EFEITO DA DISTRIBUIÇÃO DE UMA PLUMA DE POLUIÇÃO DE ÁREA INDUSTRIAL DE PRODUÇÃO DE ALUMÍNIO

Simone de Fátima Pinheiro Pereira[1], Pedro Moreira Sousa[2], Cléber Silva e Silva[2], Daniel Pinheiro Nogueira[3], Davis Castro dos Santos[2], Rafaella Galvão Miranda[3]

Abstract - Chloride was evaluated to establish the range of the pollution plume from the Murucupi river Barcarena-PA where the leak of red mud with high levels of chloride. Chloride was determined on the Guamá river, Guajará Bay, Barcarena river, Pará river and Arienga river with the aid of a multiparameter probe. In Guamá River and Guajará Bay chloride ranged from 40.82 to 42.12 mg/L. In Barcarena river ranged from 27.84 to 196.0 mg/L, note that the chloride increases as it approaches the Murucupi river mouth this parameter reaches the maximum. In Para River ranged from 102.1 to 190.3 mg/L, maximum values were found near the of the Alunorte (aluminum industry) and Dendê river mouth, indicating that the effluent may have been released directly into the Para river. In Arienga River values ranged from 113. 9 to 164.5 mg /L.

Index Terms - Pollution plume, Red mud, water

INTRODUÇÃO

A lama vermelha, resíduo da indústria de beneficiamento do alumino, é gerada a partir do refino da bauxita para produção de alumina (Al_2O_3) através do processo Bayer.

Para obtenção da alumina pura utiliza-se o processo proposto por Karl Bayer em 1887, onde se usa NaOH para dissolver seletivamente Al_2O_3, a partir da bauxita que contêm cerca de 55 % em Al_2O_3.

Isto produz uma solução do qual $Al(OH)_3$ é precipitado, para posteriormente ser calcinado para produzir o óxido, o qual dará origem ao alumínio metálico. O que resta da solução da qual a alumina precipitou são compostos de Fe, Na e sílica, estes são então removidos pela etapa de clarificação. Este resíduo é conhecido, pelo seu conteúdo de ferro oxidado, como lama vermelha e devido o tratamento com NaOH é bastante corrosivo e apresenta em sua constituição metais pesados como Pb, Cr e Cu. Estas propriedades conferem à lama vermelha a classificação de resíduo perigoso classe I de acordo com a norma NBR 10004.

Os constantes vazamentos ocorridos na área industrial de Barcarena-Pará, têm comprometido a qualidade da água dos recursos hídricos da região em especial o rio Murucupi que recebe a maior parte dos efluentes oriundos de bacias de sedimentação da empresa Alunorte localizada no município de Barcarena situada 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.

Os efluentes oriundos do rio Murucupi se distribuem pelos rios da região alcançando uma grande área da Baía de Marajó e do Rio Pará.

Souza (2006) estudou as correntes de maré e sugeriu modelos hidrodinâmicos na área da Baía de Marajó e o Rio Pará. O rio Pará é formado a partir de contribuições do Rio Amazonas, através das vazões veiculadas nos Estreitos de Breves e Boioçu, que se somando às contribuições do Rio Tocantins e Guamá formam a Baía de Marajó.

As variantes que regem os processos de distribuição de poluentes na área são: marés, ventos, correntes oceânicas, ondas, vazões fluviais além de propriedades físico-químicas dos mares e rios.

As marés astronômicas são resultado da interação das forças de atração gravitacional da Lua e do Sol sobre as massas líquidas e da força centrífuga dos sistemas Terra-Sol e Terra- Lua, devido à contínua variação da posição relativa dos astros. Sua característica principal é o fato de ser periódica e, conseqüentemente, previsível. Os principais movimentos orbitais que influenciam as oscilações das marés são: o movimento de revolução da Lua, em órbita elíptica em torno da Terra, com um período de 29,5 dias, a revolução da Terra, em órbita elíptica em torno do Sol, com um período de 365,25 dias e a rotação da Terra, em torno do seu próprio eixo, com um período de 24 horas ou um dia solar. As forças que devem ser consideradas para efeito da propagação da maré são as forças horizontais, denominadas forças trativas, pois são elas que produzem o movimento das águas. Fazendo-se uma analogia com o exposto anteriormente, as forças gravitacionais geradas pelo Sol também têm influência sobre as marés, com correspondentes forças trativas. Entretanto, sua magnitude corresponde a 46% das lunares, isso se explica devido ao fato do Sol estar 360 vezes mais distante da Terra do que a Lua. A maré solar tem período semidiurno de 12 horas.

[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.

Segundo Alfredini (2005), as condições metereológicas podem modificar consideravelmente a altura e horário de uma determinada maré. O vento pode represar a maré ou reduzi-la. O nível d'água também tem influência das pressões atmosféricas. O efeito combinado de ventos com sentido mar-terra com baixas pressões corresponde a marés metereológicas positivas, que constituem ameaça de inundação para as áreas costeiras mais baixas. Já o efeito oposto é conhecido como maré metereológica negativa, sendo problemático para a navegação em águas rasas.

Os ventos desempenham papel importante no sistema marinho, sobretudo na geração das ondas e correntes de deriva. Os ventos são formados pelo aquecimento irregular da atmosfera, uma vez que os raios solares não incidem uniformemente na superfície terrestre e em virtude da não uniformidade da orientação dos raios solares e dos movimentos da Terra.

Em um único dia devido ao diversas variantes os poluentes se distribuem por uma grande área.

O cloreto é um excelente indicador de distribuição de pluma de poluição principalmente pela vantagem de ser avaliado in situ. O objetivo deste estudo foi avaliar a extensão da distribuição da pluma de poluição oriunda do rio Murucupi onde efluentes oriundos da empresa Alunorte no dia 27 de Abril de 2009 foram despejados no rio Murucupi usando os parâmetros físico-químicos e principalmente o cloreto como indicador da pluma.

METODOLOGIA

As coletas foram realizadas no dia 09/05/2009, 12 dias após o vazamento de lama vermelha, com o auxilio de um barco da polícia fluvial e apoio da Delegacia de Meio Ambiente (DEMA). Os locais de amostragem foram georeferenciados através de um GPS (global positioning system) (tabela 1 e figura 1). Para avaliar os resultados quanto à influência das marés foi utilizada a tábua de maré fornecida pelo DHN - Tábua de Marés ref. Porto Vila do Conde - Latitude: 01º32'0,4S; Longitude: 048º45'0,2W.

Figura 1. Trajetória de coleta de amostras

Tabela 1. Localização dos pontos amostrais

Amostra (local)	Localização
RG01 (Rio Guamá)	01°27'53,00"S 48°30'27,90"W
RG02 (Rio Guamá)	01°27'35,40"S 48°30'37,60"W
BG01 (B. do Guajará)	01°27'15,10"S 48°30'31,60"W
BA01 (Rio Barcarena)	01°27'30,30"S 48°36'14,10"W
BA02 (Rio Barcarena)	01°27'47,70"S 48°36'47,80"W
BA03 (Rio Barcarena)	01°28'20,60"S 48°37'06,80"W
BA04 (Rio Barcarena)	01°28'51,30"S 48°37'26,70"W
BA05 (Rio Barcarena)	01°29'24,40"S 48°37'33,80"W
BA06 (Rio Barcarena)	01°29'55,90"S 48°37'30,50"W
BA07 (Rio Barcarena)	01°30'13,90"S 48°37'37,70"W
BA08 (Rio Barcarena)	01°30'15,22"S 48°38'09,92"W
BA09 (Rio Barcarena)	01°29'34,10"S 48°38'19,80"W
BA10 (Rio Barcarena)	01°29'24,80"S 48°38'47,50"W
BA11 (Rio Barcarena)	01°29'35,20"S 48°39'33,40"W
BA12 (Rio Barcarena)	01°29'30,00"S 48°39'59,50"W
BA13 (Rio Barcarena)	01°29'16,00"S 48°40'24,70"W
BA14 (Rio Barcarena)	01°28'40,90"S 48°40'18,00"W
BA15 (Rio Barcarena)	01°28'16,90"S 48°40'32,10"W
BA16 (Rio Barcarena)	01°28'14,70"S 48°40'56,00"W
BA17 (Rio Barcarena)	01°28'14,00"S 48°41'22,90"W
BA18 (Rio Barcarena)	01°28'09,10"S 48°41'46,00"W
RPA01 (Rio Pará)	01°28'08,70"S 48°41'59,00"W
RPA02 (Rio Pará)	01°29'00,70"S 48°43'13,50"W
RPA03 (Rio Pará)	01°29'11,60"S 48°43'21,20"W
RPA04 (Rio Pará)	01°29'33,00"S 48°43'40,50"W
RPA05 (Rio Pará)	01°29'52,90"S 48°43'54,50"W
RPA06 (Rio Pará)	01°30'36,80"S 48°44'35,50"W
RPA07 (Rio Pará)	01°31'08,90"S 48°44'33,80"W
RPA08 (Rio Pará)	01°31'29,40"S 48°44'43,50"W
RPA09 (Rio Pará)	01°32'14,70"S 48°45'18,20"W
RPA10 (Rio Pará)	01°32'36,20"S 48°45'44,80"W
RPA11 (Rio Pará)	01°32'47,50"S 48°45'44,80"W
RPA12 (Rio Pará)	01°33'00,76"S 48°45'59,58"W
RPA13 (Rio Pará)	01°33'18,00"S 48°46'10,00"W
RPA14 (Rio Pará)	01°33'55,50"S 48°46'43,30"W
RPA15 (Rio Pará)	01°34'34,20"S 48°47'14,90"W
RPA16 (Rio Pará)	01°34'54,20"S 48°47'29,80"W
RPA17 (Rio Pará)	01°35'33,80"S 48°48'00,93"W
RAR01 (Rio Arienga)	01°36'37,50"S 48°48'11,50"W
RAR02 (Rio Arienga)	01°36'23,40"S 48°48'00,70"W
RAR03 (Rio Arienga)	01°36'18,00"S 48°47'53,00"W
RAR04 (Rio Arienga)	01°36'15,30"S 48°47'46,40"W
RAR05 (Rio Arienga)	01°36'10,90"S 48°47'42,20"W
RAR06 (Rio Arienga)	01°36'08,60"S 48°47'34,51"W
RAR07 (Rio Arienga)	01°36'04,70"S 48°47'24,90"W
RAR08 (Rio Arienga)	01°36'00,50"S 48°47'30,00"W
RAR09 (Rio Arienga)	01°36'04,80"S 48°47'30,90"W
RAR10 (Rio Arienga)	01°36'05,10"S 48°47'32,60"W
RAR11 (Rio Arienga)	01°36'08,00"S 48°47'34,20"W

As análises físico-químicas foram realizadas no local usando sonda multiparâmetros – Fabricante YSI – Hexis do Brasil – Modelo 6600 – que avaliou o Cloreto,

nitrato, amônia, amônio, clorofila, OD, pH, temperatura, condutividade, salinidade, profundidade e turbidez..

As principais massas de água predominantes nessa região são constituídas pela baía de Marajó, pelo rio Pará 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).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O cloreto foi determinado no rio Guamá e na Baía do Guajará para que se pudesse ter um parâmetro de comparação em relação aos valores encontrados na área do vazamento. Os níveis encontrados em frente à cidade de Belém mostram que o cloreto variou de 40,82 a 42,12 mg/L, estes valores elevados de cloreto indicam que o aporte do ânion nos dois corpos hídricos é provavelmente devido ao lançamento de grandes quantidades de esgoto sem tratamento no rio Guamá e Baía do Guajará. No rio Barcarena o cloreto variou de 27,84 a 196,0 mg/L, nota-se que o cloreto aumenta à medida que se aproxima da foz do rio Murucupi onde este parâmetro atinge os limites máximos (figura 2).

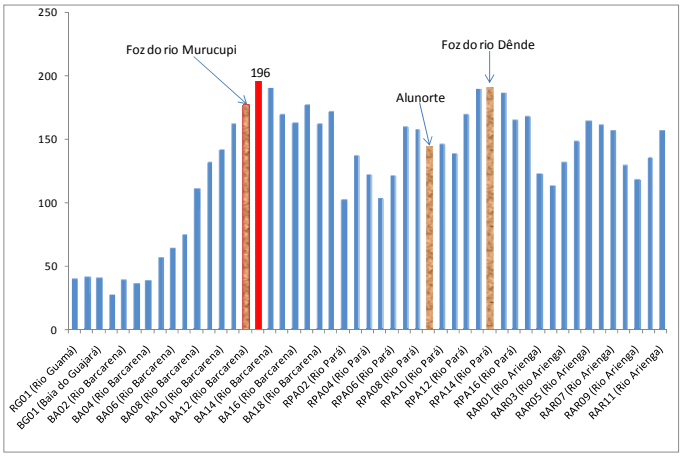

Figura 2. Distribuição do cloreto de Belém ao rio Arienga

A origem do cloreto em altas concentrações na área de saída do rio Murucupi se deve ao provável uso de neutralizante, provavelmente o HCL que ao se combinar com o NaOH, formou o NaCl bastante solúvel e causa principal dos elevados níeis do ânion na área.

No rio Pará o cloreto variou de 102,1 a 190,3 mg/L, valores máximos foram encontrados próximos a Alunorte na foz do rio Dênde, indicando que o efluente pode ter sido lançado diretamente no rio Pará através de despejos clandestinos.

No rio Arienga os valores variaram de 113,9 a 164,5 mg/L, mostrando que a intrusão do rio Pará neste rio tem uma função inversa do rio Barcarena sobre o rio Murcupi já que neste caso o rio Pará funciona como agente poluidor do rio Arienga.

Pela análise dos Estudos e Relatórios de Impactos Ambientais da Albrás-Alunorte da década de 80 foi possível observar que os níveis de cloreto no mês de abril no rio Pará, época chuvosa era de 2,2 mg/L indicando um aumento em torno de 59 vezes em relação aos dados médios atuais no rio Pará. Esta constatação aponta para uma saturação dos corpos hídricos locais e que no futuro não terão mais condições de dispersar os constantes lançamentos de substâncias nocivas ao ambiente.

Os resultados da estatística descritiva para os parâmetros avaliados estão mostrados nas tabelas 2 e 3.

A variação dos parâmetros estão mostrados nas figuras 3, 4 e 5.

O parâmetro temperatura apresentou valores praticamente constantes e encontram-se no intervalo de 27,15 ºC e 29,12ºC, não apresentando alterações em relação à média encontrada em outros trabalhos na área estudada.

O OD se manteve em conformidade com a resolução do CONAMA em todos os pontos avaliados variando de 5,87 a 8,56 mg/L.

A turbidez esteve acima da resolução (<100 UNT) em apenas um ponto no rio Guamá, sem os pontos relativos ao rio Guamá e Baia do Guajará, a variação da turbidez de 14,60 a 36,0 está 2 UNT acima do máximo encontrado por Pereira et al. (2007) que encontraram turbidez variando de 17 a 34 UNT no rio Murucupi.

Tabela 2 - Estatística descritiva dos parâmetros físico-químicos

Amostra	*T °C*	*OD mg/L*	*Turbidez UNT*
CONAMA 357/05 classe 2	-	>5	<100
Média	28,39	7,94	24,73
Mediana	28,61	8,24	20,70
DP	0,59	0,73	17,64
Mínimo	27,15	5,87	14,60
Máximo	29,12	8,56	121,10
Amostra	***pH***	***Salinidade mg/L***	***Condutividade µS/cm***
CONAMA 357/05 classe 2	6,0 a 9,0	-	-
Média	6,82	0,01	34,24
Mediana	6,85	0,01	38,00
Desvio Padrão	0,33	0,01	6,82
Mínimo	6,21	0,01	20,00
Máximo	7,34	0,02	41,00

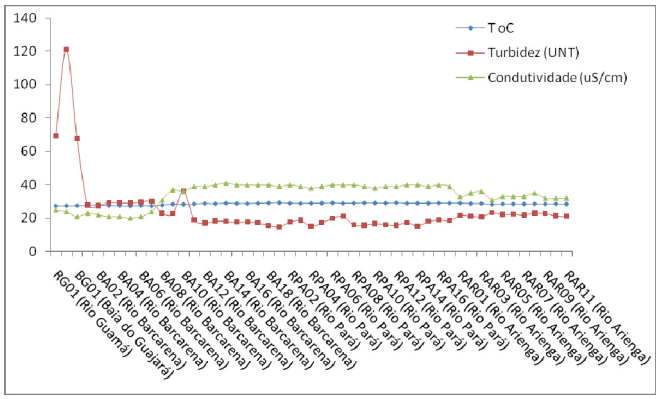

Figura 3 - Distribuição da Temperatura, turbidez e condutividade

Este leve 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 Murucupi um aspecto vermelho com baixa transparência. A dispersão deste material fica evidente pela redução da turbidez devido ao grande volume de água existente nos recursos hídricos da região principalmente no rio Pará que serve como agente depurador da área.

Quanto ao pH as águas mostraram-se ácidas tendendo a neutralidade (média de 6,82) com uma variação de 6,21 a 7,34 em conformidade com a resolução do CONAMA (pH de 6-9). Pereira et al. (2007) encontraram uma faixa de pH de 4,35 a 6,15, 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).

A salinidade e a condutividade não possuem restrição na legislação brasileira e estão dentro da faixa esperada para rios amazônicos.

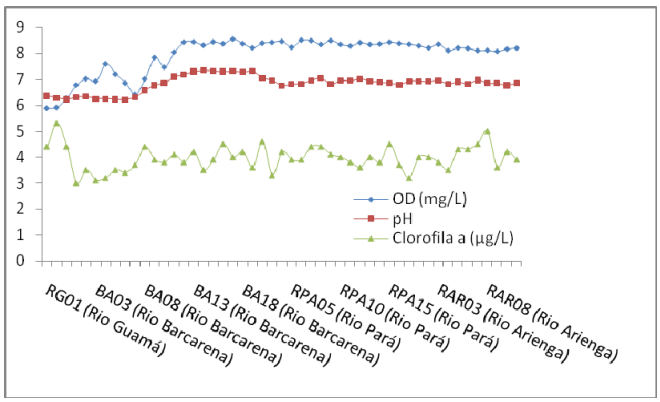

Figura 4 - Distribuição do oxigênio dissolvido, pH e clorofila a

Tabela 3 - Parâmetros químicos

Amostra	*Cl^- (mg/L)*	*NO_3^- (mg/L)*	*Clorofila a (µg/L)*
CONAMA 357/05 classe 2	<250	<10	<30
Média	129,76	0,040	3,96
Mediana	141,40	0,039	3,90
DP	48,70	0,005	0,47
Mínimo	27,84	0,024	3,00
Máximo	196,00	0,052	5,30
Amostra	**NH_3 (mg/L)**	**NH_4^* (mg/L)**	
CONAMA 357/05 classe 2	-	-	
Média	0,000	0,031	
Mediana	0,000	0,031	
Desvio Padrão	0,000	0,005	
Mínimo	0,000	0,023	
Máximo	0,001	0,048	

O parâmetro nitrato se manteve em conformidade com a resolução do CONAMA e apresentou valores no intervalo de 0,024 a 0,052 mg/L, não apresentando alterações em relação à média encontrada em outros trabalhos na área estudada.

O parâmetro clorofila a se manteve em conformidade com a resolução do CONAMA e apresentou valores no intervalo de 3,00 a 5,30 µg/L, não apresentando alterações em relação à média encontrada em outros trabalhos na área estudada.

A amônia e o íon amônio não possuem restrição na legislação brasileira e estão dentro da faixa esperada para rios amazônicos.

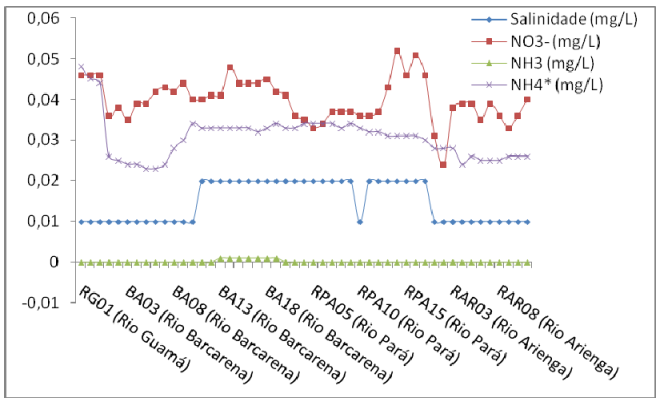

Figura 5 - Distribuição da salinidade, nitrato, amônia e amônio

A área provável, onde os efeitos da pluma de poluição devem ser considerados, está mostrada na figura 6.

Figura 6 - Área de distribuição da pluma de poluição
Fonte: Fonte: Souza, 2006

Segundo Souza os modelos gerados da distribuição de correntes usando os Estudos de Correntometria realizados pelo INPH (2001) e Medições Maregráficas, Correntométricas e Anemográficas realizadas pela Oceanotécnica (1991) estão previstos nas figuras 7 e 8.

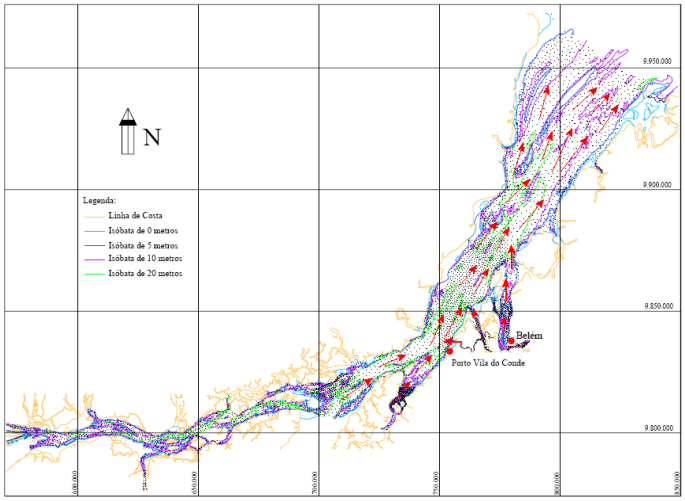

Figura 7. Previsão de direção de corrente na área de estudo - Baixamar
Fonte: Adaptado de Souza, 2006

As setas indicam as direções e os números os valores das velocidades das correntes, e referem-se à situação de sigízia média. Em Belém a amplitude da sigízia média é de 3,08 m e a máxima é de 3,78 m. A corrente representada exprime a média em uma camada de aproximadamente 5 m de espessura a partir da superfície, não considerando marés, fluxo do rio e ventos extremos. O estudo da maré e das correntes mostra que no mês de abril ocorrem às maiores correntes de vazante e as menores correntes de enchente. Uma vez que a área do modelo não contempla a área do Município de Salinópolis, a análise restringiu-se aos dados de Belém.

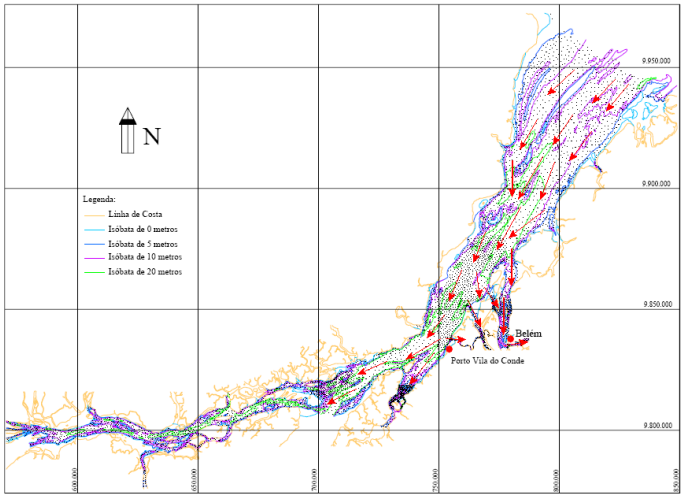

Figura 8. Previsão de direção de corrente na área de estudo - Preamar
Fonte: Adaptado de Souza, 2006

Pelos resultados do cloreto houve a comprovação que a pluma de poluição se distribuiu pelo rio Barcarena em direção a Belém e pelo rio Pará em direção ao furo do Arrozal, rio Pará em direção a foz do rio Arienga.

CONCLUSÕES

Através do uso do cloreto concluiu-se que a pluma de poluição se distribuiu nos rios Barcarena, Pará e Arienga seguindo em direção a foz do rio Tocantins e através do refluxo da maré no rio Barcarena também em direção ao rio Guamá e baia do Guajará. O Cloreto foi um bom indicador de distribuição da pluma de poluição estando em níveis elevados nos pontos de saída do rio Murucupi, local do despejo e próximo a indústria de Alumina e na foz do rio Dendê.

REFERÊNCIAS

[1]. ALFREDINI, P. Obras e gestão de portos e costas. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2005.

[2]. 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.

[3]. 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.

[4]. 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.

[5]. SOUZA, Rogério Riker de. Modelagem numérica da circulação de correntes de maré na Baía de Marajó e Rio Pará (PA). Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006, 180 pp.