CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO RIO MURUCUPI APÓS VAZAMENTO DE LAMA VERMELHA: ÁREA INDUSTRIAL DE BARCARENA-PA

Simone de Fátima Pinheiro Pereira[1], Cléber Silva e Silva[2], Daniel Pinheiro Nogueira[3], Davis Castro dos Santos[2], Rafaella Galvão Miranda[3], Reginaldo da Silva Sales[2]

Abstract - The conditions of the river Murucupi, Barcarena-PA,has been evaluated in relation to the physico-chemical parameters after accident on April 27, 2009 where the red mud originated from the company Alunorte was dumped into river. We analyzed temperature, dissolved oxygen, turbidity, pH, salinity and conductivity. According to CONAMA Resolution 357/05 of the OD (2.91 ± 0.75 mg/L) was below the resolution at all points evaluated ranging from 1.66 to 4.95 mg/L indicating the probable cause of mortality of fish. Dissolved oxygen is an extremely important variable, it is necessary for respiration of most organisms that inhabit the aquatic environment. Turbidity (UNT 287.69 ± 35.80) was above the resolution at all points analyzed ranging from 181.00 to 317.40 UNT. The increase in turbidity was caused by the presence of red mud and visually confirmed by filtration of river water.

Index Terms - Red mud, water contamination, physico-chemical parameters

INTRODUÇÃO

A produção de alumínio tem apresentado um crescimento constante de 1% ao ano. As conseqüências ecológicas desta produção são bem conhecidas: devastação da terra através da exploração da bauxita, usurpação de grandes áreas de terras para a construção de locais de disposição da lama vermelha, poluição em águas superficiais e subterrâneas e poluição do ar por gases resultantes de processos de eletrólise e trituração do alumínio (Salopek & Strazisar, 1993).

A "lama vermelha" (red mud) é o nome dado ao resíduo insolúvel que resta após a digestão da bauxita pelas soluções de hidróxido de sódio, na fabricação de alumina pelo processo Bayer. O rejeito contém bauxita original, ferro e titânio sob a forma de óxido e toda a sílica e parte do alumínio combinado com o sódio sob a forma de um silicato hidratado de alumínio e sódio de natureza zeolítica.

Porém a produção de lama vermelha através de fábricas de alumina constitui um problema ambiental de proporções consideráveis, devido às proporções do volume de lama vermelha gerado em uma fábrica de alumina típica e sua causticidade (Santos, 1989).

Nunn (1998) afirma que uma típica fábrica de alumina gera entre 0,5 e 2,0 ton de lama vermelha seca por tonelada de alumina produzida. Para Komnitsas et al. (2004), dependendo da qualidade da bauxita esta faixa varia entre 0,3 ton, para bauxitas de alta qualidade (alto teor de alumínio), e 2,5 ton para as de baixa qualidade. No entanto, na literatura são mais comuns as referências a valores entre 1 a 2 ton de lama vermelha por ton de alumina produzida. Além disso, até 2 toneladas de licor cáustico de 5-20 g/L (como Na_2CO_3) podem acompanhar cada tonelada de sólidos secos de lama. Sendo assim, é um problema considerável, que atualmente diz respeito a toda fábrica de alumina (Nunn, 1998).

Construída estrategicamente em Barcarena, município situado a 40 quilômetros, em linha reta, de Belém (PA), a Alunorte iniciou suas operações em julho de 1995, após um período de paralisação das obras em função de uma crise no mercado, que retardou a implantação do projeto. Em 2000, iniciou-se o primeiro projeto de expansão da refinaria, que foi concluído em 2003. Com a ampliação, a capacidade produtiva passou de 1,6 para 2,5 milhões de toneladas de alumina por ano.

A conseqüência imediata do aumento da produção de alumina pela Alunorte foi à crescente produção de lama vermelha. Nos últimos seis anos os vazamentos deste rejeito foram freqüentes. No ano de 2003 foi um total de três acidentes ocorridos na região. O terceiro acidente ocorreu no rio Pará, que ganhou uma coloração avermelhada no dia 16 de junho (Pereira et al., 2007). Os relatos dão conta que mais de 300 exemplares de peixes, principalmente tucunarés e acarás foram encontrados mortos no rio num final de semana. Técnicos da SECTAM foram enviados ao local e avaliaram que a temperatura superficial das águas do rio Pará estava em média a 54,61 ^{0}C e o pH estava extremamente alterado, em torno de 12,59.

Em 27 de Abril de 2009, novo vazamento foi confirmado que tornou as águas do rio Murucupi avermelhadas com grande mortandade de peixes.

A proposição deste trabalho envolve um estudo químico da qualidade da água superficial do rio Murucupi, local afetado pelo vazamento de efluente da empresa

[1]Docente da Universidade Federal do Pará - Laboratório de Química Analítica e Ambiental - Cidade Universitária José da Silveira Neto - Rua Augusto Correa S/N CEP: 66075-900 - Belém - Pará - Brasil - Tel: (91) 32018136 Fax: (91) 32017635 - simonefp@ufpa.br
[2]Programa de Pós Graduação em Química - UFPA
[3]Laboratório de Química Analítica e Ambiental - UFPA.

Alunorte baseado no conhecimento de alguns parâmetros físico-químicos presentes na água superficial, região de Vila do Conde – Barcarena-Pa, por solicitação da Delegacia do Meio Ambiente (DEMA) ao Laboratório de Química Analítica e Ambiental (LAQUANAM) da UFPA visando à avaliação do impacto causado pela lama vermelha no corpo hídrico em questão..

METODOLOGIA

O município de Barcarena (figura 1) situa-se a nordeste do estado do Pará entre os paralelos 1º 30´S a 1º 40´S e entre os meridianos 48º 30´ W a 48º 50´ W. A geologia local faz parte da bacia sedimentar da foz do rio Amazonas; os terrenos são representativos do grupo Pará, caracterizado por depósitos de areia, siltes, argilas e concreções lateríticas (Resende & Fernandes, 1971 *apud* Lima & Kobayashi, 1988). O município de Barcarena tem cerca de 60 mil habitantes, segundo dados estatísticos do IBGE (2000). Despejos industriais contendo lama vermelha oriunda do processo de produção de alumina tem sido um problema constante para os ecossistemas da área industrial de Barcarena (figura 2). Alguns parâmetros são determinantes como o oxigênio dissolvido para a manutenção da vida em ecossistemas aquáticos. A fundamentação teórica aqui relatada mostra o significado dos parâmetros que estiveram em não conformidade com a resolução do CONAMA 357-05 por ocasião do vazamento de efluente da empresa Alunorte em abril de 2009.

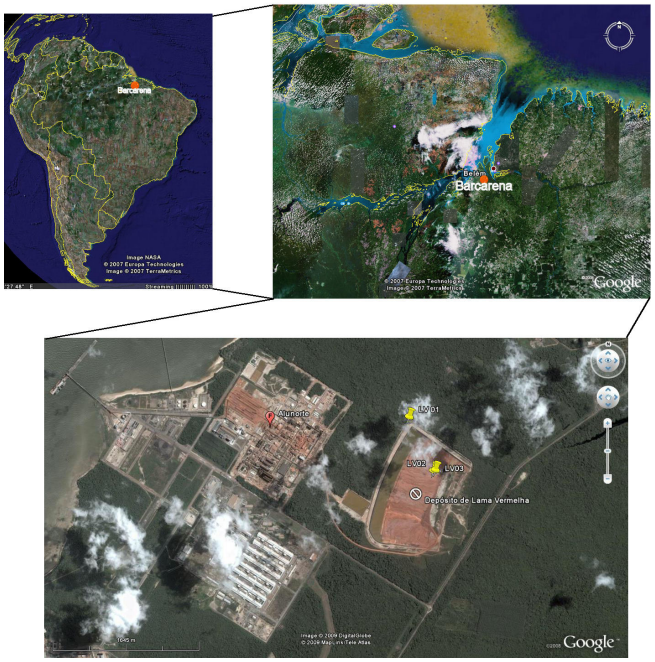

Figura 1 - Imagem de satélite da área afetada com destaque para a área de depósito de lama vermelha
Fonte: Modificado de Google earth (2009)

Figura 2 - Rio Murucupi após vazamento de lama vermelha

As principais massas de água predominantes nessa região são constituídas pela baía de Marajó, pelo rio Pará (figura 3) e pelos diversos rios que se comunicam entre si através de canais (denominados furos) e com os igarapés (córregos de água límpida). Os rios mais caudalosos da área são o Itaporanga, o Barcarena, o Murucupi; outras vias fluviais importantes são o rio Arienga, furo do Arrozal, os igarapés Dendê, Tauá, Pramajó, Pramajozinho, Água Verde, Japim, Pau Amarelo, Curuperê e Conde. De um modo geral, tanto os rios como os igarapés e furos aqui citados, predomina a coloração marrom-amarelada das águas (Lima & Kobayashi, 1988).

Figura 3 - Vazamento da Lama Vermelha no rio Pará
Fonte: O liberal (30/04/2009)

As coletas foram realizadas com o auxilio de um barco da polícia fluvial e de um veículo tipo cabine dupla cedido pelo LACEN da Secretaria de Saúde no dia seguinte ao vazamento e pela DEMA no local onde foram feitas as coletas. Os locais de amostragem foram georeferenciados através de um GPS (global positioning system) (tabela 1 e figura 4).

As análises físico-químicas foram realizadas no local usando sonda multiparâmetros – Fabricante YSI – Hexis do Brasil – Modelo 6600 – que avaliou o OD, pH, temperatura, condutividade, salinidade, profundidade e turbidez. Calibrados com soluções apropriadas antes da viagem de campo.

Tabela 1. Localização dos pontos amostrais

Amostra (local)	Localização
RM 01 (Rio Murucupi)	01º29'39,0'' S 48º40'06,6''W
RM 02 (Rio Murucupi)	01º29'53,9'' S 48º40'06,0''W
RM 03 (Rio Murucupi)	01º30'06,8'' S 48º40'02,4''W
RM 04 (Rio Murucupi)	01º30'22,4'' S 48º40'06,2''W
RM 05 (Rio Murucupi)	01º30'38,7'' S 48º40'04,9''W
RM 06 (Rio Murucupi)	01º30'42,7'' S 48º40'15,4''W
RM 07 (Rio Murucupi)	01º30'48,1'' S 48º40'27,4''W
RM 08 (Rio Murucupi)	01º30'52,8'' S 48º40'34,5''W
RM 09 (Rio Murucupi)	01º30'56,6'' S 48º40'42,5''W
RM 10 (Rio Murucupi)	01º31'07,2'' S 48º40'45,3''W
RM 11 (Rio Murucupi)	01º31'12,2'' S 48º40'51,8''W
RM 12 (Rio Murucupi)	01º31'17,9'' S 48º41'01,5''W
RM 13 (Rio Murucupi)	01º31'23,6'' S 48º41'06,7''W
RM 14 (Rio Murucupi)	01º31'26,0'' S 48º41'09,5''W
RM 18 (Foz do Murucupi no Rio Barcarena)*	01º29'29,8'' S 48º40'05,9''W

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos parâmetros físico-químicos para o rio Murucupi no dia 29-04-09 estão mostrados na tabela 2. Os valores encontrados na região em estudo estão sujeitos as variações sazonais e a fenômenos de maré. No caso do presente estudo as análises e coletas iniciaram na baixamar e a partir da amostra 5 prosseguiram na preamar.

O OD (média = 2,91±0,75 mg/L) esteve abaixo da resolução do CONAMA 357/05 (>5mg/L) em todos os pontos avaliados variando de 1,66 a 4,95 mg/L (figura 4). Devido os baixos valores de OD encontrados conclui-se que este provavelmente foi o principal fator da mortandade dos peixes. Foi possível observar a influência da intrusão do rio Barcarena nas águas do rio Murucupi agindo como agente depurador. Os níveis de OD começam baixos até o ponto RM 5 onde atinge seu mínimo (1,66) e começa a aumentar com a influência da maré o que dificulta a interpretação dos resultados deste parâmetro, nas condições apresentadas no dia da análise.

Do ponto de vista ecológico, o oxigênio dissolvido é uma variável extremamente importante, pois é necessário para a respiração da maioria dos organismos que habitam o meio aquático. Em rios amazônicos isentos de influência antrópica o OD varia de 6 a 8 mg/L, Pereira et al. (2007) relatam uma variação de 2,6 a 6,3 mg/L para OD no rio Murucupi, indicando redução do OD devido o lançamento clandestino de esgotos domésticos. Em valores de OD abaixo de 5 mg/L algumas espécies não sobrevivem.

Tabela 2 - Parâmetros físico-químicos

Amostra	*T ºC*	*OD mg/L*	*Turbidez UNT*
CONAMA 357/05 classe 2	-	>5	<100
Média	28,29	2,91	287,69
Mediana	28,20	2,96	298,50
DP	0,28	0,75	35,80
CV (%)	0,99	25,77	12,44
Mínimo	27,80	1,66	181,00
Máximo	28,90	4,95	317,40
Amostra	***pH***	***Salinidade mg/L***	***Condutividade µS/cm***
CONAMA 357/05 classe 2	6,0 a 9,0	-	-
Média	7,20	0,08	181,07
Mediana	7,20	0,09	190,00
DP	0,21	0,02	40,33
CV (%)	2,92	25,00	22,27
Mínimo	6,77	0,04	87,00
Máximo	7,49	0,10	225,00

DP = desvio padrão; CV= coeficiente de variação

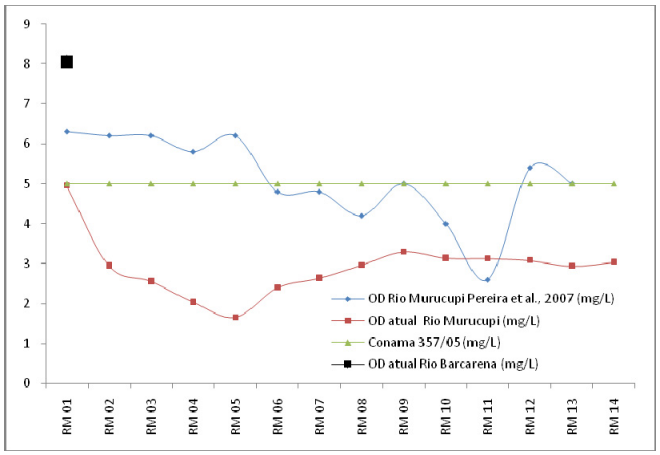

Figura 4. Distribuição do oxigênio dissolvido no rio Murucupi

O parâmetro temperatura apresentou valores praticamente constantes (CV = 0,99%) e encontram-se no intervalo de 27,8 ºC e 28,90 ºC, não apresentando alterações em relação à média encontrada em outros trabalhos para o rio Murucupi (figura 5).

A turbidez (média = 287,69±35,80 UNT) esteve acima da resolução (<100 UNT) em todos os pontos analisados, esta média representa um aumento em torno de 3 vezes o valor máximo recomendado, variando de 181,00 a 317,40 UNT (figura 6). Pereira et al. (2007) encontraram turbidez variando de 17 a 34 UNT no rio Murucupi.

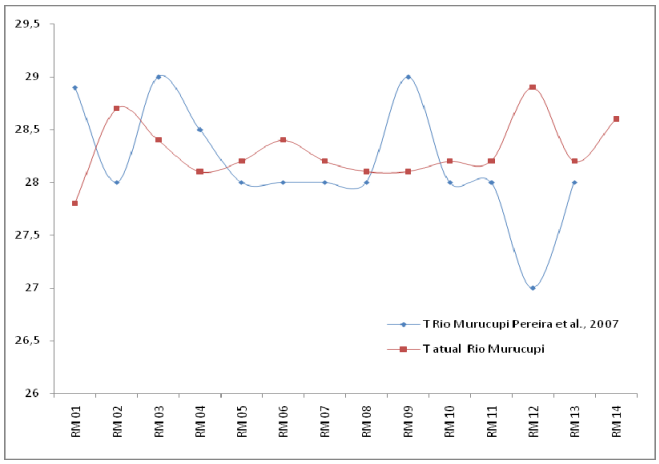

Figura 5 - Variação de temperatura no rio Murucupi

O aumento da turbidez foi causada pela presença de lama vermelha, uma espécie de argila finamente dividida, presente na água do rio Murucupi em grandes quantidades, constituída por uma mistura de óxidos de Fe, Al, Ti, Si, Na, Mg e Ca conferiu ao rio um aspecto vermelho com baixa transparência.

O excesso de material em suspensão, no caso a lama vermelha, causa a diminuição na transparência da água, impedindo a penetração da luz, como conseqüências as reações que dependem da luz não ocorrem como a fotossíntese. Os peixes necessitam de organismos como os plânctons para sobreviverem, daí a importância da baixa turbidez.

Através do sentido da visão o homem tem a primeira reação às condições de qualidade da água. Esta reação visual está relacionada com a turbidez. Segundo o Standard Methods (APHA, 1991): "A turbidez é causada pela presença de materiais em suspensão na água, tais como argila, limo, matéria orgânica, plâncton, organismos microscópicos, carbonato de cálcio, etc. A turbidez deve ser claramente entendida como uma medida da propriedade óptica da amostra pela qual a luz é refletida e absorvida, ao invés de transmitida através da amostra".

Na realidade, a turbidez envolve outros aspectos não abrangidos na definição acima, tais como o material em solução, a cor da amostra, o fato de que, na medição, são várias as propriedades ópticas que estão envolvidas, o problema do movimento browniano, do tamanho das partículas em relação ao comprimento de onda da luz incidente, etc. Isto tudo faz com que uma amostra do ponto de vista da turbidez pode estar sofrendo alterações com o tempo, e isto é importante na medição do parâmetro (Carranza & Bemben, 1973).

Quanto ao pH as águas mostraram-se neutras (média de 7,20) em conformidade com a resolução do CONAMA (pH de 6-9) porém em desacordo com o pH do rio Murucupi, rio de águas ácidas segundo Pereira et al. (2007) que encontraram uma faixa de pH de 4,35 a 6,15 (figura7), o que, está de acordo com a influência do material em suspensão nas águas de rios amazônicos (argila rica em caulinita e ácidos húmicos oriundos da decomposição de matéria vegetal) (Lima & Kobayashi, 1988).

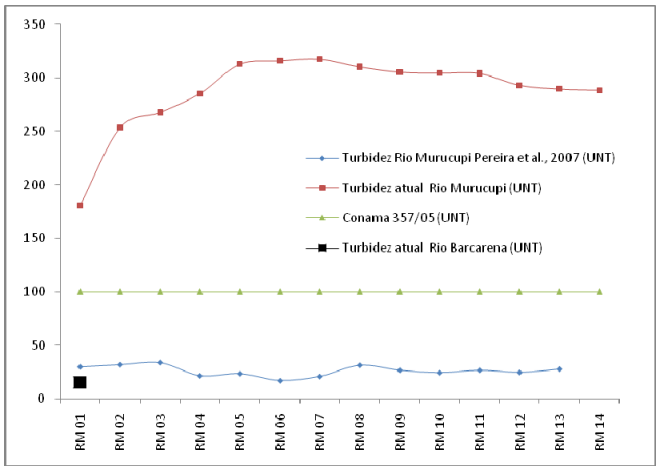

Figura 6. Distribuição da turbidez no rio Murucupi

Embora haja uma aparente contradição entre as características do efluente (lama vermelha) de natureza cáustica (pH em torno de 12) e o pH encontrado no rio de natureza neutra, o estudo dos metais e da correlação, a ser tratado adiante, mostram a adição de HCl como agente neutralizante que contribuiu para a redução do pH.

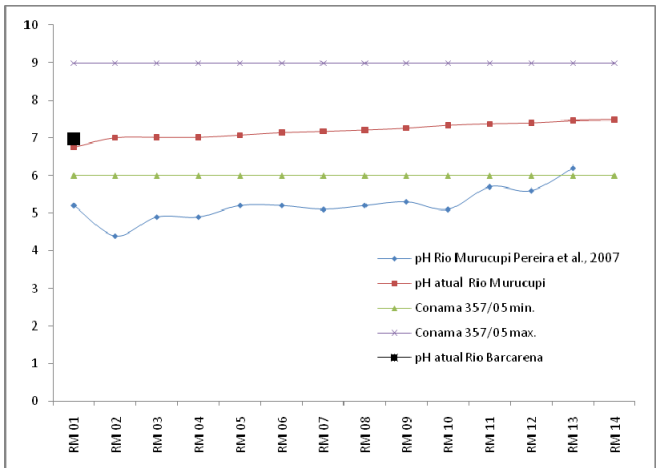

Figura 7. Distribuição do pH no rio Murucupi

As grandes variações de pH de ácido a alcalino seriam notadas imediatamente por ocasião dos vazamentos de efluentes que logo se transformariam pela adição de neutralizantes e se dispersariam pela influência das marés.

Segundo Lima & Kobayashi (1988) a condutividade do rio Murucupi era de 30 □S/cm em abril de 1985 níveis em torno de 6 vezes menores aos encontrados no rio Murucupi após o vazamento de lama vermelha (figura 8). A condutividade e a salinidade no rio Murucupi se mostraram elevadas em relação às águas amazônicas.

Os três maiores mecanismos controladores da salinidade nas águas superficiais são a predominância rochosa, a precipitação atmosférica e os processos de evaporação-precipitação. A importância de cada um destes mecanismos é dependente de fatores geográficos, geológicos e climáticos que alteram as concentrações dos cátions (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+} e K^{+}) e ânions (HCO_3^-, Cl^- e SO_4^{2-}) principais (Leite & Fonseca, 2002), no rio Murucupi o grande aporte de íons como o Na^+ e Cl^- promoveram o aumento dos dois parâmetros.

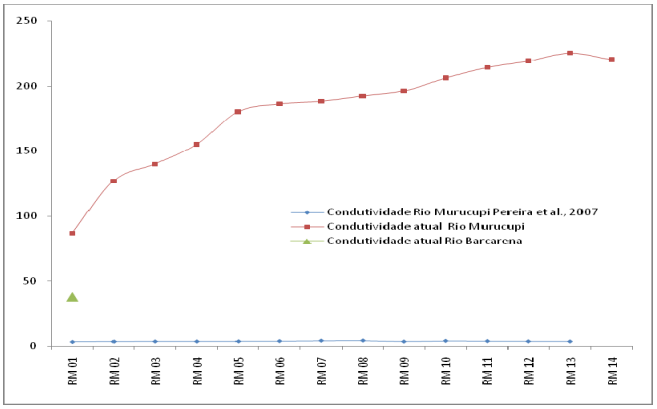

Figura 8 - Distribuição da condutividade no rio Murucupi

Comparando os valores obtidos no rio Murucupi para os parâmetros físico-químicos com os valores obtidos no rio Barcarena (RM18) mostrados na tabela 3 verifica-se a grande variabilidade de resultados principalmente para OD, Turbidez, condutividade e salinidade.

Tabela 3 - Comparação média rio Murucupi e rio Barcarena

Amostra	T °C	OD (mg/L)	Turbidez (UNT)
CONAMA 357/05 classe 2	-	>5	<100
Média Murucupi	28,29	2,91	287,69
RM 18*	29,20	8,06	15,3
Amostra	**pH**	**Salinidade (mg/L)**	**Condutividade (µS/cm)**
CONAMA 357/05 classe 2	6,0 a 9,0	-	-
Média Murucupi	7,20	0,08	181,07
RM 18*	6,98	0,02	38,00

O OD no rio Barcarena é 2,77 maior que no rio Murucupi, quanto à turbidez o rio Murucupi apresenta valores 18,80 vezes maiores que o rio Barcarena, a presença de sais dissolvidos que aumentou a condutividade do rio Murucupi é comprovada quando se compara com os valores do rio Barcarena com valores 4,77 menores que no rio Murucupi, mesmo comportamento foi verificado para pH e salinidade onde o rio Barcarena apresentou valors menores que o rio Murucupi.

CONCLUSÕES

Os resultados comprovaram que ocorreu comprometimento da água do rio Murucupi por ocasião de vazamentos de lama vermelha na área industrial de Barcarena. A falta de oxigênio dissolvido pode ter sido a principal causa da grande mortandade de peixes ocorrida no local.

REFERÊNCIAS

[1]. APHA (American Public Health Association), Standard Methods for the, Examination of Water and Wastewater. American Water Works Association and Water Pollution Control Federation 13th Ed., Washington, p.62-64, 1991.

[2]. CARRANZA, C. & BEMBEN, S.M., 1973. The origin, effects and control of turbidity in an urban recreational lake. Water Resources Research Center, University of Massachusetts.

[3]. KOMNITSAS, K., BARTZAS, G., PASPALIARIS, I., "Efficiency of limestone and red mud barriers: laboratory column studies", *Minerals engineering,* n. 17, pp. 183-194, 2004.

[4]. LEITE, F. P.; FONSECA, O. J. M. Variação espacial e temporal de parâmetros ambientais da lagoa Caconde, Orósio, RS. Acta Limnológica Brasiliensis, Botucatu, 14(2):39-50, 2002.

[5]. LIMA, W.N. e KOBAYASHI, C.N. Sobre o quimismo predominante nas águas do sistema flúvio-estuarino de Barcarena, Pa, Geochimica Brasiliensis, V.2, n.1, p.53-71, 1988.

[6]. NUNN, R. F. Advances in Red Mud dewatering and disposal technologies. Light Metals, p. 107-113, 1998.

[7]. PEREIRA, S.F.P.; LIMA, M. A.; FREITAS, K. H.; MESCOUTO, C. S.; SARAIVA, A. F. Estudo químico ambiental do rio Murucupi - Barcarena/PA, área impactada pela produção de alumínio. Revista Ambiente e Água - An interdisciplinary Journal of Applied Science, 2(3):62-82, 2007.

[8]. SALOPEK, B. e STRAZISAR, J. The influence of Red Mud impoundments on the environment. Light Metals, p. 41-44, 1993.

[9]. SANTOS, P. Ciência e Tecnologia de Argilas. 2ª ed. Ver. São Paulo: Edgard Blücher. Vol. 1, 1989.