_5 em torno de 35%, dos sólidos suspensos totais em aproximadamente 21%, da concentração de ferro em torno de 12%, do manganês em 24%, do níquel em aproximadamente 77% e do zinco em 59%, comparando-se as Tabelas 5 e 8. No entanto, foi observada a elevação da Demanda Química de Oxigênio (DQO) em aproximadamente 60% em relação aos valores de DQO antes da implantação dos procedimentos, com valor médio aproximado de 158 mg.L^{-1} .

A elevação da DQO indica uma deficiência do cloreto férrico na remoção por coagulação de compostos químicos presentes no efluente em comparação com o sulfato de alumínio. Auwerter *et al.* (2010) chegaram a esses mesmos resultados quando testaram o melhor tratamento físico-químico para a fase aquosa gerada durante a purificação do biodiesel com o intuito de sua reutilização no processo de lavagem. A eficiência de remoção da DQO com cloreto férrico foi de aproximadamente 96,0% e com o sulfato de alumínio foi de 99,9%.

O elemento chumbo teve um acréscimo de quase 100 vezes em sua concentração, passando dos $0,0002 \text{ mg.L}^{-1}$ para $0,015 \text{ mg.L}^{-1}$ ao utilizar-se o coagulante cloreto férrico, porém ainda apresenta concentração inferior ao limite especificado pelo órgão ambiental para a destinação final do efluente. No entanto, as análises de cromo total, arsênio e cobre tiveram elevações consideráveis, variando entre 130 e 320%, de acordo com a Tabela 8.

As modificações efetuadas no decorrer dos processos reduziram a concentração de fósforo e de nitrogênio total Kjeldahl no efluente tratado. O percentual de remoção de fósforo foi elevado de aproximadamente 79 para cerca de 91% e apresentou baixo desvio padrão,

demonstrando maior estabilidade do processo com a modificação executada, enquanto o nitrogênio total Kjeldahl apresentou um aumento na parcela de remoção de aproximadamente 44%, passando de 58 para cerca de 83%. A alcalinidade total e a concentração de cloretos apresentaram valores similares em comparação com os valores encontrados na lagoa de polimento da CETEL (Tabelas 5 e 6). Os parâmetros fósforo total e cobre total apresentaram valores superiores, enquanto a dureza total, o ferro total e a sílica alto teor apresentaram uma redução em seu valor.

Dos parâmetros de qualidade que limitam a utilização do efluente tratado nos processos industriais, a concentração de Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) é o mais significativo pela dificuldade da remoção destes. A concentração de SDT vai aumentando à medida que o efluente

Tabela 8 - Valores médios dos parâmetros analisados no efluente tratado com a utilização de cloreto férrico como coagulante.

Parâmetro	Coagulante cloreto férrico
Sólido sedimentáveis totais (mL.L^{-1})	Não detectado
pH (unidades de pH)	$7,04 \pm 0,10$
DBO_5 20 °C (mg.L^{-1})	$13,83 \pm 2,93$
DQO (mg.L^{-1})	$158,08 \pm 30,56$
Sólidos suspensos totais (mg.L^{-1})	$23,25 \pm 10,24$
Óleos e graxas minerais (mg.L^{-1})	$3,38 \pm 1,95$
Ferro total (mg.L^{-1})	$0,66 \pm 0,28$
Manganês (mg.L^{-1})	$0,44 \pm 0,09$
Cádmio (mg.L^{-1})	Não detectado
Chumbo (mg.L^{-1})	$0,02 \pm 0,02$
Cobre total (mg.L^{-1})	$0,02 \pm 0,01$
Cromo hexavalente (mg.L^{-1})	Não detectado
Cromo total (mg.L^{-1})	$0,004 \pm 0,001$
Níquel (mg.L^{-1})	$0,11 \pm 0,05$
Arsênio (mg.L^{-1})	$0,001 \pm 0,001$
Alumínio (mg.L^{-1})	$0,24 \pm 0,09$
Zinco (mg.L^{-1})	$0,05 \pm 0,03$
Fósforo total (% remoção)	$90,88 \pm 2,42$
Nitrogênio total Kjeldahl (% remoção)	$83,25 \pm 5,85$
Nitrogênio amoniacal (mg.L^{-1})	$25,90 \pm 8,77$
Surfactantes (mg.L^{-1})	$0,10 \pm 0,04$
Sólidos dissolvidos totais* (mg.L^{-1})	$856,68 \pm 108,53$
Alcalinidade total* ($\text{mg.L}^{-1}.\text{CaCO}_3$)	$173,10 \pm 20,00$
Ortofosfato total* (mg.L^{-1})	$6,70 \pm 4,90$
Cloretos* (mg.L^{-1})	$190,50 \pm 106,00$
Dureza total** (mg.L^{-1})	$58,24 \pm 2,90$
Sílica solúvel (alto teor)** (mg.L^{-1})	$26,50 \pm 2,23$

DQO: Demanda Química de Oxigênio.

*Medição efetuada em uma amostra. **Medição efetuada em quatro amostras.

vai sendo reutilizado, com a incorporação de compostos químicos e pela evaporação da água (MIERZWA, 2002). O sistema de resfriamento de água não necessita de água com alta qualidade, mas exige a contemplação de alguns parâmetros que restringem a utilização de qualquer água e limita o uso do efluente tratado por cascata em processos posteriores.

Utilização do efluente tratado da lagoa de polimento nas torres de resfriamento

No teste inicial, foram introduzidos, com o auxílio de uma bomba, 16 m³ de água da lagoa de polimento para completar o nível da torre de resfriamento do processo, correspondendo a 40% do volume total de água na torre. Depois, foram mensurados os parâmetros de controle da água (Tabela 9). Comparando com os valores anteriores ao teste, houve elevação nos índices dos parâmetros de alcalinidade total em 55%, ortofosfato total em 23%, cloretos em 21%, condutividade em 20% e ferro total em 8%. Os parâmetros de dureza total e de sílica solúvel alto teor tiveram uma redução de aproximadamente 7 e 5%, respectivamente.

Os ciclos de concentração da torre de resfriamento, que são relações da concentração das substâncias da água de reposição com a concentração destas na água de recirculação da torre de resfriamento, também foram avaliados. A sílica teve uma redução do ciclo de 5,82 para 4,88, e o ciclo de dureza teve uma elevação de 3,33 para 5,09, com a utilização de 40% de efluente tratado na água da torre. Assim, a concentração de sílica deve ser reduzida no efluente tratado.

Após esse teste inicial, passou-se o efluente tratado da lagoa de polimento em um filtro abrandador. As análises do efluente na

Tabela 9 - Comparação dos valores dos parâmetros da água de recirculação na torre de resfriamento e com reposição de 40% do volume com efluente tratado da lagoa de polimento.

Parâmetros	Água de recirculação na torre	Água da torre com 40% do efluente
Alcalinidade total (mg.L ⁻¹ .CaCO ₃)	36	56
CBT (UFC.m ³)	-	-
Cloretos (mg.L ⁻¹)	89,80	108,65
Condutividade (µSiemens)	498	599
Delta ortofosfato (%)	-	-
Dureza cálcio (mg.L ⁻¹)	-	-
Dureza total (mg.L ⁻¹ .CaCO ₃)	120	112
Ferro total (mg.L ⁻¹)	0,71	0,77
Molibdênio baixo teor (mg.L ⁻¹)	-	-
Ortofosfato filtrado 0,22 (mg.L ⁻¹)	-	-
Ortofosfato total (mg.L ⁻¹)	5,6	6,9
pH (unidades de pH)	7,5	7,4
Sílica ciclada (mg.L ⁻¹)	-	-
Sílica solúvel alto teor (mg.L ⁻¹)	33,2	31,7

CBT: contagem total de mesófilos aeróbios.

entrada e na saída do filtro abrandador com relação principalmente aos parâmetros críticos controlados nas torres cuja concentração se pretendia reduzir são encontradas na Tabela 10. Os demais parâmetros foram similares aos encontrados para o efluente tratado com cloreto férrico como coagulante e descritos na Tabela 8. Observou-se uma redução nos índices desses parâmetros com uma redução dos sólidos dissolvidos totais de 8,08%, comparando a água de entrada e saída do filtro. A alcalinidade total teve redução de 12,16 %, cloretos, de 2,53%, e as reduções mais significativas ocorreram na concentração de sílica com 15%, dureza total, com 20%, ortofosfato, com 23,89% e turbidez, com 45%. A água da saída do filtro mostrou-se, portanto, mais branda em relação à água de saída da lagoa de polimento (Figura 5).

Após a introdução e homogeneização de 16 m³ de efluente da saída do filtro abrandador na torre de resfriamento, foram efetuadas novas análises da água da torre de resfriamento (Tabela 11).

Houve elevação nos índices dos parâmetros de alcalinidade total em 5,3%, ortofosfato total em 54% e cloretos em 11%. Os parâmetros que tiveram redução foram dureza total com 1,5% de redução, dureza

Tabela 10 - Parâmetros críticos no efluente tratado da lagoa de polimento na entrada e na saída do filtro abrandador com a utilização de cloreto férrico como coagulante.

Parâmetro	Coagulante cloreto férrico entrada do filtro	Coagulante cloreto férrico saída do filtro
Sólidos dissolvidos totais* (mg.L ⁻¹)	792,00±0,00	728,00±0,00
Alcalinidade total* (mg.L ⁻¹)	148,00±0,00	130,00±0,00
Ortofosfato total* (mg.L ⁻¹)	6,78±0,00	5,16±0,00
Cloretos* (mg.L ⁻¹)	197,00±0,00	192,00±0,00
Dureza total** (mg.L ⁻¹)	58,00±2,67	44,24±0,90
Sílica solúvel alto teor** (mg.L ⁻¹)	26,50±0,90	22,50 ± 0,23
Turbidez** (unidades de turbidez)	16,60±1,50	6,40±0,80

* Medição em uma amostra e ** em oito amostras. ***Vide Tabela 8 para complementação.



Figura 5 - Aspecto visual das amostras do efluente tratado proveniente da lagoa de polimento (P2) antes e depois da passagem pelo filtro abrandador.

Tabela 11 - Comparação dos parâmetros da água de recirculação na torre de resfriamento com efluente tratado da lagoa de polimento, antes e depois da passagem pelo filtro abrandador.

Parâmetros	Antes do filtro	Depois do filtro
Alcalinidade total (mg.L ⁻¹)	53	56
CBT (UFC.ml ⁻¹)	-	-
Cloretos (mg.L ⁻¹)	172,00	194,24
Condutividade (µSiemens)	1.135	1.095
Delta ortofosfato (%)	-	-
Dureza cálcio (mg.L ⁻¹)	176	140
Dureza total (mg.L ⁻¹)	208	205
Ferro total (mg.L ⁻¹)	1,20	0,99
Molibdênio baixo teor (mg.L ⁻¹)	-	-
Ortofosfato filtrado 0,22 (mg.L ⁻¹)	-	-
Ortofosfato total (mg.L ⁻¹)	11,30	20,80
pH	7,39	7,05
Sílica ciclada (mg.L ⁻¹)	-	-
Sílica solúvel alto teor (mg.L ⁻¹)	84,90	72,50

CBT: Contagem total de mesófilos aeróbios.

de cálcio com aproximadamente 26%, ferro total com 21%, sílica solúvel alto teor com 17%, condutividade com 4% e pH com aproximadamente 5% de redução.

Nas análises dos ciclos dos parâmetros controlados, a sílica teve uma elevação do ciclo de 4,06 para 4,41, e o ciclo de dureza se manteve praticamente constante entre 3,35 e 3,36, com a utilização do efluente tratado da lagoa de polimento, após passagem em filtro abrandador.

CONCLUSÃO

Este trabalho propôs uma alternativa para a utilização do efluente tratado em uma indústria automotiva. O balanço hídrico mostrou

que as torres de resfriamento têm um consumo elevado, apresentando potencialidade para utilização do efluente tratado. Propôs-se o uso do efluente tratado em dois pontos do sistema de tratamento: na saída do decantador secundário (P1) e na saída da lagoa de polimento (P2). Como a maioria dos parâmetros do efluente do decantador secundário mostrou valores muito elevados em comparação com os parâmetros do efluente na saída da lagoa de polimento, optou-se pela utilização do efluente tratado em P2, após modificações operacionais que se mostraram eficientes, pois elevaram a remoção do fósforo de 79 para aproximadamente 91% e a de nitrogênio de 58 para aproximadamente 83%.

A utilização desse efluente tratado, substituindo 40% do volume da água da torre de resfriamento, mostrou-se promissora, uma vez que seus parâmetros apresentaram valores próximos aos valores da água de recirculação na torre. Entre os ciclos controlados na torre, houve a elevação do ciclo de dureza e uma redução do ciclo de sílica, acarretando a elevação do consumo de produtos químicos para a neutralização desses parâmetros e o aumento das perdas por purgas da água de recirculação para normalização do processo. No entanto, a introdução de um filtro abrandador na saída da lagoa de polimento resultou em redução dos parâmetros sólidos dissolvidos totais, alcalinidade total, ortofosfato total, cloretos, dureza total e sílica solúvel alto teor. O parâmetro turbidez, que não é controlado diretamente nas torres de resfriamento, foi o que teve a redução mais significativa. Dessa forma, este trabalho de reúso propôs alternativas inovadoras e promissoras de busca da melhora da eficiência na utilização do efluente tratado, de forma mais harmoniosa, no processo industrial, tornando-se uma contribuição à reduzida experiência brasileira em reúso planejado e institucionalizado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa General Motors do Brasil pela disponibilidade de sua estrutura e pelo crédito e aplicação desta investigação.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. (2002) *Regiões Hidrográficas do Brasil: Recursos Hídricos e Aspectos Prioritários*. Brasília. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: 15 fev. 2010.

American Public Health Association – APHA. (2012) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22 ed. Washington: American Public Health Association.

AUWERTER, L.C.C.; ZAGONEL, G.F.; COSTA, B.J.; SUCHEK, E.M.; ADÃO, D.C.; MAIA, M.; SILVA, P.R.; VECHIATTO, W.W.D.; DELFINO, L.D.; ADAD, L.B. (2010) Tratamento físico-químico e reúso do efluente resultante do processo de lavagem do biodiesel. In: *Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia do Biodiesel. 7º Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, óleos, gorduras e biodiesel, 4 Anais... v. 2*. Belo Horizonte (MG). p. 867-868.

BUECKER, B. (1997) Condensate Feedwater Chemistry. In: *Power plant water chemistry: a practical guide*. 1 ed. Oklahoma: Pennwell Publishing Company. p. 13-16.

COMPLEXO INDUSTRIAL AUTOMOTIVO DE GRAVATAÍ/RS (CIAG). (2012) Disponível em: <<http://www.ciag.com.br>>. Acesso em: 12 mar. 2012.

CORWIN, L.D. & BRADFORD, S.A. (2008) Environmental Impacts and Sustainability of Degraded Water Reuse. *Journal of Environmental Quality*, v. 37, n. 5, p. 1-7.

COSTANZI, R.N. (1998) Aspecto econômico do reúso de água no processo industrial. In: *XVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção/IV Congresso Internacional de Engenharia de Produção* - ENEGEP98, Niterói.

FLORÊNCIO, L.; BASTOS, R.K.X.; AISSE, M.M. (Eds.) (2006) *Tratamento e utilização de esgotos sanitários*. Rio de Janeiro: ABES. ISBN: 978-85-7022-152-0.

JOJACO FILTROS. (2011) *Manual de funcionamento*. Disponível em: <<http://www.jojaco.com.br>>. Acesso em: 15 set. 2011.

MIERZWA, J.C. (2002) *O uso racional e reúso como ferramentas para o gerenciamento de água e efluentes na indústria: estudo de caso da Kodak brasileira*. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 399 f.

REBOUÇAS, A.C. (2003) Água no Brasil: desperdício e escassez. *Bahia Análise & Dados*, Salvador, v. 13, p. 341-345.

RIO GRANDE DO SUL. CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - CONSEMA. (2006) *Resolução n. 128 de 24 de novembro de 2006*. Porto Alegre: Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Sul.

SILVA FILHO, A.S. (2009) *Tratamento terciário de efluente de uma indústria de refrigerantes visando o reúso - estudo de caso*. Rio de Janeiro. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 100 f.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL DE SÃO PAULO - SindusCon- SP. (2005) *Manual de Conservação e reúso da água em edificações*. São Paulo: SindusCon, 57 p.

U.S. Environmental Protection Agency - USEPA. (2004) *Guidelines for water reuse*. EPA 645-R-04-108. Washington, DC. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/pubs/625r04108/625r04108.pdf>>. Acessado em: 30 abr. 2010.

WESNER, G. (1998) *Mixing, coagulation and flocculation*. 3 ed. EUA: MacGraw-Hill, American Water Works Association e American Society of Civil Engineers.

YASHIKAWA, N. (1998) *Water recycling and reuse: the environmental benefits*. EPA 909-F-98-001. San Francisco. Disponível em: <<http://www.epa.gov>>. Acesso em: 18 abr. 2010.