

## **CAPACIDADE DE DILUIÇÃO DE EFLUENTES DA INDÚSTRIA SALINEIRA EM ESTUÁRIOS DE REGIÕES SEMIÁRIDAS**

DOI: 10.19177/rgsa.v9e32020217-234

**Rogério Taygra de Vasconcelos Fernandes<sup>1</sup>**  
**Gabriela Nogueira Cunha<sup>2</sup>, Aruza Rayana Morais Pinto<sup>3</sup>**  
**Carlos Jorge Bezerra França<sup>4</sup>**  
**Jessika Mayara Claudino Idalino da Silva<sup>5</sup>,**  
**Louize Nascimento<sup>6</sup>, Nildo da Silva Dias<sup>7</sup>**  
**Jônata Fernandes de Oliveira<sup>8</sup>**

### **RESUMO**

As salinas lançam efluentes nos estuários, o que afeta negativamente a qualidade da água e a vida aquática. Neste contexto, qual a capacidade de diluição desses efluentes em estuários? Para isto, utilizou-se um estuário do semiárido brasileiro como modelo de estudo. Foram identificados 20 pontos de lançamento de efluentes. A salinidade foi mais de 8 vezes superior à da água do mar. Com base na análise de densidade de pontos de lançamento de efluentes, foi possível dividir o estuário em setores. A Zona E apresentou a maior densidade, onde descartam seus efluentes em região de influência comum, o que pode acarretar em efeitos combinados. Além de apresentar elevada sinuosidade, o que resulta em perdas de cargas e menor vazão, provocando redução na taxa de renovação da água. Para garantir a salinidade máxima aceitável, a vazão de lançamento de efluentes não poderá ser superior a 320 l/s.

**Palavras-chave:** Efluente. Região Semiárida. Salinas.

<sup>1</sup> Eng. de Pesca e Civil, Doutor em Ciência Animal (UFERSA). Docente da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA. E-mail: rogerio.taygra@ufersa.edu.br

<sup>2</sup> Ciência e Tecnologia pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Atualmente é acadêmica de Engenharia Civil da Universidade Federal Rural do Semi-Árido. E-mail: gabriela.nc@hotmail.com

<sup>3</sup> Agrônoma na Empresa Equilíbrio Gerenciamento Ambiental, RN. E-mail: aruza\_rayana@hotmail.com

<sup>4</sup> Graduação em Administração em Gestão de Sistemas de Informação pela Faculdade Católica Santa Teresinha (2009). E-mail: carlosjorge\_b@hotmail.com

<sup>5</sup> Possui graduação em Ciência e Tecnologia pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (2013). UFERSA. E-mail: jessikaidalino@hotmail.com

<sup>6</sup> Bacharela em Gestão Ambiental pela Universidade do Estado do Rio Grande do Norte - UERN (2017). Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água - PPGMSA da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA. E-mail: louizencmt@gmail.com

<sup>7</sup> Graduação em Agronomia pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (1999), mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande (2001), doutorado em Agronomia pela Universidade de São Paulo - USP/ESALq (2004) e Pós doutorado pela Universidade da Califórnia Riverside (UCR) - US Salinity

Laboratory (2014). Atualmente é professor Associado IV da Universidade Federal Rural do Semi-Árido e Bolsista de Produtividade em Pesquisa - Nível 1 A. E-mail: nildo@ufersa.edu.br

<sup>8</sup> Bacharel em Ciências Biológicas, Mestre em Ciências Naturais (Linha de Pesquisa: Diagnóstico e Conservação Ambiental) pela Universidade do Estado do Rio Grande do Norte - UERN. Doutor em Ciência Animal (Linha de Pesquisa: Produção e Conservação Animal no Semiárido) pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFRSA. Pós-Doutorado em Ciências Ambientais pela UERN. Atualmente é Professor Efetivo e Líder do Grupo de Estudos em Meio Ambiente (GEMA) do Instituto Federal do Maranhão. E-mail: jonnata.oliveira@ifma.edu

## MODEL OF EFFLUENT DILUTION CAPACITY OF SALINE INDUSTRY IN ESTUARIES OF SEMI-ARID REGIONS

### ABSTRACT

Salinas discharge effluents in the estuaries, which negatively affects water quality and aquatic life. In this context, what is the dilution capacity of these effluents in estuaries? For this, a Brazilian semi-arid estuary was used as the study model. A total of 20 effluent discharge points was identified. The salinity was more than 8 times that of seawater. Based on the analysis of density of effluent discharge points, it was possible to divide the estuary into sectors. Zone E presented the highest density, where they discard their effluents in a region of common influence, which can lead to combined effects. In addition to presenting high sinuosity, which results in losses of loads and lower flow, causing a reduction in the rate of water renewal. To ensure maximum acceptable salinity, the effluent discharge rate shall not exceed 320 l/s.

**Keywords:** Effluent. Semi-Arid Region. Saline. 

## 1 INTRODUÇÃO

A extração de sal é uma das atividades de mineração mais antigas e importantes da humanidade, sendo desenvolvida desde a pré-história até os dias atuais (KURLANSKY, 2010). A utilização do sistema de salinas pelo homem é uma atividade que já existe a milênios (SILVA; SILVA-COSTA, 2015). No Brasil, por exemplo, a produção de sal marinho é uma das atividades mais antigas e tradicionais, sendo desenvolvida no litoral do semiárido potiguar desde o período da colonização portuguesa. Atualmente, o Rio Grande do Norte se destaca entre os maiores produtores de sal marinho no Brasil (DINIZ; VASCONCELOS, 2013).

O método mais tradicional para produção de sal consiste na evaporação solar, onde a água marinha é represada em diques de argila, formando lagoas salinas (MEDEIROS et al., 2012). Estas são expostas à ação do sol e do vento até que, gradualmente, por ação da gravidade ou por meio do uso de motobombas, a água

com salinidade inicial média de 35g/l circula entre os tanques evaporadores, concentradores e cristalizadores até atingir o ponto de supersaturação do cloreto de sódio, entre 260 e 280 g/l (KURLANSKY, 2010; MEDEIROS et al., 2012). Estas exigências fazem com que poucos locais do mundo tenham condições para produzir sal por evaporação em escala industrial, resultando no agrupamento de áreas produtivas em pequenas regiões geográficas.

A vocação da região semiárida para salinicultura é o resultado da combinação singular de múltiplas condicionantes naturais, como as altas temperaturas, ventos secos, intensa evaporação, prolongada estação de estiagem e extensas áreas planas e pouco permeáveis. Esses fatores foram determinantes para que a produção de sal na região fosse tecnicamente possível e economicamente viável (DINIZ; VASONCELOS, 2017). O estado é responsável por mais de 95% da produção nacional, configurando parte significativa da sua economia, com produção anual de 5 a 6 milhões de toneladas de sal e 70 mil empregos (SIESAL, 2016). Em 2014, por exemplo, foram produzidos 7,5 milhões de toneladas de sal marinho na região (SILVA REBOUÇAS et al., 2018).

O sal é considerado uma das matérias-primas fundamentais para a indústria química nacional, que é responsável pelo consumo de 60% da produção total deste mineral. Para além disso, cerca de 30% do sal é usado na alimentação (direta e indiretamente) e o restante é aplicado em atividades e setores como o tratamento de águas, e na produção agropecuária (DINIZ et al., 2015). Dentro da indústria, a aplicação do sal é altamente diversificada, e vai desde a produção de artigos menos processados, como conservas, panificação, laticínios, couros e peles até a indústria química mais elaborada, como a produção têxtil, de plásticos, indústria metalúrgica e medicamentos.

Embora a alta produtividade salineira contribua para o desenvolvimento socioeconômico da região produtora, também resulta em impactos ambientais negativos, como os manguezais de área basal e número de indivíduos (caules)/ha muito inferiores aos manguezais de áreas não produtoras (LIINGILIEE et al., 2015). Além de reconhecer as *benesses* propiciadas pela atividade salineira, é importante destacar também os potenciais prejuízos ambientais resultantes do processo de produção de sal (BEZERRA; BRITO, 2001). Por usar a água do mar como matéria prima, e depender de condições naturais específicas, as áreas de produção de sal foram construídas, historicamente, às margens de estuários e deltas, ambientes

considerados vitais para reprodução e abrigo de muitas espécies aquáticas. Adicionalmente, o processo de produção do sal marinho gera como subproduto um efluente altamente salino conhecido popularmente como “água-mãe” ou “água-amarga”, que comumente é lançado diretamente no estuário (BEZERRA et al., 2012).

O efluente da indústria salineira, se descartado de maneira inadequada, pode causar a poluição do ecossistema estuarino/marinho, com alteração na qualidade da água e conseqüente migração e/ou morte de peixes, moluscos e crustáceos (FERREIRA et al., 2015). Esse efluente pode modificar as características abióticas do sistema, tais como temperatura, oxigênio dissolvido, pH, salinidade etc. Variações súbitas de temperatura nas águas causam efeitos significativos nos ecossistemas aquáticos, que são adaptados apenas a pequenas variações. Organismos aquáticos são afetados por temperaturas fora de seus limites de tolerância térmica, o que afeta negativamente o seu crescimento e reprodução (CORREIA et al., 2015).

Em Moçambique, por exemplo, a construção de salinas ocupa o segundo lugar dentre as atividades humanas que mais contribuem para o desmatamento dos manguezais, ficando atrás somente da carcinicultura (BARBOSA, 2001). Embora a legislação brasileira obrigue a realização de avaliação de impactos ambientais, estes estudos ainda são pouco frequentes no país, ficando muitas vezes restritos a relatórios técnicos destinados aos órgãos ambientais. Além disso, as poucas referências científicas sobre o tema, trabalhos como, de Bezerra et al. (2012) e Ferreira et al. (2015), consideram somente os potenciais impactos ambientais da atividade, não contemplando estudos de casos reais, respaldados por dados quantitativos.

Por exemplo, no ano de 1997, um grande volume de água com alta salinidade foi acidentalmente lançado no estuário do rio Apodi-Mossoró, na região conhecida como lagamar do rio do Carmo, provocando a salinização temporária da região, causando a mortandade e fuga da fauna local, com reflexos negativos diretos sobre a atividade pesqueira (SERHID, 2007). Buscando evitar que novos acidentes ambientais ocorressem, o Ministério Público Estadual – MPE/RN, por meio da Promotoria de Justiça e Defesa do Meio Ambiente, em conjunto com o Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente – IDEMA/RN, propuseram um Termo de Ajustamento de Conduta – TAC, firmado com as empresas salineiras instaladas às margens deste estuário, que dentre suas cláusulas, estabelecia o limite de tempo máximo de 5 horas, em função do regime de maré, para o descarte de águas-mães,

buscando, assim, garantir que os efluentes só fossem lançados nos períodos em que o estuário tivesse com maior capacidade de depuração dos mesmos.

Embora esta ação tenha constituído o primeiro e importante passo para mitigar os impactos decorrentes do lançamento de efluentes da indústria salineira, sua efetividade é questionável. Na verdade, é provável que o TAC tenha aumentado o problema ao invés de saná-lo. Pois limitar apenas o tempo de descarte e não a sua vazão, pode ter resultado no lançamento de um volume maior de efluente, uma vez que os salineiros se viram obrigados a descartar o mesmo volume de efluentes durante um período menor de tempo, resultando no aumento da vazão de descarte. O fato é que problemas semelhantes ao ocorrido em 1997 continuam sendo denunciados pelos pescadores das comunidades locais, indicando que o problema ainda persiste (MOSSORÓ HOJE, 2018).

Desta forma, é fundamental estudos que visem subsidiar a criação de um Plano de Gerenciamento de Efluentes da Indústria Salineira, ferramenta fundamental para gestão sustentável desta atividade, possibilitando a continuidade da exploração econômica do sal marinho e resguardando os recursos naturais e os ecossistemas de eventuais impactos negativos. Neste contexto, qual a capacidade de diluição de efluentes da indústria salineira em regiões semiáridas? Para responder essa pergunta, utilizou-se o estuário do rio Apodi-Mossoró, semiárido brasileiro como modelo de estudo, para determinar a vazão máxima recomendada para lançamento de efluentes da indústria salineira. Além de mapear os principais pontos de lançamento dos efluentes da indústria salineira; caracterizar física e quimicamente os efluentes gerados no processo de produção de sal; e calcular a capacidade de diluição do estuário do rio Apodi-Mossoró para efluentes da indústria salineira.



## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Área de estudo

O estudo foi desenvolvido no estuário do rio Apodi-Mossoró, localizado no Nordeste do Brasil (4°56'18.29" S; 37°9'2.24" O). O estuário possui 43 km de comprimento, se estendendo desde o município de Mossoró, Rio Grande do Norte, até a sua foz no oceano Atlântico entre os municípios de Grossos e Areia Branca, também localizados no mesmo estado (Figura 1).

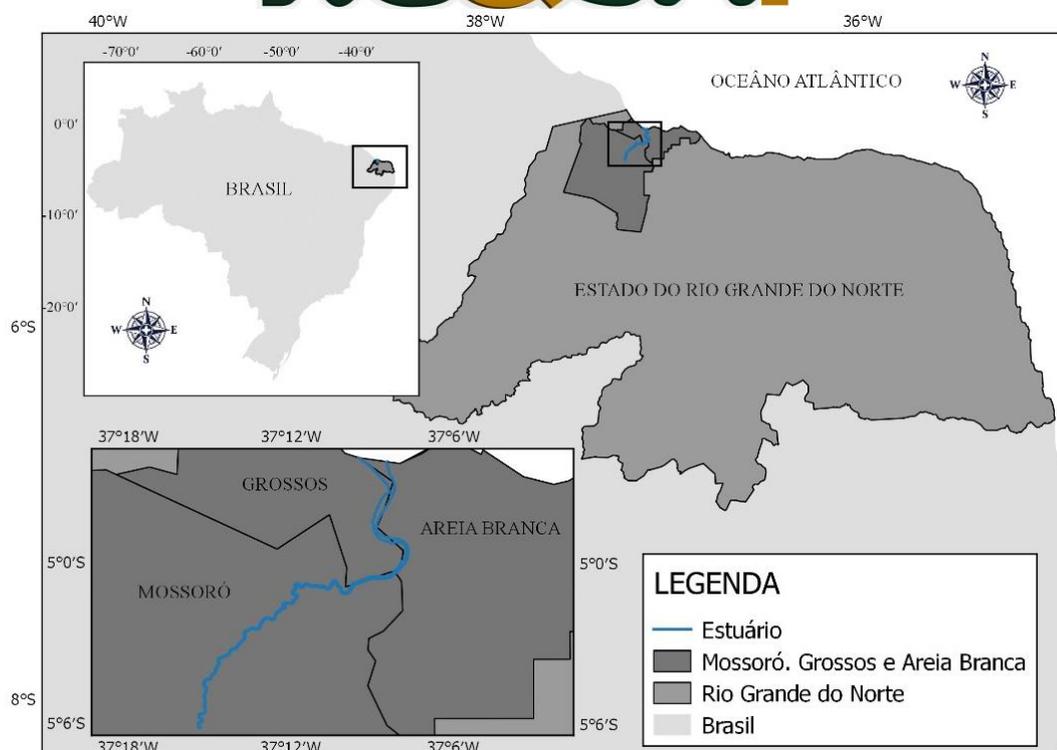
O clima da região, segundo a classificação de KOPPEN, é semiárido, tipo BSw'h' seco e muito quente, cuja pluviosidade média anual ( $< 1,250 \text{ mm/ano}^{-1}$ ) é inferior a evapotranspiração potencial da região ( $1.500 - 1.600 \text{ mm/ano}^{-1}$ ). Tais condições propiciaram o estabelecimento e crescimento da atividade salina, desenvolvida no estuário do rio Apodi-Mossoró (DINIZ; VASONCELOS, 2017).

## 2.2 Mapeamento dos pontos de lançamento de efluentes

Para mapear os principais pontos de lançamento de efluentes, foram realizadas expedições de campo percorrendo o estuário do rio Apodi-Mossoró desde sua foz até o trecho conhecido como “Passagem-de-pedras”, local que determina o final da zona estuarina. A identificação dos pontos de lançamento foi realizada visualmente, localizando os canais utilizados pelas salinas para drenar as águas-mães, e contou com o auxílio de pescadores da região. Todos os pontos de lançamento de efluentes foram georreferenciados com auxílio de GPS, no sistema UTM, DATUM WGS84, Zona 24 Sul.



Figura1. Localização do estuário do rio Apodi-Mossoró, Rio Grande do Norte.



Fonte: dos Autores, 2019.

Posteriormente a coleta, os pontos foram processados com auxílio do Software QGIS (versão 2.18.16), onde foram gerados mapas de densidade de pontos de lançamento de efluentes por meio da metodologia “Kernel”, método estatístico de estimação de curvas de densidade em que cada observação inserida é ponderada pela distância em relação a um valor central, proporcionando uma visão geral da intensidade do processo em todas as regiões do mapa (MEDEIROS, 2018). Considerou-se o valor 600 metros como raio de abrangência de cada ponto de lançamento, valor referente a distância para diluição da pluma de efluente conforme Relatório de Controle Ambiental: Salinas Estuário do rio Mossoró/Volume II (TECNOAMBIENTE BR, 2002).

### **2.3 Caracterização físico-química dos efluentes**

Foram analisadas 50 amostras de efluentes gerados no processo de produção de sal. As amostras foram fornecidas por empresas da própria região e não passaram por nenhum tratamento prévio. A temperatura foi medida em campo e determinada com o auxílio de um termômetro digital portátil. Em laboratório, as amostras foram analisadas, visando determinar suas características físicas e químicas, tais como: a salinidade (determinada com o auxílio de refratômetro portátil), o oxigênio dissolvido (determinado pelo método polarográfico, com eletrodo imerso em solução eletrolítica padrão e membrana semipermeável, com compensação automática da temperatura e salinidade), o pH (determinado com medidor digital de pH do tipo “eletrodo de vidro” de bancada) e os materiais sedimentáveis (analisado através do teste de uma hora em “Cone de Imhoff”).

Os resultados foram analisados com base em sua média, Desvio Padrão (DP) e Coeficiente de Variação (CV), e comparados com os valores de referência da resolução CONAMA 357/2005, 397/2008 e 430/2011, considerando o corpo d’água como salino – classe 1, bem como com dados de literaturas e períodos anteriores de monitoramento.

### **2.4 Capacidade de diluição do estuário para efluentes da indústria salineira**

Para determinar a capacidade de diluição de efluentes produzidos pela indústria salineira nos estuários, utilizou-se como referência o elemento que apresentou a maior concentração nas amostras analisadas, tomando como base a

vazão mínima do referido estuário (16.000 l/s) conforme Relatório de Controle Ambiental: Salinas Estuário do rio Mossoró/Volume II (TECNOAMBIENTE BR, 2002).

A vazão máxima de lançamento de efluentes foi calculada com base na Equação 1, que relaciona vazão e a concentração do elemento que se deseja controlar do corpo receptor, com a vazão e a concentração do mesmo elemento no presente no efluente.

$$C_F = \frac{Q_R \cdot C_R + Q_A \cdot C_A}{Q_R + Q_A}$$

Equação 1

Onde:

CF: Concentração final (g/l); QR: Vazão do estuário (l/s); CR: Concentração do estuário (g/l); QA: Vazão do efluente (l/s); CA: Concentração do efluente (g/l).

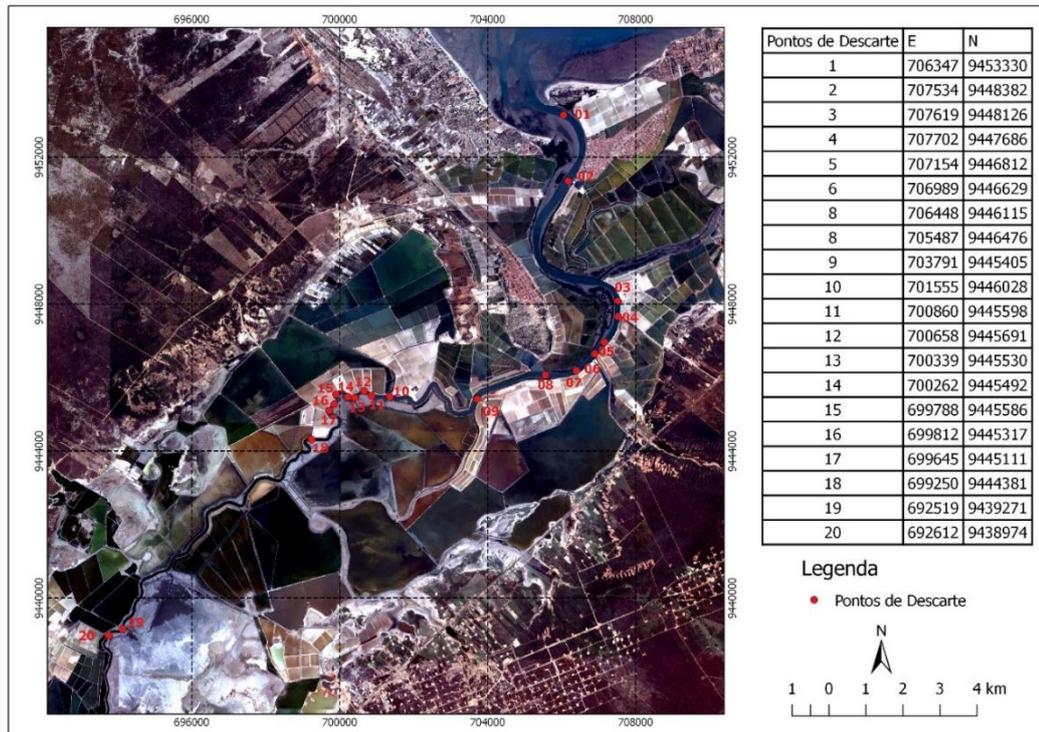
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO



#### 3.1 Pontos de lançamento dos efluentes

Foram identificados e mapeados 20 pontos de lançamento de efluentes ao longo do curso principal do estuário do rio Apodi-Mossoró, semiárido brasileiro, estando a maior concentração de pontos localizados na porção que corresponde ao estuário médio (Figura 2).

Figura 2. Pontos de lançamento de efluentes de salinas ao longo do curso principal do Estuário do rio Apodi-Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil.

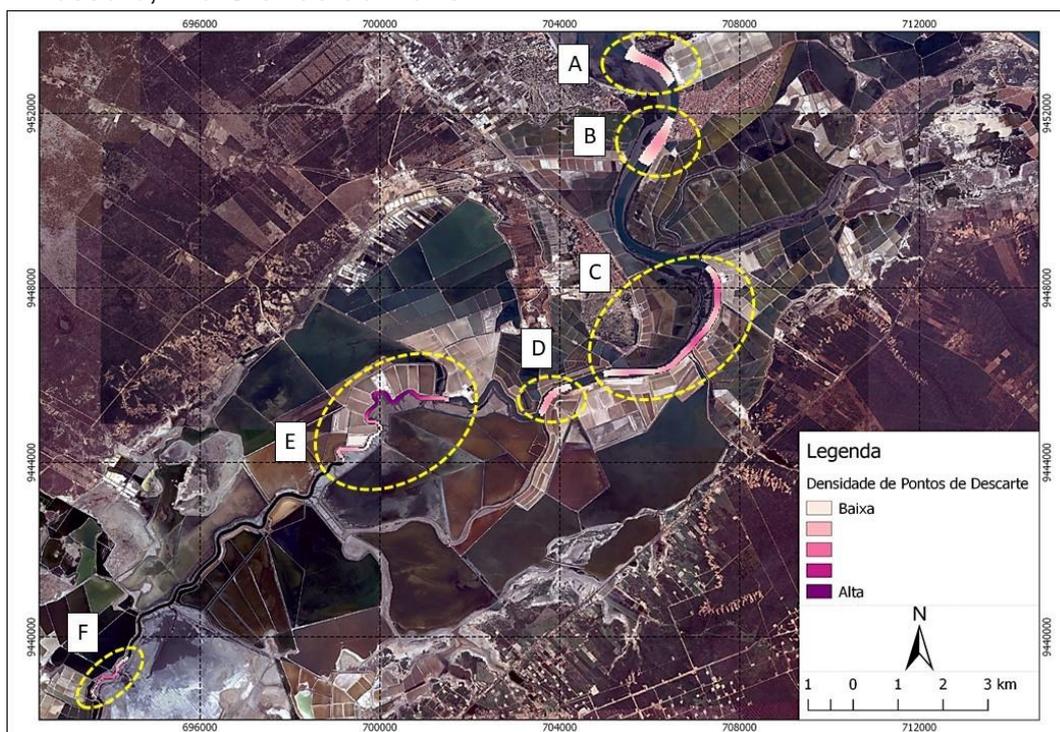


Fonte: dos Autores, 2019.

Com base na análise de densidade de pontos de lançamento de efluentes, foi possível dividir o estuário em setores – Zonas A, B, C, D, E e F (Figura 3). A Zona E apresentou a maior densidade de pontos de lançamentos, correspondendo a 9 pontos que descartam seus efluentes em região de influência comum, cuja distância é inferior a 500 metros. Desta forma, caso as salinas localizadas nesta zona descartem simultaneamente, os efluentes lançados terão efeitos combinados.

Destaca-se ainda o fato da Zona E corresponder a um trecho do estuário com elevada sinuosidade, o que resulta em perdas de cargas e menor vazão, provocando, como consequência, redução na taxa de renovação da água, podendo acarretar problemas para o estuário. As Zonas A, B, D e F apresentaram baixa concentração de pontos de lançamento, enquanto que para a Zona C a concentração foi considerada moderada.

Figura 3. Pontos de lançamento de efluentes divididos por setores, no Estuário do rio Apodi-Mossoró, Rio Grande do Norte.



Fonte: dos Autores, 2019.

Deve-se ressaltar, no entanto, que a Zona D está localizada entre as Zonas C e E podendo também ser influenciada por elas, e que a Zona F está no ponto de menor influência da maré, o que implica em baixa taxa de renovação de água. As zonas menos sujeitas aos efeitos do lançamento de efluentes são a A e B, por já estarem muito próxima a foz, correspondendo maiores taxas de renovação propiciadas pelos efeitos das marés.

### 3.2 Caracterização física e química dos efluentes

A Tabela 1 sumariza os resultados obtidos para caracterização físico-química das 50 amostras de efluentes coletados do estuário do rio Apodi-Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil.

Tabela 1. Parâmetros da caracterização físico-química dos efluentes de salinas no Estuário do rio Apodi-Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil.

Parâmetros	Salinidade (g/l)	Temp. (°C)	pH	Oxigênio (mg/l)	MS (ml/l)
Média	282,24	24,68	8,16	2,83	0,45
D.P.	4,34	1,25	0,30	0,81	0,29
C.V.	1,54	5,06	3,65	28,73	64,81
Mínimo	275	23,00	7,79	1,98	0,01
Máximo	290	27,00	8,49	4,00	0,99

Fonte: dos Autores, 2019.

A temperatura do efluente não variou de forma acentuada registrando média geral de 24,68 °C (DP=1,25; CV=5,06%), com valores que oscilaram entre 23 °C e 27 °C, temperatura considerada característica de regiões tropicais (OLIVEIRA et al., 2018). Não havendo variação súbita deste parâmetro, o que poderia implicar em uma variação nas taxas de oxigênio na água, pois quanto maior a temperatura, menor o teor de oxigênio dissolvido (COELHO; SANTOS-WISNIEWSKI, 2016).

A temperatura superficial dos corpos d'água é influenciada pela incidência de energia solar, tendo interferência direta ao metabolismo biogeoquímico do ecossistema, na solubilidade de gases, decomposição e formação da matéria orgânica e fluxo de nutrientes e energia. A baixa oscilação da temperatura é resultado principalmente da localização das salinas avaliadas, próxima a linha do equador, caracterizada pela elevada homogeneidade térmica. Verificou-se que a temperatura se manteve dentro dos limites permitidos pela Resolução CONAMA 430/2011, que é de 40 °C para lançamento de efluentes, entre 5,00 e 9,00 para o pH e abaixo de 1 ml/l para os materiais sedimentáveis.

O pH é uma das variáveis mais importantes dos ecossistemas aquáticos, e pequenas flutuações no mesmo podem ter grande influência nos mais diversos processos ambientais, como a decomposição da matéria orgânica, mistura do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e no oxigênio dissolvido (MACÊDO, 1974). A média para o valor do pH foi de 8,16 (DP=0,30; CV=3,65%) mantendo-se sempre alcalino e dentro dos limites aceitáveis para a existência dos organismos estuarinos, que varia entre 6,50 e 9,00 (CORREIA et al., 2015), bem como dos limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357/2005, não interferindo, desta forma, no equilíbrio iônico do ecossistema. O menor valor registrado para este parâmetro foi de 7,79 enquanto o maior valor foi de 8,49. O pH alcalino registrado é característico de água salobra, especialmente este parâmetro, em geral, não apresentou variações fora do intervalo considerado suscetível à comunidade biológica (<5,0 ou > 9,0) (BUZELLI; CUNHA-SANTINO, 2013).

Em regiões estuarinas, sabe-se que o pH está relacionado com a quantidade de matéria orgânica em decomposição, o qual é um fator limitante, tanto para a mistura do dióxido de carbono como para o oxigênio dissolvido. Sassi e Watanabi (1980) afirmam que o pH varia de acordo com o fluxo e o refluxo das marés, bem como em relação à temperatura. Nesse contexto, Fernandes et al. (2017) ao avaliarem o pH do

estuário do rio Apodi-Mossoró, também na Costa Branca do Rio Grande do Norte, registraram pH também alcalino e pouco variável (média de 7,7) e correlacionaram esse fato à grande influência exercida pela água do mar.

O valor médio para o Oxigênio Dissolvido (OD) foi de 2,83 mg/l (DP=0,81; CV=28,73%), com concentrações variando entre o mínimo de 1,98 mg/l e o máximo de 4,00 mg/l. Não existe ainda legislação que determine um limite para concentração de Oxigênio Dissolvido nos efluentes, mas deve-se atentar para o fato que nenhum efluente deve causar a redução da qualidade do corpo receptor.

O OD é de suma importância para a manutenção da qualidade ambiental dos ecossistemas aquáticos, sendo responsável por processos como a oxidação de elementos químicos, decomposição e ciclagem da matéria orgânica que circula nos ecossistemas, além de ser essencial para a sobrevivência dos organismos aquáticos, que o utilizam no processo de respiração. Segundo Esteves (1998), a atmosfera e a fotossíntese são as principais fontes de oxigenação para água. Por outro lado, as perdas são atribuídas ao consumo pela decomposição da matéria orgânica (oxidação), perda para atmosfera, respiração de organismos aquáticos e oxidação de íons metálicos, como, por exemplo, o ferro (FERNANDES, 2013).

Os Materiais Sedimentares apresentaram média de 0,45 ml/l (DP=0,29; CV=64,81%), com concentrações variando entre o mínimo de 0,01 ml/l e o máximo de 0,99 ml/l. É fundamental conhecer e controlar a concentração de Materiais Sedimentáveis dos efluentes, pois reflete a carga de material que irá se precipitar no fundo do corpo hídrico receptor, consumindo oxigênio durante sua oxidação. Por esta razão, a Resolução CONAMA 357/2005 estabelece o limite máximo de 1 ml/l de materiais sedimentáveis para lançamento de efluentes. De acordo com as análises realizadas, todas as amostras estavam em acordo com o estabelecido na legislação vigente, que é de no máximo 1ml/l

O parâmetro que apresentou maior variação em relação aos valores considerados ideais para estuários e, portanto, com maior potencial poluidor, foi a salinidade. A mesma apresentou média igual a 282,24 g/l (DP=4,34; CV=1,54%), mais de 8 vezes superior à salinidade da água do mar, e variou entre o máximo de 290 g/l e o mínimo de 275 g/l. A salinidade é um dos fatores que mais limitam o crescimento, a nutrição e o desenvolvimento pleno de organismos aquáticos, que culminam na alta concentração de sais, sendo os efluentes de alta salinidade responsáveis pela redução do potencial osmótico no ambiente radicular das espécies vegetais (DASGAN

et al., 2002) e do elevado estresse oxidativo aos quais as células animais são submetidas para se adaptar à esse ambiente (FREIRE et al., 2011).

A alta concentração de sais é considerada um fator estressante para os organismos vegetais, por propiciar a retenção de água (CHUSMAN, 2001; MUNNS, 2002), reduzir a atividade dos íons em solução e alterar os processos de absorção, transporte, assimilação e distribuição de nutrientes nessas espécies. A interação entre salinidade e nutrição mineral torna-se mais complexa em virtude das diferenças na concentração e na composição iônica dos meios salinos (água e solo) aos quais os vegetais são submetidos, bem como das diferentes respostas destes, tanto em relação à salinidade como no tocante à eficiência na aquisição de nutrientes (FARIAS et al., 2009).

Uma vez que as plantas são responsáveis pela absorção de compostos inorgânicos para que através do processo de fotossíntese sejam capazes de sintetizar carboidratos, aminoácidos e ácidos graxos, e sendo esses compostos orgânicos essenciais para a vida destas espécies e dos seres heterotróficos que habitam o mesmo ecossistema, torna-se evidente que o comprometimento desse ciclo ocasionado pela alta salinidade do meio, afetará profundamente a sobrevivência das comunidades nele existentes.

Freire et al. (2011) ao avaliar a resposta do sistema antioxidante de duas espécies de siris (*Callinectes danae* e *Callinectes ornatus*) em relação à variação de salinidade, hipo (10‰) ou hipersalinidade (40‰), observaram que este fator foi um importante indutor da atividade de enzimas antioxidantes e que *C. danae* e *C. ornatus* apresentaram mecanismos distintos de modulação da atividade destas enzimas, suficientes para evitar danos oxidativos a lipídios e proteínas durante o estresse salino. Essa constatação evidencia o fato de que a alta salinidade, seja uma consequência natural de fatores meteorológicos ou induzida, provoca alterações de ordem fisiológica nas espécies que habitam o meio hipersalino, conseqüentemente, apenas sobreviverão a esse ambiente os organismos que apresentarem mecanismos adaptativos para tal.

### 3.3 Capacidade de diluição do estuário

Considerando que a salinidade foi o parâmetro com maior potencial poluidor dentre os analisados, a mesma foi considerada como elemento base para

determinação da capacidade de diluição e, conseqüentemente, da vazão máxima de lançamento de efluentes. Admitiu-se que o valor inicial da salinidade no estuário do rio Apodi-Mossoró é 35 g/l, comum para os estuários da região e que o valor máximo aceitável (após o lançamento do efluente) é de 40 g/l, limite tolerado pela maioria das espécies vegetais e animais que vivem no estuário. A tabela 2, abaixo, apresenta os valores adotados para o cálculo da vazão máxima de lançamento de efluentes.

Tabela 2. Valores de Vazão e Concentração.

Variável	Descrição	Valor	Unidade
$C_F$	Concentração final	40	g/l
$Q_R$	Vazão do estuário	16.000	l/s
$C_R$	Concentração do estuário	35	g/l
$C_A$	Concentração do efluente	290	g/l
$Q_A$	Vazão de lançamento	320	l/s

Fonte: dos Autores, 2019.

Para garantir que, após o lançamento do efluente, o estuário atinja uma salinidade máxima de 40 g/l, a vazão de lançamento não poderá ser superior a 320 l/s. A partir desta informação, é fundamental que se tomem medidas para determinar a vazão atual de lançamento dos efluentes das salinas, de forma a identificar se algum dos pontos aqui mapeados possui vazão superior a recomendada, adotando medidas corretivas quando for necessário. Deve-se considerar ainda que a salinidade é um parâmetro conservativo e que, no caso de pontos de lançamento de efluentes localizados na mesma Zona, deve-se assegurar que este limite seja dividido entre as salinas, resguardando, desta forma, a qualidade ambiental do estuário.

Destaca-se que a definição da capacidade de diluição e o estabelecimento de um limite máximo de vazão de lançamento de efluentes é apenas uma das ferramentas para reduzir os impactos da atividade salineira sobre o meio ambiente, e que a mesma deve ser complementada por outras ações, como a implantação de sistemas de recirculação e o aproveitamento dos efluentes para extração de outros elementos com potencial econômico. Um exemplo é o estudo de Silva et al. (2017) acerca da potencialidade de produção de óxido de magnésio a partir da água-mãe proveniente da produção de sal marinho no município de Grossos, Rio Grande do Norte, mostrando a viabilidade da produção de óxido de magnésio a partir da água-

mãe, onde aponta que além de minimizar impactos ambientais provocados pela indústria salineira, se tornaria uma fonte alternativa para produção no ramo.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Boori e Amaro (2010) ao avaliarem os impactos ambientais e gestão dos recursos naturais no estuário do rio Apodi-Mossoró, localizado no estado do Rio Grande do Norte, semiárido brasileiro, observaram influência das atividades humanas, inclusive da indústria salineira, sobre riscos ambientais potenciais na área costeira e estuarina. Tais autores reportaram uma alta vulnerabilidade eco-ambiental na maior parte da área estudada, ratificando a importância de medidas de proteção ambiental para garantir não apenas a segurança do ecossistema, bem como o desenvolvimento socioeconômico dessa região.

Esse estuário do serve como base da mais importante região produtora de sal do país, responsável pela geração de milhares de empregos e parte significativa da economia local. Entretanto, seu modelo atual de produção pode estar causando sérios problemas ambientais. A adoção do limite de vazão para lançamento de efluentes da indústria salineira é de 320 litros por segundo estimada no presente trabalho, em substituição ao sistema atual de controle, baseado apenas no limite de tempo de descarte, é uma alternativa para reduzir os riscos de poluição e impactos ambientais, além de minimizar os conflitos com as populações tradicionais de pescadores.

#### REFERÊNCIAS

- BEZERRA, D.; BRITO L. **Avaliação dos impactos ambientais produzidos pela indústria salineiras do Rio Grande do Norte**. In: Congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental, 21., 2001, João Pessoa, Anais... João Pessoa: UFPB, 2001. p. 36.
- BEZERRA, J. M., BATISTA, R. O., DA SILVA, P. C. M., THIAGO, C. Aspectos econômicos e ambientais da exploração salineira no estado do Rio Grande do Norte. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 9, n. 2, p. 003-020, 2012.
- BOORI, M. S.; AMARO, V. E. Detecting and understanding drivers of natural and ecoenvironmental vulnerability due to hydro geophysical parameters, ecosystem and land use change through multispectral satellite data sets in Apodi estuarine. Northeast

Brazil. **International Journal of Environmental Sciences (IJES)**, v. 1, n. 4, p. 543 – 557, 2010.

BRASIL. **Assembleia Legislativa. Constituição (2005). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Resolução Conama Nº 357/2005.** Brasil, 18 mar. 2005. Seção 053. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 06 set. 2018.

BUZELLI, G. M.; CUNHA-SANTINO, M. B. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita, SP. **Revista Ambiente & Água**, v. 8, n. 1, p. 186-205, 2013.

CHUSMAN, V. Osmoregulation in plants: Implications for agriculture. **American Zoologist**, v. 41, p. 758-769, 2001.

COELHO, P. N.; SANTOS-WISNIEWSKI, M. J. Composição da comunidade zooplanctônica em um pequeno corpo d'água raso no Sul de Minas Gerais. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 12, n. 1, p. 60-74, 2016.

CORREIA, L. J. H.; FERNANDES, A. J. D.; LÚCIO, M. M. L. M.; OLIVEIRA TOMAZ, J. K.; HONORATO, M. B.; NASCIMENTO CARNEIRO, E. Monitoramento da qualidade físico-química da água do estuário do Rio Paraíba-Cabedelo, PB. **Revista Principia**, v. 1, n. 27, p. 47-54, 2015.

DASGAN, H.Y.; AKTAS, H.; ABAK, K.; OARMAK, I. Determination of screening techniques to salinity tolerance in tomatoes and investigation of genotypes responses. **Plant Science**, v. 163, p. 695-703, 2002.

DINIZ, M. T. M.; VASCONCELOS, F. P. Condicionantes naturais à produção de sal marinho no Brasil. **Mercator**, Fortaleza, v. 16, e1613b, 2017.

DINIZ, M. T. M.; VASCONCELOS, F. P. Condicionantes socioeconômicos e naturais para a produção de sal marinho no Brasil: as particularidades da principal região produtora. **Revista GeoUECE**, Brasil, v. 3, n. 2, p.1-1, 2013.

DINIZ, M. T. M.; VASCONCELOS, F. P.; MARTINS, M. B. Inovação tecnológica na produção brasileira de sal marinho e as alterações sócioterritoriais dela decorrentes: uma análise sob a ótica da teoria do empreendedorismo de Schumpeter. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 27, n.3, p. 421-438, 2015.

ESTEVES, F.A. 1998. **Fundamentos de limnologia**. Interciência. 2ª ed., Rio de Janeiro, 602p.

FARIAS, S. G. G.; FREIRE, A. L. O.; SANTOS, D. R.; BAKKE, I. A.; SILVA, R. B. E. Efeito dos estresses hídrico e salino na germinação de sementes de gliricídia (*Gliricidia sepium* (JACQ.) STEUD.). **Revista Caatinga**, v. 22, p. 152-157, 2009.

FERNANDES, Rogério Taygra Vasconcelos. **Relatório Monitoramento Ambiental Porto Sal**. Mossoró – RN, 2013. 35 p.

FERREIRA, S. F. M.; MIRANDA, A. C.; GOMES, H. P. Um estudo de uma comunidade de trabalhadores em salinas: o impacto ambiental e uma proposta em educação ambiental. **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 8, n. 10, p. 65-81, 2015.

FREIRE, C. A.; TOGNI, V. G.; HERMES-LIMA, M. Responses of free radical metabolism to air exposure or salinity stress, in crabs (*Callinectes danae* and *C. ornatus*) with different estuarine distributions. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 160, n. 2, p. 291-300, 2011.

KURLANSKY, M. **Sal: uma história do mundo**. 2º ed.: São Paulo: SENAC, 2011. 461p.

LIINGILIE, A. S.; KILAWÉ, C.; KIMARO, A.; RUBANZA, C.; JONAS, E. Effects of salt making on growth and stocking of mangrove forests of south western Indian Ocean coast in Tanzania. **Mediterranean Journal of Biosciences**, v. 1, n. 1, p. 27-31, 2015.

MACÊDO, S. J. **Fisioecologia de alguns estuários do Canal de Santa Cruz (Itamaracá-PE)**. São Paulo, USP: Dissertação (Mestrado em Fisioecologia) – Departamento de Fisiologia Geral do Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1974.

MEDEIROS R. R.; COSTA, D. F. S.; LUCENA-FILHO, M. A.; BEZERRA, R. M.; MEDEIROS, D. H. M.; AZEVEDO-SILVA, A. M.; ARAÚJO, C. N.; XAVIER-FILHO, L. Brazilian solar saltworks – ancient uses and future possibilities. **Aquatic Biosystems**, v. 8, n.8, p.1-8, 2012.

MEDEIROS, Anderson. **Introdução aos Mapas de Kernel**. Disponível em: <<http://www.clickgeo.com.br/mapas-de-kernel-parte-1/>>. Acesso em: 07 set. 2018.

MOSSORÓ HOJE: **Salinização provoca mortandade de peixes em Passagem de Pedras e afeta centenas de pessoas**. 2018. Disponível em: <<http://mossorohoje.com.br/noticias/23580/salinizacao-provoca-mortandade-de-peixes-em-passagem-de-pedras-e-afeta-centenas-de-pessoas.htm>>. Acesso em: 10 set. 2018.

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, cell & environment**, v. 25, p. 239-250, 2002.

OLIVEIRA, J. F.; OLIVEIRA, J. C. D.; NOVAES, J. L. C.; SOUZA, A. E. F.; SOUSA, M. M. O.; SANTOS, A. B.; PERETTI, D. Spatial-temporal analysis of the diet of a non-native fish in the Santa Cruz Reservoir, Brazilian semi-arid. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 30, p. e110, 2018.

SASSI, R.; WATANABE, T. **Estudos ecológicos básicos no estuário do Rio Paraíba do Norte, Paraíba, Brasil. Fitoplâncton e fatores hidrológicos.** Simpósio Nacional de Ecologia, v. 2, p. 305-313, 1980.

SERHID - Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos. **Projeto PROÁGUA/SEMI-ÁRIDO.** Plano de recuperação ambiental do trecho inferior do Rio do Carmo. Relatório Final: tomo I, II e III. Natal: Rio Grande do Norte, 2007.

SIESAL. Sindicato da Indústria da Extração do Sal no Estado do Rio Grande do Norte. **Atas das assembleias ordinárias.** Mossoró, Rio Grande do Norte, 2016

SILVA REBOUÇAS, L., DA ROCHA, E. M., DA SILVA, J. D., DA COSTA, W. P. L. B., SILVA, S. L. P., DO NASCIMENTO, Í. C. S. Práticas de gestão de custos nas indústrias salineiras do Estado do Rio Grande do Norte. **Caderno Profissional de Administração da UNIMEP**, v. 8, n. 2, p. 95-114, 2018.

SILVA, A. R.; SILVA COSTA, D. F. Caracterização do sistema artesanal de produção de sal no litoral setentrional do Rio Grande do Norte. **Revista do CERES**, v. 1, n. 2, p. 232-235, 2015.



SILVA, C. L. C. et al. Potential of magnesium oxide production from saline effluent from marine salt production in the municipality of Grossos / RN. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 3, p.1-72, 2017.

TECNOAMBIENTE BR. **Relatório de Controle Ambiental das Salinas do Estuário do Rio Mossoró.** Mossoró: TECNOAMBIENTE BR, v1/2. 2002. 235 p.