

Caracterização físico-química e microbiológica da água tratada e residual de uma indústria de alumínio: estudo de caso

PHYSICAL CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL CHARACTERIZATION OF WATER AND WASTEWATER IN ALUMINUM MILLING PLANT: A CASE STUDY

Jorge Pasin de Oliveira
Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais - UNITAU
Mariko Ueno
Instituto Básico de Biociências - UNITAU

RESUMO

Foram realizadas avaliações físico-químicas e microbiológicas, em função do horário de operação, da água bruta captada do Rio Preto, que abastece a estação de tratamento de água (ETA) e dos descartes das estações de tratamento de efluentes domésticos (ETED) e industriais (ETEI) de uma indústria de laminados. Foi analisada a qualidade dos efluentes industriais, para fins de lançamento no corpo receptor. Os resultados dos sistemas analisados apresentaram variação significativa ao longo do período avaliado, em função do aumento da temperatura ambiente, da carga orgânica proveniente dos despejos do processo de fabricação, além da contaminação por partículas metálicas provenientes da remoção superficial por banhos ácidos, no sistema de anodização de alumínio.

PALAVRAS-CHAVE

Água. Efluentes. Processos. Alumínio. Parâmetros físicos. Químicos. Microbiológicos.

INTRODUÇÃO

Na área de laminação de alumínio, o processo de resfriamento é à base de solução aquosa, cujo elemento refrigerante é óleo mineral. Para a preparação desta solução refrigerante, por ser em circuito fechado, a quantidade de água não é significativa, como realimentação. Entretanto, os demais sistemas auxiliares da produção, principalmente as torres de resfriamento, são grandes consumidores internos de água, totalizando quase 55% da água consumida nesta indústria.

No processo de refusão do alumínio, a condutividade elétrica assume importância relevante em função da incompatibilidade de seu alto nível e o

processo de refusão do metal (FERLAND, 2002), entretanto, outros parâmetros tais como: pH, alcalinidade, dureza, nível de sólidos totais e presença de microrganismos também são monitorados. Nos efluentes, a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), pH, fósforo, compostos de nitrogênio e residual de cloro, são avaliados (ASANO, 1998; JORDÃO, 1995; VON SPERLING, 1996).

A qualidade microbiológica da água tratada na ETA é importante devido às conseqüências práticas do processo operacional e perdas na produção. Por outro lado, a eficiência do tratamento de efluentes deve ser avaliada para fins de prevenção à poluição do corpo receptor, garantindo o atendimento à legislação ambiental vigente (SÃO PAULO, 1976). A eficiência da desinfecção da água é avaliada através da análise de microrganismos na água bruta ou após o tratamento na ETA, assim como nos efluentes a serem descartados.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado na unidade de laminação de alumínio da Alcan Alumínio do Brasil, Pindamonhangaba, SP. A matéria-prima é fornecida de várias formas: tarugos, lingotes ou sucata de alumínio, na forma de latas de alumínio recicladas. A indústria possui uma unidade de transformação de sucata em lingotes. Tanto estes lingotes produzidos internamente quanto os fornecidos externamente, passam pela unidade de refusão de alumínio. O metal é fundido em fornos e, em seguida, envasado em processo contínuo, num regime de resfriamento constante, troca de calor intensa, até a solidificação, na forma final de placas.

Os sistemas externos à área produtiva onde a água é utilizada são atividades auxiliares, basicamente tor-

res de resfriamento. Trata-se de grandes unidades consumidoras de água (1200 m³/h circulante), consumindo 55% de toda água industrial. O circuito hidráulico da indústria opera com uma rede para abastecimento dos sistemas de produção (água industrial) e outra para abastecimento da água potável suprida por três poços artesianos que abastecem a cozinha, vestiários e sanitários.

As águas residuais da estação de tratamento de efluentes industriais (ETEI) são provenientes do processo de desmineralização da água, e de anodização de chapas, ambas da área de laminação a quente; da linha de desengraxe de chapas de alumínio da laminação a frio, que opera com produtos à base de cromo, e da anodização de chapas e pintura *silk-screen* da unidade de componentes de refrigeração (Fig. 1).

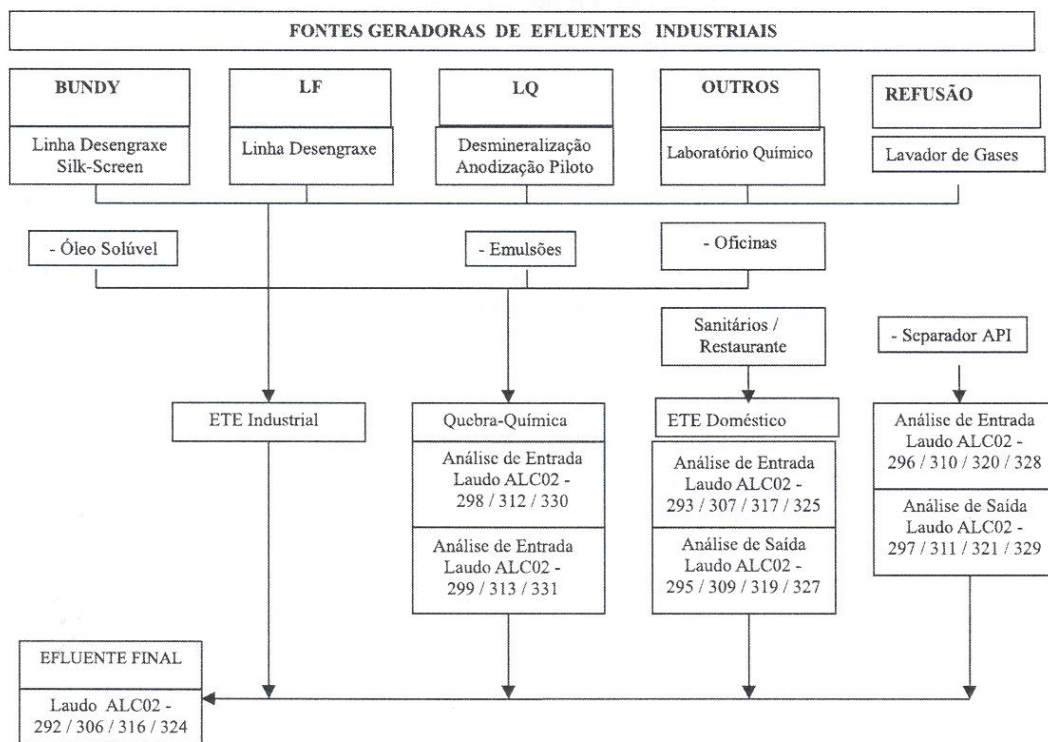


Figura 1 Fluxograma de captação de efluentes das diversas fontes internas de geração da Alcan Alumínio do Brasil, Pindamonhangaba, SP.

A ETEI tem operado com uma vazão média de 3,0 m³/h. Os efluentes são tratados em uma unidade contínua e outra em bateladas, dependendo do pico de vazão recebido na mesma. O tratamento, para os dois casos, dá-se pela da acidificação com ácido sulfúrico 5% (p/v), reduzindo-se para pH 3,0 e posterior neutralização com cal hidratada, com elevação ao pH 7,5 - 8,0. E, por fim, é promovida uma floculação forçada com adição de polímero aniônico e decantação em tanques estacionários, sem agitação (Fig. 2).

A estação de tratamento de efluentes domésticos (ETED) trata água proveniente de vestiários, sanitários e cozinha, com vazão média de 4,5 m³/h, é composta de uma unidade de gradeamento, caixa de areia, dois valos de oxidação seqüenciais, distribuídos em quatro cursos de fluxo, com volume aproximado de 150 m³, tendo quatro aeradores rotativos de mancais fixos.

Após os valos de oxidação, os efluentes são encaminhados para um decantador secundário de aproximadamente 80 m³, com taxa de retorno variável de acordo com as condições operacionais do sistema. A água servida da estação, após submergir do decantador secundário, é encaminhada à caixa de cloração onde é dosado hipoclorito de sódio 12 % cloro ativo, mantendo-se o residual de cloro entre 0,5 e 1,0 ppm. As águas destas estações são descartadas de acordo com os padrões estabelecidos no artigo 18 do decreto 8468 da Legislação Ambiental Paulista (SÃO PAULO, 1976).

A ETA é de conceito compacto e a vazão nominal de 90 m³/hora. A água bruta é captada em um lago, natural, formado pela água do Rio Preto e bombeada para um tanque de água bruta de onde é transferida para três floco-decantadores centrífugos onde são dosados sulfato de cálcio, hidróxido

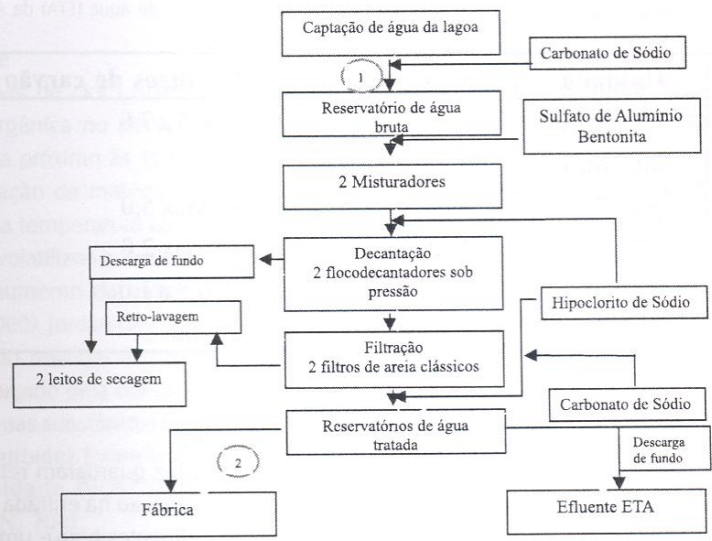


Figura 2 Fluxograma de distribuição de água industrial da Alcan Alumínio do Brasil, Pindamonhangaba, SP.

de sódio e sulfato de alumínio isento de ferro ou bentonita. Após passar pelos floco-decantadores a água é pressurizada num filtro de antracito e areia. Antes deste filtro é dosado hipoclorito de sódio

(12% de cloro ativo), para desinfecção. Em seguida a água é armazenada no reservatório e de lá distribuída para a fábrica (Fig. 2).

O sistema de distribuição da água pela indústria está mostrado na Figura 3.

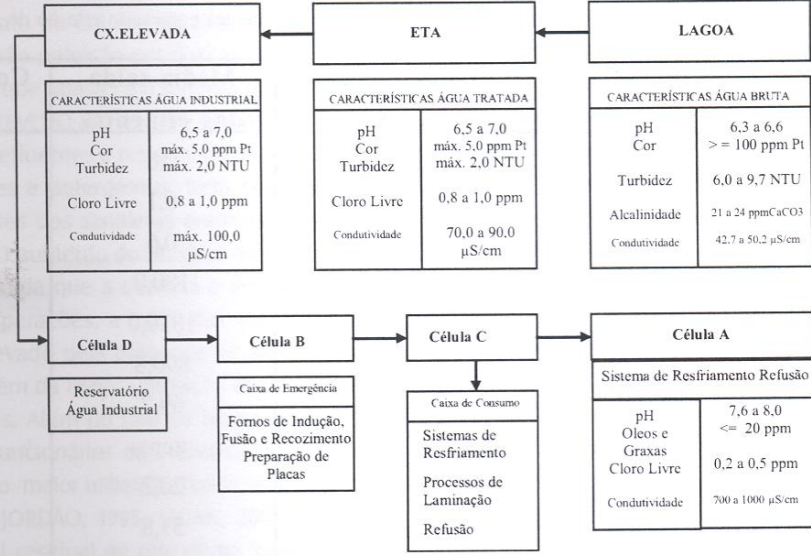


Figura 3 Fluxograma de distribuição de água industrial da Alcan Alumínio do Brasil, Pindamonhangaba, SP

A especificação dos parâmetros de controle da água tratada na ETA, com os limites qualitativos foi definida conforme o Quadro 1.

As análises foram realizadas no reator Hach DR 2010. Foi realizada análise de variância dos resultados, utilizando-se teste de Tuckey (p<0,05). Considerando a necessidade de se caracterizar a qualidade

da água de entrada e saída dos tratamentos de efluentes domésticos e industriais realizou-se um experimento fatorial 6x2 (hora e local) com três repetições.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises deste estudo estão ilustradas na Figura 4.

Quadro 1 Valores limitantes qualitativos de controle de processo de tratamento na estação de água (ETA) da Alcan Alumínio do Brasil, Pindamonhangaba, SP

PARÂMETRO	Unidade	Floco decantador	Filtros de carvão	Água tratada
pH	-	5,5 a 6,0	6,5 a 7,0	6,5 a 7,0
Sedimentação	mL / litro	10 a 15	-	-
Cor	ppm PtCo	Max 10	Max 5,0	Max 5,0
Turbidez	PTU	Max 5,0	Max 2,0	Max 2,0
Cloro livre	ppm	-	0,8 a 1,0	0,8 a 1,0
Condutividade	µS/ cm	-	100	100

Fonte : Alcan Alumínio do Brasil, Pindamonhangaba, 2003

Temperatura pH

O aumento de temperatura foi compatível com a variação da temperatura externa ao longo do dia, ocorrendo de forma mais acentuada na entrada da ETA devido à exposição ao sol associada ao pequeno volume como pode ser observado na Figura 4. O aumento da temperatura promove a aceleração do metabolismo microbiano favorecendo a formação de CO₂, que se combina com a água formando ácido carbônico.

Cor e Turbidez

Cor e turbidez guardaram relativa correspondência entre si, a variação na entrada da ETA foi pequena. Na saída dos efluentes houve um aumento considerável destes parâmetros, com acentuado pico às 13 h. Este comportamento justifica-se pela limpeza dos vários sistemas auxiliares da indústria (cozinha, banheiros e vestiários), com intensa utilização de produtos para limpeza e manipulação de alimentos que contêm cor (VON SPERLING, 1996; JORDÃO, 1995; ALCAN, 2003).

Tabela 1 Médias e coeficientes de variância, obtidas no experimento para os tratamentos entrada da estação de tratamento de água (ETA) e saída dos efluentes para os parâmetros analisados

Parâmetro	Unidade	Média entrada da ETA	Média saída dos efluentes	Coefficiente de variância
Alcalinidade	mg/L	22,6	0,6	4,87
Alumínio	mg/L	0,3	0,1	4,85
Cloro	mg/L	1,0	0,6	4,87
Coliforme fecal	UFC / 100 mL	9,8	180,0	4,93
Coliforme total	UFC / 100 mL	14,6	1830,0	273,7
Condut. Elétrica	µS / cm	75,2	890,8	134,35
Cor	PtCo	198,7	69,7	2,00
Cromo	mg/L	Zero	zero	zero
DBO	mg/L	7,9	20,2	8,54
DQO	mg/L	21,3	53,8	10,2
Ferro	mg/L	2,9	0,1	4,85
Fósforo	mg/L	0,89	36,75	8,61
N - amoniacal	mg/L	0,59	31,5	30,69
N - Nitrato	mg/L	2,16	115,12	31,02
N - total	mg/L	0,48	26,4	30,74
pH		6,2	6,4	0,27
Temperatura	°C	21,7	20,7	Zero

ETA: Estação de tratamento de água DBO: Demanda bioquímica de oxigênio DQO: Demanda química de oxigênio

Cloro e Alcalinidade

A oscilação do nível de cloro ocorreu devido ao aumento da carga orgânica no decorrer do dia, de forma mais acentuada próximo às 13h, demandando mais cloro para oxidação da matéria orgânica, bem como pela variação da temperatura ao longo do período, já que o cloro volatiliza-se facilmente, mais intensamente com o aumento da temperatura, como descrito por Asano (2000), Jordão (1995) e Von Sperling (1996). O aumento do residual de cloro promovido entre 13h e 15h foi forçado pela operação do sistema de efluentes. As mesmas substâncias que provocaram o aumento da cor e turbidez foram responsáveis pela variação da alcalinidade (VON SPERLING, 1996; JORDÃO, 1995; ALCAN, 2003).

Fósforo, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal e nitrato

Considerados como nutrientes para os microrganismos, tiveram comportamento muito semelhante, guardando inter-relação no período analisado. Verificaram-se baixas concentrações residuais de fósforo, nitrogênio e nitrato na entrada da ETA, o que pode ser um sinal de não poluição por descargas de esgotos no Rio Preto, que abastece o sistema de captação deste sistema (AZEVEDO NETO, 1987; SALVATORI, 1964).

Na saída dos efluentes o residual foi maior, já que alimentos, sabões e detergentes, bem como os esgotos provenientes dos sanitários eram ricos nesses contaminantes. O aumento do residual de fósforo foi acentuado à medida que a cozinha e o restaurante iniciaram suas operações, a partir das 11h. Mantendo-se o nível elevado pela presença de sabão e detergente e também da maior utilização dos sanitários após as refeições. Além do fato de haver uma troca de equipes de funcionários da indústria entre 14h e 15h20, implicando maior utilização dos vestiários (VON SPERLING, 1996; JORDÃO, 1995; ALCAN, 2003).

O baixo nível residual de nitrogênio total na entrada da ETA foi semelhante ao do fósforo, sendo, portanto, coerente com a presença destes elementos (JORDÃO, 1995; VON SPERLING, 1996; SALVATORI, 1964; AZEVEDO NETO, 1987). É interessante a observação do nível dos compostos de nitrogênio (total, amoniacal e nitrato) estarem alto às 7h, fato que pode ser justificado pelo descarte de substâncias contendo nitrogênio, antes do início das coletas (ALCAN, 2003).

Alumínio, Ferro e Cromo

Embora inicialmente o nível residual de alumínio fosse baixo, com o início do tratamento dos efluentes industriais (ETEI), verificou-se aumento dele na saída dos efluentes pelo fato de parte da água descartada ser proveniente do sistema de anodização de alumínio, que acarreta partículas desse elemento no meio a ser tratado (ALCAN, 2003).

O alto residual de ferro na entrada da ETA justifica-se pelo alto nível de ferro nas águas, superficiais e subterâneas, da região. Fato comprovado pela necessidade de instalar, na captação de água dos poços artesianos da indústria, um filtro de carvão e antracito, que está em níveis acima do recomendado para água potável (JORDÃO, 1995; SALVATORI, 1964; ALCAN, 2003). O baixo residual de ferro na saída dos efluentes mostra que esse elemento é retido nos diversos sistemas de filtro instalados na indústria ou precipitado nos tratamentos de efluentes (floculação) ou nas torres de resfriamento (MIERZWA, 2002).

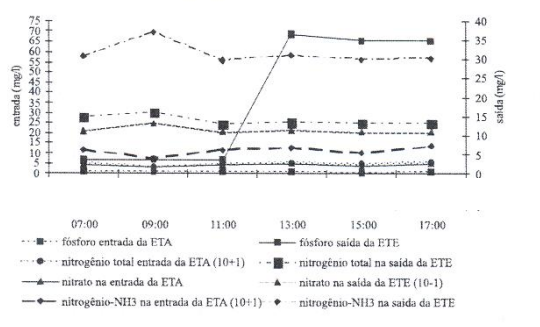
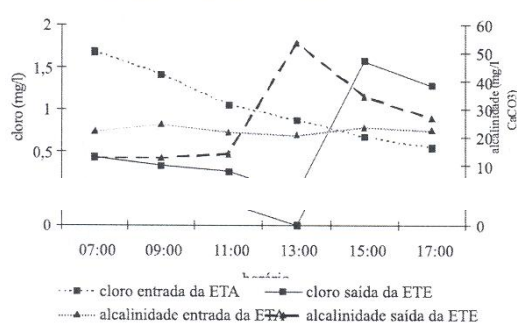
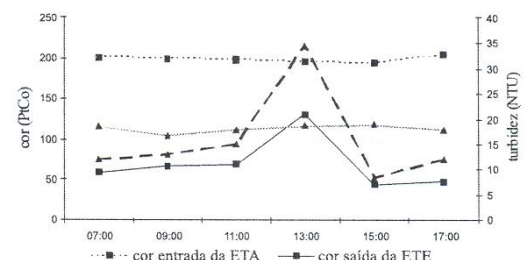
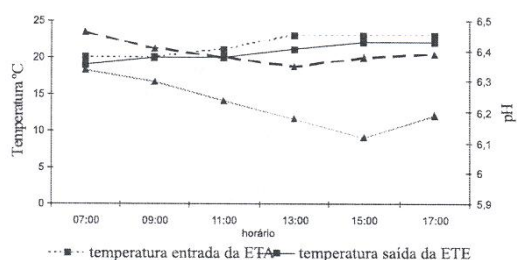
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e Demanda química de oxigênio (DQO)

A DBO e DQO na entrada da ETA mantiveram-se praticamente estáveis para águas dos rios da região (JORDÃO, 1995). O histórico de monitoramento da indústria indica médias em torno de 8 a 10 mg/L para DBO, o que está próximo dos níveis encontrados (ALCAN, 2003). Na saída dos efluentes, o nível residual teve uma variação acentuada, próximo do horário de funcionamento da cozinha e refeitório, pelo aumento da carga orgânica causada por alimentos, refrigerantes, sabões e detergentes utilizados (VON SPERLING, 1996; JORDÃO, 1995).

Mesmo que a DQO tenha evoluído dessa forma, os níveis são relativamente altos se comparados com os níveis de DBO, inclusive para a água de entrada da ETA (AZEVEDO NETO, 1987; SALVATORI, 1964).

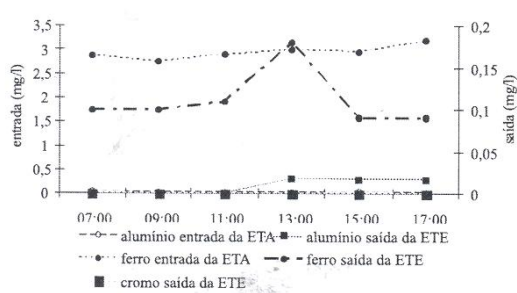
Coliformes totais e coliformes fecais

Os níveis de coliformes totais e fecais obtidos estavam dentro das expectativas para os dois tratamentos, mas para o uso direto da água há a necessidade de introdução de tratamento adicional (tratamento terciário) para atingir o padrão de qualidade da água requerido na indústria (FERLAND, 2002; ASANO, 2000; MIERZWA, 2002; WATER ENVIRONMENT FEDERATION, 1994).

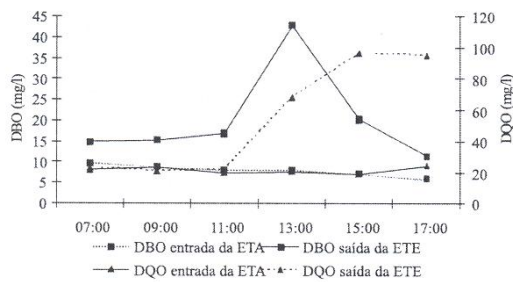


Cloro a alcalinidade na entrada da ETA e saída da ETE

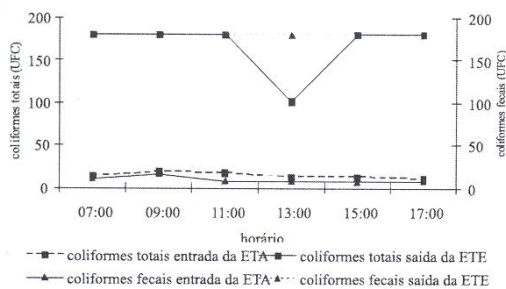
Fósforo, Nitrogênio Total, Nitrogênio-NH3 e Nitrato na entrada da ETA e saída da ETE



Alumínio, Ferro e Cromo na entrada da ETA e saída da ETE



DBO e DQO na entrada da ETA e saída da ETE



Coliformes Totais e Coliformes Fecais na entrada da ETA e saída da ETE

Figura 4 Variação de temperatura, pH, cor, turbidez, cloro, alcalinidade, fósforo, nitrogênio, alumínio, ferro, cromo, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), coliformes totais e fecais na entrada da estação de tratamento de água (ETA) e saída da estação de tratamento de efluentes (ETE) em função do horário de operação.

Condutividade elétrica

A condutividade elétrica é considerada limitante para o sistema de resfriamento de placas de alumínio na refusão ocasionando problemas de qualidade no metal a ser solidificado. Por esta razão tem sido constantemente monitorado. O controle da condutividade elétrica da água < 100 mS/cm para a água de realimentação do sistema de resfriamento é limitante à introdução de qualquer tratamento visando o reúso de água nessa indústria (FERLAND, 2002). Na entrada da ETA, a água atendeu a este requisito, mas não na saída da ETE. Para levar a reciclagem a termo, tratamentos terciários deveriam ser implementados (ASANO, 2000; MANCUSO; GRULL; EIGER, 2002; MIERZWA, 2002).

CONCLUSÃO

Próximo das 13h, a DBO aumentou e diminuiu em seguida para o mesmo patamar do início do dia, devido à redução da atividade na cozinha, o que não ocorreu com a DQO. Fato justificado pela continuidade das atividades do sistema de tratamento de efluentes industriais, onde produtos químicos são utilizados para alterações de pH e processo de floculação e ainda pelo aumento das atividades de limpeza, após a conclusão das operações de refeição da cozinha e restaurante, nas quais se utilizam produtos químicos com alta DQO.

Os resultados para o alumínio e cromo na entrada da ETA foram baixos, já que a montante da captação de água não há outra indústria instalada, o que descarta a possibilidade de contaminação da água do Rio Preto por estes elementos químicos. No entanto, o residual de alumínio se acentuou na saída dos efluentes devido aos produtos químicos utilizados na ETEI e a contaminação por partículas provenientes da anodização de chapas de alumínio.

Com a caracterização físico-química e microbiológica da água na entrada da ETA e saída da ETE, observou-se que o horário das 13h era o mais representativo em termos de carga orgânica e de poluentes das estações de efluentes. As características da água na entrada da ETA e saída da ETE são diferenciadas, mostrando o efeito da poluição causado pelo uso da água nos processos produtivos da indústria.

ABSTRACT

Adequate water treatment system (WTS) and wastewater treatment facility (WTF) depend on the physical, chemical and microbiological parameters

characterization from WTS water supply, domestic wastewater treatment facility (DWTF) effluents and industrial wastewater treatment facility (IWTF). The present work aims at WTS *in natura* water supply characterization as well as DWTF and IWTF disposed water of process which has been carried out taking into consideration the operational time for an aluminum milling plant. The main results from the analysed systems presented significant variations throughout the evaluation period due to the ambient temperature increase, the rich organic nutrient load - originated from manufacturing process disposal, plus metallic particles originated from surface removal on the aluminum anodization system.

KEY-WORDS

Water. Effluents. Processes. Aluminum. Physical chemical. Microbiological parameters.

REFERÊNCIAS

- ALCAN ALUMÍNIO DO BRASIL LTDA. *Relatório de controle analítico do sistema de tratamento de efluentes e água*. Pindamonhangaba, 2003. 6 p.
- ASANO, T. *Wastewater reclamation and reuse*, Boca Raton, Florida, CRC Press LLC, 2000, v. 10.
- AZEVEDO NETTO, J. M. *Técnica de abastecimento e tratamento de água*. 2.ed. São Paulo: CETESB/ACETESB, 1987. 332 p.
- FERLAND, P. *Pinda's DC cooling water recycling system*. Pindamonhangaba : Alcan Alumínio do Brasil Ltda, 2002. 11 p. (Relatório Técnico).
- JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. *Tratamento de esgotos domésticos*. 3. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995. 720 p.
- MANCUSO, P. C. S.; GRULL, D.; EIGER, S. Descarga zero e reúso para irrigação em parque temático. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. (Ed.). *Reúso de Água*. São Paulo: USP, 2002. p. 491-499.
- MIERZWA, J. C. *O uso racional e o reúso como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria*. Estudo de caso da Kodak Brasileira. 399 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- SALVATORI, S. *Tratamento de Água para fins urbanos e industriais*. São Paulo: 1964. 288 p.

SÃO PAULO (Estado) Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976. Dispõe sobre a Prevenção e o Controle da Poluição do Meio Ambiente. *Diário Oficial do Estado de São Paulo*, set. 1976. Artigo 7º, item I, p. 3-4.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. *Microbiologia*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2000. 830 p.

VON SPERLING, M. *Princípios básicos do tratamento de esgotos*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 211 p., v. 2.

WATER ENVIRONMENT FEDERATION. *Wastewater Biology*.

The life processes. Special Publication. 1994. 184 p.

Jorge Pasin de Oliveira

Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais da Universidade de Taubaté.

Mariko Ueno

Profa. Dra. da Disciplina Microbiologia e Imunologia do Departamento de Biologia da Universidade de Taubaté - UNITAU.

Pça Comendador Marcelino Monteiro, 63, Jardim das Nações

CEP: 12030-010 - Taubaté - SP

TRAMITAÇÃO

Artigo recebido em: 15/06/2004

Aceito para publicação em: 08/09/2004