ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbge

Potencialidade da produção de óxido de magnésio a partir do efluente salino proveniente da produção de sal marinho no município de Grossos/RN

¹Clara Livia Câmara e Silva; ²Alfredo Marcelo Grigio; ³Luis César de Aquino Lemos Filho; ⁴Hermínio Sabino de Oliveira Junior

¹Ms. Ciências Naturais, Coordenadora de Meio Ambiente e Saneamento ambiental – COMEAS, Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMARH/RN. Rua Dona Maria Câmara, 1886, Capim Macio, CEP 59082-430, Natal, Rio Grande do Norte (84) 99942-5216, claralivia_sga@hotmail.com (autor correspondente). ²Professor Titular, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Campus Universitário Central, Rua Professor Antônio Campos, s/n, BR 110, km 48, Bairro Costa e Silva - Mossoró/RN, CEP: 59600-000, (84)3315-2094, alfredogrigio1970@gmail.com. ³Professor Titular, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas, Av. Francisco Mota, 572, Bairro Costa e Silva - Mossoró/RN, CEP: 59625-900, (84)3317-8330, lcalfilho@ufersa.edu.br. ⁴Ms. em Manejo de solo e água, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Mossoró. (84) 99669-3464. herminiosabino@gmail.com

Artigo submetido em 26/01/2017 e aceite em 07/07/2017

RESUMO

Na indústria salineira, a água do mar é a sua matéria prima, um recurso inesgotável e renovável. O presente trabalho visa avaliar o potencial de aproveitamento do efluente residual salino, proveniente da produção de sal marinho no município de Grossos, estado do Rio Grande do Norte, utilizando dados das análises de água fornecidos pela empresa comercial de produção de sal marinho desta região. A área de estudo está localizada na região da Costa Branca, e o abastecimento do empreendimento é realizado através do estuário do rio Apodi-Mossoró. Foram analisados três parâmetros (salinidade, cálcio e magnésio) em duas estações de coleta, E1 na captação de água e E2 no ponto de descarte de água-mãe. Realizadas as análises estatísticas utilizando o software livre SAEG 9.1, foram aplicados os testes de Shapiro-Wilk, Lilliefors e Kolmogorof-Smirnoff, testes de média e Correlação de Pearson, associando valores dos parâmetros obtidos em maré alta e maré baixa e entre as duas estações de coleta. Foi possível apontar que a água-mãe descartada contém 18 vezes mais magnésio e é 5 vezes mais salina do que a água coletada na entrada para a produção de sal marinho, junto a isto foi identificada a quantidade de magnésio descartada durante o período de pesquisa, viabilizando a produção de óxido de magnésio a partir da água mãe, que além de minimizar impactos ambientais provocados pela indústria salineira, se tornaria uma fonte alternativa para produção da indústria salineira.

Palavras-chave: Salinas, monitoramento ambiental, impactos ambientais.

Potential of magnesium oxide production from saline effluent from marine salt production in the municipality of Grossos / RN

ABSTRACT

In the salt industry, sea water is its raw material, an inexhaustible and renewable resource. The present work aims to evaluate the potential of the use of saline residual effluent from the production of sea salt in the municipality of Grossos, state of Rio Grande do Norte, using data from the water analysis provided by the commercial salt production company of this region. The study site is located in the Costa Branca region, and the supply of the project is carried out through the Apodi-Mossoró River estuary. Three parameters (salinity, calcium and magnesium) were analyzed in two collection stations, E1 at the water catchment and E2 at the mother liquor disposal point. Statistical analyzes were performed using the SAEG 9.1 free software, the Shapiro-Wilk, Lilliefors and Kolmogorof-Smirnoff tests, mean tests and Pearson's correlation were applied, associating values of the parameters obtained in high tide and low tide and between the two seasons Collection. It was possible to point out that the discarded mother water contains 18 times more magnesium and is 5 times more saline than the water collected at the entrance to the production of sea salt, along with it was identified the amount of magnesium discarded during the research period, The production of magnesium oxide from mother water, which in addition to minimizing environmental impacts caused by the salt industry, would become an alternative source for the production of the salt industry.

Keywords: Salt production, environmental monitoring, environmental impacts.

Introdução

O mar é a maior reserva contínua de minérios para exploração, nele estão dissolvidas incontáveis toneladas de sólidos pelos oceanos da Terra. Estas águas são abastecidas continuamente pelos rios que transportam mais minerais, fazendo do mar uma reserva eterna para produção de sais minerais, dentre estes o cloreto de sódio.

A indústria de produção de cloreto de sódio a partir da água do mar, no Brasil, concentrou-se no Rio Grande do Norte em função de uma série de fatores específicos da região, como o clima de temperaturas elevadas, topografia baixa e regime de marés que possibilitam a penetração das águas oceânicas na planície litorânea, presença de ventos alísios de nordeste que contribuem para a alta taxa de evaporação, ausência de grandes rios que

depositem água doce no oceano com regularidade e baixo índice de precipitação pluviométrica na região. (Adas, 1981)

O processo produtivo do sal, que ocorre em etapas, está descrito no fluxograma apresentado na Figura 01. A partir da captação através de bombeamento, ocorre a concentração da água do mar. A concentração inicial é por volta de 3,5° Baumé a 20°C, com uma lâmina d'água de cerca de 1m. A salmoura passa para reservatórios denominados evaporadores, interligados entre si e que constituem o circuito da salina. A água passa de evaporador a evaporador, concentrando-se gradativamente, com auxílio da energia solar e dos ventos (Albuquerque, 2009).

Figura 01: Fluxograma da produção de sal.

Durante a evaporação, são depositados os sais menos solúveis, como o carbonato de cálcio e sulfato de cálcio. Este último tem sua precipitação iniciada quando a salmoura atinge a concentração de 11,7° Bé a 20°C (Câmara, 1999).

Quando atinge a concentração de 25° Baumé a 20°C, esta água é drenada para os cristalizadores, reservatórios onde o cloreto de sódio precipitará. Com cerca de 29° Bé de concentração, é o ponto em que a concentração de magnésio é excessiva, esta água residuária chamada água-mãe é descartada para os rios. Ela contém altos teores de íons como sódio, potássio, cloreto, sulfato e principalmente magnésio

(Albuquerque, 2009). Por fim, o sal é coletado em máquinas colhedoras, os tratores levam o sal colhido ao lavador e do lavador o sal é transportado em esteiras para as pilhas de sal. Assim finaliza o processo de produção e colheita do sal marinho. A partir dessas etapas começa o beneficiamento do sal, conforme for a finalidade de destino.

As águas-mães apresentam cerca de 82,80 gramas de cloreto de magnésio e 62,30 gramas de sulfato de magnésio por litro de solução (Azevedo apud Ferrari, 2002). O processo de descarte das águas-mães somente é permitido durante quatro horas por dia, em maré alta, segundo licença ambiental vigente na empresa.

Apesar do cloreto de sódio ser um produto de largo consumo e importante aplicação em diversos setores, as indústrias salineiras caracterizam-se por constantes crises. Esse estado de permanente desequilíbrio econômico tem levado à busca por alternativas de produção e outras medidas que tragam melhorias ao setor.

Dentre as alternativas de produção para as indústrias salineiras, destaca-se a produção de óxido de magnésio a partir das chamadas águas-mães, um efluente industrial rico em cloreto e sulfato de magnésio, obtido no processo de fabricação do sal, o qual é descartado nos rios da região sem nenhum aproveitamento.

A atividade salineira tem importante papel no estado do Rio Grande do Norte, principalmente na economia. O Estado possui uma ótima localização para a implantação de salinas, o que leva a uma produção de sal de 4,8 milhões de toneladas numa área de produção em torno de 40.000 ha, ficando assim responsável por mais de 95% da produção salineira brasileira. (Câmara, 1999).

Qualquer intervenção do homem por meio de práticas industriais traz danos ao meio ambiente, que comprometem os ecossistemas como também a qualidade de vida do homem. A prática de extração do sal marinho produzido nas salinas é um dos principais agravantes para a degradação ambiental onde estas salinas estão inseridas.

De acordo com Aragão (2007), um desastre ambiental ocorrido no Rio do Carmo, afluente do Rio Apodi-Mossoró, no ano de 1998, resultou numa enorme mortandade de peixes ocasionada pela descarga de águas-mães. Esse acidente apontou uma questão sobre a possível agressividade das águas-mães ao meio ambiente. Porém, segundo Medeiros (2001), um litro de água-mãe dilui-se em 544 litros de água do mar presente no rio Apodi Mossoró, o que certamente não acontece no Rio do Carmo, cuja vazão é menor, provocando a incapacidade deste rio diluir efetivamente a descarga de água-mãe.

Albinatti et al (2003) apontam que os sais acumulados presentes nos resíduos salinos podem levar à eutrofização e ao aparecimento da pressão osmótica, ocasionando a morte dos organismos não adaptados ao ambiente mais salino.

Petta et al (2004) calculou uma diminuição de 28 ha na área de manguezal no município de Grossos, região salineira do Rio Grande do Norte, no período de 1986 a 1996, ocasionado principalmente pelo descarte de águas-mães.

Para Fernandes (2012), o ecossistema manguezal desempenha uma gama de papéis e

funções de extrema importância para comunidades biológicas que o formam e populações humanas que dependem dele. Dentre estas funções pode-se citar: área de abrigo, reprodução, desenvolvimento e alimentação para diversas espécies locais, proteção da zona costeira contra enchentes e erosão, fonte de matéria orgânica para áreas costeiras adjacentes, manutenção da biodiversidade costeira, absorção e neutralização de produtos químicos prejudiciais aos organismos, fonte de alimento e renda para as comunidades próximas, área de lazer e recreação de alto valor paisagístico e a formação da base da cadeia trófica dos ecossistemas costeiros.

Por todos esses motivos é possível afirmar que a atividade salineira e seus efluentes devem ser tratados com seriedade, não somente pelos possíveis danos ambientais, mas também pela responsabilidade social e econômica que a indústria possui. A reutilização do efluente residual salino pode constituir uma importante alternativa de produção, transformando a cadeia produtiva do sal marinho.

O presente trabalho visa avaliar o potencial de aproveitamento do efluente residual salino, proveniente da produção de sal marinho no município de Grossos, estado do Rio Grande do Norte, através dos dados de análise de água nos trechos de coleta e descarte de água mãe, derivados da metodologia de monitoramento adotada pela empresa responsável pela área e que foram fornecidos mesma.

Material e métodos

Área de Estudo

A área de estudo tem aproximadamente 997 ha e está localizado na zona rural do município de Grossos, na região da Costa Branca do estado do Rio Grande do Norte, com a população estimada em cerca de 10.000 habitantes no ano de 2015, onde as principais atividades econômicas provêm da pesca e da atividade salineira, esta última dominante na região. (IBGE, 2010)

O abastecimento do empreendimento, apresentado na figura 02, é realizado através do estuário do rio Apodi-Mossoró, e o sistema produtivo se classifica como tradicional, onde a água salgada é gradativamente evaporada e a salinidade é incrementada até o ponto de supersaturação do cloreto de sódio (NaCl) quando este se precipita e é colhido mecanicamente.

Figura 02: Área em estudo, Salina Maranhão, em destaque sua área de estocagem após a lavagem do sal marinho. Fonte: Acervo da empresa.

Foram estabelecidas duas estações de coleta, conforme as atividades da empresa e as recomendações do Termo de Referência do órgão ambiental estadual, o Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte, IDEMA, para o programa de monitoramento ambiental para projetos de extração de Sal Marinho:

- E1 – Abastecimento da Unidade de Produção;
- E2 – Ponto de lançamento do efluente proveniente do descarte dos cristalizadores e da lavagem do sal.

A estação 1 (E1), representada na Figura 03, está localizada próxima a casa de bomba do empreendimento e as coletas das amostras de água foram feitas por técnicos da empresa diretamente no estuário que abastece a salina. Esse procedimento era feito duas vezes ao longo do dia (maré alta e maré baixa), conforme procedimento diário realizado na indústria. A Figura 04 representa o mapa de localização da área em estudo e destaca as duas estações de coleta. A estação 2 (E2) localiza-se no fim do dique de drenagem e desagua diretamente no leito do rio Apodi-Mossoró.

Figura 03: Estação 01 – Bombagem.

Figura 04: Mapa de localização da área em estudo, em destaque as estações de coleta E1 e E2.

Análise Estatística

No período do mês de março do ano de 2014 a dezembro de 2015 foram analisados três parâmetros (cálcio, magnésio, salinidade) em duas estações de coleta.

As amostras utilizadas para análise foram coletadas a 30 cm de profundidade da maré baixa e da maré alta de cada período. A descrição sucinta dos métodos utilizados para análise dos parâmetros monitorados está descrita no Quadro 1. Os resultados obtidos foram analisados com base em sua média, desvio padrão e coeficiente de variação.

Todas as análises foram feitas pelos profissionais do laboratório da empresa responsável pela área de estudo, sendo entregues para a presente pesquisa os dados brutos obtidos em cada análise e por fim aplicada a análise estatística ideal para este projeto.

No presente trabalho, para processar as análises estatísticas utilizou-se o software livre Sistemas para Análises Estatísticas SAEG versão 9.1, desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa.

Quadro 01: Descrição sucinta dos métodos utilizados no laboratório para análise dos parâmetros monitorados.

Parâmetro	Método
Salinidade	Determinada com o auxílio de refratômetro portátil;
Cálcio	Titulação com EDTA e indicador calcon;
Magnésio	Titulação com EDTA e indicador Ericromo T;

Em posse dessa ferramenta, foram organizados 29 blocos de amostras agrupadas com uma amostra de descarte de efluente salino (estação de coleta E2) e as entradas que antecederam a este, com dados dos parâmetros cálcio, magnésio e salinidade.

A primeira etapa na análise estatística foi a Análise Exploratória dos dados, cuja finalidade foi examinar os dados previamente à aplicação de qualquer técnica estatística. Desta forma, o analista consegue um entendimento básico de seus dados e das relações existentes entre as variáveis analisadas.

Na estatística descritiva foram encontrados valores para média, mediana, valores mínimo e máximo, variância, desvio e erro padrão, coeficiente de variação, assimetria e curtose e os gráficos de normalidade, utilizando os testes de Shapiro-Wilk, Lilliefors e Kolmogorof-Smirnoff.

Para o coeficiente de variação (CV), utiliza-se a referência classificada por Warrick (1998), como baixo, se menor do que 15%; médio quando entre 15 e 50% e alto quando maior do que 50%.

O teste Shapiro-Wilk, calcula uma variável estatística (W) que investiga se uma amostra

aleatória provém de uma distribuição normal. No presente estudo, foi aplicado o teste ao nível de 5% de significância.

O teste de Lilliefors é uma adaptação do teste de Kolmogorof-Smirnoff, usado para verificação de normalidade de um conjunto de dados. A diferença básica entre os testes é que o de Kolmogorof-Smirnoff testa a normalidade a partir de média e desvio fornecidos, enquanto o de Lilliefors usa a média e o desvio-padrão, calculados no próprio conjunto de dados.

De acordo com Costa Neto (1997), o teste de Komolgorov-Smirnov (KS) consiste no cálculo das diferenças entre as probabilidades da variável normal reduzida e as probabilidades acumuladas dos dados experimentais. Se o valor calculado em módulo for menor que o tabelado, a distribuição experimental é aceita como aderente à distribuição normal.

A distribuição Normal é uma das mais importantes distribuições de probabilidades da estatística, conhecida também como Distribuição de Gauss ou Gaussiana. É representada por um gráfico simétrico, em forma de sino e que pode ser descrito pela função densidade de probabilidade. Quando a distribuição dos dados é Normal, a média

se encontra no centro da distribuição e esta possui o mesmo valor da mediana e da moda, devido à simetria da curva. (Triola, 2008)

Os testes Kolmogorov-Smirnov (KS) e Shapiro-Wilk (SW) fornecem o parâmetro valor de prova (valor-p, p-value ou significância), interpretado como a medida do grau de concordância entre os dados e a hipótese nula (H_0), sendo H_0 correspondente à distribuição Normal. Quanto menor for o valor-p, menor é a consistência entre os dados e a hipótese nula. Então, a regra de decisão adotada para saber se a distribuição é Normal ou não é rejeitar H_0 : (i) se $\text{valor-p} \leq \alpha$, rejeita-se H_0 , ou seja, não se pode admitir que o conjunto de dados em questão tenha distribuição Normal; (ii) se $\text{valor-p} > \alpha$, não se rejeita H_0 , ou seja, a distribuição Normal é uma distribuição possível para o conjunto de dados em questão. (LOPES et al, 2013)

Na segunda etapa de análise estatística, foram aplicadas as correlações de Pearson para os valores dos parâmetros cálcio, magnésio e salinidade nas duas estações.

Segundo Figueiredo Filho e Silva Junior (2009), o coeficiente de correlação de Pearson é uma medida do grau de relação linear entre duas variáveis quantitativas. Este coeficiente varia entre os valores mínimo e máximo de -1 e 1. O valor 0

(zero) significa que não há relação linear, o valor 1 indica uma relação linear perfeita e o valor -1 também indica uma relação linear perfeita, porém inversa, ou seja quando uma das variáveis aumenta a outra diminui. Quanto mais próximo estiver de 1 ou -1, mais forte é a associação linear entre as duas variáveis.

Para a confirmação das hipóteses, foi aplicado também os testes de médias, utilizando ainda o mesmo software empregado nas análises anteriores (SAEG 9.1). Este procedimento aplica o teste de Tukey, Duncan, Newman Keuls e Scott-Knott a médias de variáveis dependentes, calculadas para cada um dos níveis de uma variável independente. Para executar este procedimento, é necessário fornecer ao SAEG a relação de variáveis dependentes, o nome da variável classificatória (tratamentos) o número de graus de liberdade do resíduo, o nível de significância e, naturalmente, especificar o teste a ser aplicado.

Resultados e discussão

Foram analisados três parâmetros: salinidade, cálcio e magnésio, para as duas estações de coleta no período de 22 meses.

A tabela 01 apresenta os valores da estatística descritiva obtida para esses parâmetros.

Tabela 01: Estatística exploratória para os dados na estação de coleta E1 no período monitorado.

*Valores obtidos relacionados ao parâmetro na maré alta; ** Valores obtidos relacionados ao parâmetro na maré baixa

Estatística	Alta*	Baixa**	Alta	Baixa	Alta	Baixa
	Ca ²		Mg ²		Salinidade (dS/m)	
N	89	89	89	89	89	89
Média	0.3857	0.3982	1.7565	1.809	4.2719	4.3393
Mediana	0.3600	0.4000	1.6840	1.695	4.0000	4.0000
Mínimo	0.2800	0.2800	0.9720	0.650	3.3000	3.2000
Máximo	0.6400	0.8000	3.7930	3.793	6.0000	6.0000
Variância	0.0055	0.0088	0.2418	0.335	0.2995	0.3967
Desvio	0.0743	0.0940	0.4917	0.579	0.5473	0.6299
Erro padrão	0.0079	0.0100	0.0521	0.061	0.0580	0.0668
CV (%)	19.2735	23.6022	27.9933	32.0242	12.8117	14.5153
Assimetria	0.8225	1.6414	1.6825	1.413	1.3769	1.2766
Curtose	1.4804	4.2257	3.9628	2.526	1.5428	1.0124

No teste de Shapiro-Wilk, considera-se o valor de decisão para W (valor encontrado) maior

que o nível de significância, os dados apresentam distribuição normal. No teste de Kolmogorov-

Smirnov, quando KS for maior que o nível de significância, os dados apresentam distribuição normal. Dentro dessas referências, a distribuição não foi considerada normal em nenhum dos parâmetros nas duas Estações de Coleta. Isso implica dizer que não existe um padrão nas concentrações dos parâmetros analisados, variando indefinidamente nas ocasiões de maré alta e maré baixa.

Através das variações altas obtidas na estatística descritiva (de 0,54 estação de coleta E1 para 219,08 na estação de coleta E2 para o magnésio e de 0,33 na estação de coleta E1 para 47,34 na estação de coleta E2 para a salinidade), pode-se afirmar que magnésio e salinidade são parâmetros importantes para a produção salineira e que influenciam na qualidade do sal obtido.

Observando as médias obtidas nessa etapa da análise estatística, é possível apontar uma variação 18 vezes superior para a concentração de magnésio e 5 vezes superior para a salinidade entre as estações de coleta E1 e E2, evidenciando que o efluente salino descartado contém 18 vezes mais magnésio e é 5 vezes mais salino do que a água coletada na entrada para a produção de sal marinho.

Costa et al (2006) observou uma variação periódica em todos os aspectos analisados no estuário do Rio Apodi Mossoró, tendo como maior destaque a variável salinidade, apresentando uma variação diária entre 0 e 3,6 °Bé (fevereiro a maio) e 3,3 a 7 °Bé (junho a setembro). Comparando os valores da salinidade com outras variáveis, verificou ainda que a redução deste fator implicou na elevação das concentrações dos nutrientes, caracterizando-se uma relação inversamente proporcional, onde a salinidade atua como um regulador natural das concentrações destes.

Foi possível identificar uma variação média do parâmetro cálcio, relacionado a isto está o fator da coleta atravessar o período seco do ano na região, onde os índices de precipitação pluviométrica tendem a cair. No mesmo período ocorre também o período de colheita do sal na área de estudo, onde o sal colhido é lavado antes de passar pelo processo de beneficiamento, o que vem a contribuir com o aumento da quantidade de efluente salino lançado ao corpo hídrico, pois essas águas resultantes da lavagem do sal, consideradas salmouras, também são descartadas.

O conhecimento do carago como subproduto da indústria salineira e da sua composição química pode ser relevante mediante

os resultados obtidos no presente estudo, podendo explicar o comportamento do cálcio nas análises obtidas.

As principais fontes de cálcio são calcita, dolomita, apatita, entre outros. O carbonato de cálcio é muito pouco solúvel em água pura e assim, o cálcio ocorre nas águas na forma de bicarbonato e sua solubilidade está relacionada a quantidade do CO₂ (Martins Netto et al 2006).

No presente trabalho, os parâmetros cálcio e magnésio não estão associados à dureza da água, pois para a atividade salineira os mesmos são observados de maneira separada devido ao seu comportamento durante a produção do sal marinho por evaporação.

Na legislação não há um valor de referência para o parâmetro magnésio, porém a alta concentração do magnésio pode ser prejudicial ao corpo hídrico, já que junto com o cálcio, sulfatos e cloretos podem aumentar a salinidade da água, assim modificando seu enquadramento, como também prejudicando a vida aquática e espécies vegetais locais.

Em relatório técnico, UFRJ (2011) publicou valores de concentração entre 1,1 a 2,6 mg/L de magnésio e 3,0 a 4,8 mg/L de cálcio encontrados no monitoramento dos Rio Ribeirão das Lajes e Rio Guandu no Rio de Janeiro. Considerando esta análise, os valores de cálcio e magnésio para a presente pesquisa encontram-se respectivamente abaixo e dentro da estimativa.

Segundo Costa et al (2006), pode-se observar que existe uma dinâmica interna de nutrientes e demais fatores físico-químicos no estuário do rio Apodi Mossoró/RN, relacionados entre si e principalmente com as concentrações de cloreto de sódio dissolvidos no meio. O ambiente estudado se trata de um estuário negativo, onde a água do oceano entra com uma força maior em relação à do rio, fazendo com que esta se concentre no interior do estuário. Somando-se com a intensa evaporação, ventos constantes e altas temperaturas durante a maior parte do ano, esse ambiente se torna hipersalino, atribuindo-lhe esta caracterização talvez única em todo o país.

Aplicando-se a Correlação de Pearson ao nível de significância de 5% para os parâmetros cálcio, magnésio e salinidade nas duas estações de coleta (entrada de água-mãe e saída de efluente salino para descarte), associando para cada descarte as entradas que antecederam a este, obteve-se os seguintes valores, apresentados na Tabela 02.

Tabela 02: Estatística exploratória para os dados de cálcio, magnésio e salinidade da água do rio (na entrada) e na saída das salinas nos drenos (descarte), para as estações de coleta E1 e E2 nas respectivas datas ao longo do tempo de estudo.

Estatística	E1	E2	E1	E2	E1	E2
	Ca ²		Mg ²		Salinidade (dS/m)	
Nº	29	29	29	29	29	29
Média	0.41655	0.07166	1.895	35.1401	4.54828	24.4897
Mediana	0.4	0.07	1.617	38.9	4.5	28.5
Mínimo	0.3	0.036	0.851	12.507	3.35	12
Máximo	0.72	0.32	3.66	56.5	5.5	32
Variância	0.00849	0.00297	0.54305	219.088	0.33598	47.3495
Desvio	0.09213	0.05448	0.73692	14.8016	0.57964	6.8811
Erro padrão	0.01711	0.01012	0.13684	2.74859	0.10764	1.27779
CV (%)	22.12	76.03	38.89	42.12	12.74	28.10
Assimetria	1.25131	3.70208	0.9985	-0.4148	-0.1219	-0.7399
Curtose	3.0184	16.1334	0.09721	-1.3961	-0.7571	-1.2987

Destacando as correlações mais relevantes, de acordo com a interpretação adotada, magnésio na estação de coleta E1 apresentou correlação moderada negativa com o magnésio na estação de coleta E2 (-0,7994), magnésio na estação de coleta E1 apresentou correlação forte negativa com a salinidade na estação de coleta E2 (-0,844) e salinidade na estação de coleta E1 apresentou correlação forte positiva com a salinidade na estação de coleta E2 (0,94958). Em outras palavras, isto significa que estes parâmetros estão correlacionados forte ou moderadamente de maneira direta ou inversa, isto é, quando o valor de um parâmetro aumenta, o outro parâmetro tende a diminuir.

Nesta situação, quando a concentração de magnésio na estação de coleta E1 aumenta, esta influencia de maneira moderadamente inversa na estação de coleta E2, diminuindo a concentração de magnésio nesta última. O mesmo acontece com as concentrações de magnésio na estação de coleta E1 e salinidade na estação de coleta E2, dessa vez correlacionados fortemente. Para o parâmetro salinidade nas estações de coleta E1 e E2, correlacionados de maneira fortemente direta, quando uma concentração aumenta, a outra tende também a aumentar.

É importante destacar a maior correlação obtida no presente trabalho, classificada como forte positiva entre o magnésio que é descartado e a salinidade do efluente, no valor de 0,94958. A partir dessa informação é possível afirmar que os parâmetros estão diretamente relacionados e que, o

teor de magnésio influencia diretamente na salinidade do efluente, o que deve ser considerado quando apontado como um impacto desses efluentes nos corpos hídricos.

Mediante os resultados apresentados, é notória a grande quantidade de magnésio lançada diretamente no Rio Apodi Mossoró, que embora não haja estudos que comprovem especificamente qual o tipo de impacto ambiental provocado por essas ações, o presente trabalho aponta sua relação direta com o aumento da salinidade.

Aplicando-se a regressão linear para os parâmetros magnésio e salinidade na estação de coleta E2, o gráfico de dispersão (Figura 04) apresenta R² com valor alto (0,9017), confirmando a correlação entre esses parâmetros.

Na estação de coleta E2, os testes de média (Tabela 03) apontaram diferenciação quando comparados com os parâmetros obtidos na estação de coleta E1. Os parâmetros cálcio e salinidade apresentaram coeficiente de variação classificado como médio e o magnésio coeficiente de variação alto. Diante disto, pode-se afirmar que existe diferença estatística na comparação das médias dos valores obtidos para os parâmetros cálcio, magnésio e salinidade durante o período de março de 2014 a dezembro de 2015, entre as estações de coleta E1 e E2.

O valor alto para o coeficiente de variação do magnésio reforça a necessidade de maiores cuidados com esse parâmetro, especialmente pelo motivo de ser lançado em grandes concentrações

presentes no efluente salino que é descartado no estuário do Rio Apodi Mossoró.

Figura 04: Gráfico da regressão linear dos parâmetros Magnésio e salinidade na estação de coleta E2, no período de março de 2014 a dezembro de 2015 na área de estudo.

Tabela 03: Matriz de correlação de Pearson para as variáveis estudadas.

*Valores obtidos relacionados ao parâmetro na maré alta; ** Valores obtidos relacionados ao parâmetro na maré baixa.

	Ca (A*)	Ca (B)	Mg (A)	Mg (B)	S (A)	S (B)
Ca (A)	1					
Ca (B)	0.5206	1				
Mg (A)	0.0251	-0.0511	1			
Mg (B)	-0.0245	-0.1641	0.8538	1		
S (A)	0.2797	0.4947	0.1275	0.1112	1	
S (B)	0.3477	0.4128	0.1357	0.1209	0.7492	1

De acordo com Ferrari (2002), 8 milhões de metros cúbicos de águas-mães são descartados por ano no Rio Grande do Norte. Aragão (2007) concluiu que considerando uma média de 40g/L de magnésio nas águas-mães, pode-se estimar que são descartados no rio aproximadamente 320.000 toneladas de magnésio, a partir do qual seria possível a produção de 530.526 toneladas de óxido de magnésio. Adotando essa mesma metodologia de produção de magnésio, considerando uma média de 35,14g/L de magnésio, valor obtido no

presente trabalho, estima-se que estejam sendo desperdiçadas no estuário do rio Apodi – Mossoró cerca de 281.120 toneladas por ano de magnésio na área em estudo, o que possibilitaria produzir cerca de 466.067 toneladas de óxido de magnésio anualmente.

É possível identificar a influência direta do magnésio na salinidade do ambiente estudado, podendo-se afirmar que além do impacto ambiental que será prevenido pela retirada do magnésio contido no efluente salino que é descartado, a

empresa pode ter uma rentável fonte de receita além da produção de sal marinho, que é a produção e industrialização do óxido de magnésio.

Conclusões

Após análise e discussão dos resultados obtidos, foi possível avaliar o potencial de aproveitamento das águas-mães para produção de magnésio. Através do processo de monitoramento em duas estações de coleta das águas utilizadas na produção de sal marinho no município de Grossos, no estado do Rio Grande do Norte, obteve-se dados estatísticos que comprovaram a diferença entre a quantidade de magnésio retirada do rio na captação de água e a quantidade que é descartada no efluente salino.

A quantidade de magnésio descartada estimada na área em estudo viabiliza investimentos nesse ramo industrial para a referida área, podendo vir a melhorar a situação da indústria salineira, apontando outras alternativas de produção.

O Rio Grande do Norte apresenta um conjunto de diferenciais que trazem vantagens para a instalação desse tipo de indústria: a matéria-prima é disponibilizada pela indústria salineira, uma vez que grandes quantidades de magnésio são descartadas na região do estuário, o que traz também benefícios ambientais. A região já possui infraestrutura para transporte e indústrias bem estabelecidas e também dispõe de mão de obra especializada, o que viabiliza em todos os pontos a reutilização desse tipo de efluente dentro das condições locais.

Referências

- Adas, M., 1981. Panorama geográfico do Brasil: aspectos físicos, humanos e econômicos. 1ed. Moderna. São Paulo.
- Albuquerque, F. S. X. 2009. As Águas-mães: um efluente industrial detentor de um potencial econômico para a indústria salineira do Rio Grande do Norte na Produção de Óxido de Magnésio. 2007. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento). Mossoró Universidade Estadual do Rio Grande do Norte.
- Aragão, M. F. 2012. Otimização no tempo e temperatura no processamento da gipsita
- Figueiredo Filho, D. B.; Silva Júnior, J. A. 2009. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). Revista Política Hoje, v. 18, p. 115-146,
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. Perfil das cidades, Disponível em <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=240440&search=||info-graficos:-informacoes-completas>> Acesso em 22 de Janeiro de 2016.
- IDEMA. Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. 2014. Perfil do seu município, 2014. Disponível em <<http://www.idema.rn.gov.br/Conteudo.asp>

oriunda dos cristalizadores da produção de sal para obter gesso de uso na construção civil. 2012. 115f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – , Natal, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Câmara, C. A. L. 1999. Produção de sal por evaporação solar. 1ed. Antenna Edições técnicas, Natal.

Costa Neto, P.L.O. 1997. Estatística. 15 ed. Edgard Blucher. São Paulo.

Costa, D.F.S; Rocha, R.M; Lucena Filho, M.A de; Silva, A.F. 2006. Análise da variação da salinidade no estuário do Rio Apodi-Mossoró/RN e sua relação com alguns aspectos limnológicos. Anais da 58ª Reunião Anual da SBPC - Florianópolis, SC - Julho/2006. Disponível em:http://www.sbpnet.org.br/livro/58ra/SENIOR/RESUMOS/resumo_1779.html Acesso em 14 de agosto de 2016.

Fernandes, R. T. V. 2012. Recuperação de Manguezais. 1 ed. Interciência, Rio de Janeiro.

Ferrari, M.B.F.T. 2002. Aproveitamento de águas-mães para recuperação do cloreto de magnésio usado na produção do magnésio metálico. Dissertação (Mestrado em Química). Natal, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Figueiredo Filho, D. B.; Silva Júnior, J. A. 2009. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). Revista Política Hoje, v. 18, p. 115-146,

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. Perfil das cidades, Disponível em <[http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=240440&search=||informa](http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=240440&search=||informa%7C%C3%A7%C3%B5es-completas) gráficos:-informações-completas> Acesso em 22 de Janeiro de 2016.

IDEMA. Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. 2014. Perfil do seu município, 2014. Disponível em <<http://www.idema.rn.gov.br/Conteudo.asp>

?TRAN=CATALG&TARG=61&ACT=&PAGE=0&PARM=&LBL=Socioecon%F4mico> Acesso em 21 de janeiro de 2016.

- Lopes, M.M.; Castelo Branco, V.T.F.; Soares, J.B. 2013. Utilização dos testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk para verificação da normalidade para materiais de pavimentação. *Revista Transportes* v. 21, n. 1 p. 59–66.
- Martins Netto, J.P.G; Diniz, H.N; Andrade, T.S de; Silva, C.B da. 2006. Problemas associado à cloração de água de poço para atendimento da portaria 518, e soluções aplicada. São Paulo. Anais de XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas.
- Petta, R.A.; Nascimento, S.V. do; Duarte, C. R. 2004. Análise do estudo multitemporal do uso e ocupação do município de Grossos/RN através de técnicas de geoprocessamento. In: Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. Aracaju.
- SAEG. 2007. Sistema para Análises Estatísticas, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV – Viçosa.
- Triola, M. F. (2008) Introdução à Estatística. 10ª Ed, Rio de Janeiro: Editora LTC.
- UFRJ. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2011. Relatório Técnico. Programa de monitoramento limnológico e qualidade da água da PCH Paracambi – RJ. Monitoramento Rio Ribeirão das Lajes — Rio Guandu.