



Caracterização geoquímica dos sedimentos em um ambiente hipersalino artificial

Geochemical characterization of sediments in an artificial hypersaline environment

COSTA^{1,2}, D. F. S.; DE MEDEIROS ROCHA¹, R.; SOARES², A. M.V.M.; LILLEBØ², A. I.
diogenesgeo@gmail.com

Resumo

A geoquímica dos sais e nutrientes encontrados em salinas solares está associada às características hidrodinâmicas e biológicas destes ecossistemas, encontrados nas zonas tropicais e subtropicais em todo o mundo. Esta pesquisa foi desenvolvida na Salina Miramar, localizada na cidade de Areia Branca no litoral setentrional do estado do Rio Grande do Norte, com o objetivo de realizar a caracterização geoquímica e textural em amostras de sedimentos coletadas em 03 evaporadores com salinidades distintas (40, 70, 120 g.L⁻¹). Foi realizada uma análise estatística multivariada nos resultados obtidos em relação aos teores de matéria orgânica, pH, granulometria, cálcio, carbono, nitrogênio e fósforo total. Foram identificadas variações em relação ao padrão de acumulação de nutrientes nos sedimentos, sendo possível distinguir 03 setores com características distintas na salina, em função da salinidade. Dentro dos diferentes perfis analisados, verificou-se que as maiores concentrações de nutrientes foram identificados nos sedimentos de superfície (5 - 10 cm) a 70 g.L⁻¹. Com base nos resultados obtidos, conclui-se que as salinas representam zonas de retenção de nutrientes, impedindo que parte destes, venha de fato a contribuir com o processo de eutrofização da zona costeira.

Palavras chave: Zonas Úmidas, Produção de sal, Estatística Multivariada.

Abstract

The geochemistry of salts and nutrients in solar saltworks is significantly related to the hydrodynamic and biological characteristics of these ecosystems, which are found in tropical and subtropical regions worldwide. This research developed at Salina Miramar, located in the town of Areia Branca semiarid coast of the South Atlantic Ocean (Northeastern Brazil), with the main of realizing the geochemistry and textural characterization in sediment samples collected in 03 evaporators with different salinities (40, 70, 120 g.L⁻¹). A multivariate statistical analysis was performed on the results obtained in relation to the levels of organic matter content, pH, grain size, calcium, carbon, nitrogen and total phosphorus. Variations were identified in relation to the pattern of nutrient accumulation in sediments, which delineated 03 sectors in the hypersaline ecosystem with different characteristics, according to salinity. Within the different profiles analyzed, it was found that the highest concentrations of nutrients were identified in surface sediments (5-10 cm) to 70 g L⁻¹. Based on these results, it is concluded that this ecosystems represent nutrient retention areas, thus preventing eutrophication in the coastal zone.

Keywords: Wetlands, Salt Production, Multivariate Statistics.

1. INTRODUÇÃO

Nas salinas solares a água do mar é bombeada para o primeiro conjunto de tanques evaporadores, até evaporar a uma salinidade definida, sendo então transferida para a próxima série de evaporadores, enquanto aumenta a salinidade em cada etapa. Por fim, a salmoura saturada com NaCl (99,7%) é transferida para os tanques cristalizadores (profundidade < 20 cm), nos quais se tem a precipitação final dos sais de halita (Davis, 2000). As salinas consistem de um gradiente contínuo de salinidade, em que a concentração de sais em cada evaporador é mantida aproximadamente constante ao longo de todo o ano (Oren, 2002).

¹ GESA – Grupo de pesquisa em Estudos Geoambientais do Semiárido, Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Caicó-RN, Brasil.

² CESAM – Centro de estudos do Ambiente e do Mar, Departamento de Biologia, Universidade de Aveiro, Portugal.

No substrato destes ambientes, são comumente encontrados densos tapetes microbianos bentônicos (“*mats*”) compostos por cianobactérias fototróficas (uma variedade de procariontes heterotróficos), diatomáceas, protozoários e outros microorganismos.

Esses biótopos nas salinas diferem-se significativamente ao longo de todo mundo em relação a quantidade de nutrientes das salmouras e o tempo de retenção da água no sistema, que depende principalmente das condições climáticas (Oren, 2002). As concentrações de nutrientes encontrados nestes ambientes também dependem de características hidrodinâmicas, químicas (inclusive da coluna da água e qualidade dos sedimentos), e biológicas (Davis, 2000; Pedrós-Alió et al., 2000; Joint et al., 2002; López et al., 2010).

A análise da dinâmica geoquímica está fortemente associada ao conceito da precipitação fracionada dos sais da água do mar, proposto por Copeland (1967). Verifica-se a relação direta entre a elevação da saturação de sais na salmoura, onde os diferentes sais formados apresentam limites diferentes de dissolução no ambiente, vindo a precipitar-se quando atingem saturações máximas (Oren, 2002). Portanto, partindo-se da hipótese de que os sedimentos das salinas podem agir como zonas de retenção de nutrientes, o presente estudo tem como objetivo realizar a caracterização granulométrica e dos teores geoquímicos dos sedimentos ao longo do gradiente hipersalino na Salina Miramar (Areia Branca-RN).

2. METODOLOGIA

As amostras de sedimentos foram coletadas em 03 evaporadores com salinidades distintas (40, 70, 120 g.L⁻¹) no dia 30 de outubro de 2012. A Salina Miramar (Areia Branca/RN - 4°57'S e 37°07'W) foi escolhida por ser uma potencial fonte de comparação dos teores geoquímicos para os demais ambientes hipersalinos da América do Sul pelo fato de ser uma das únicas salinas que capta água direto do mar, no litoral setentrional do estado do Rio Grande do Norte (Figura 01).

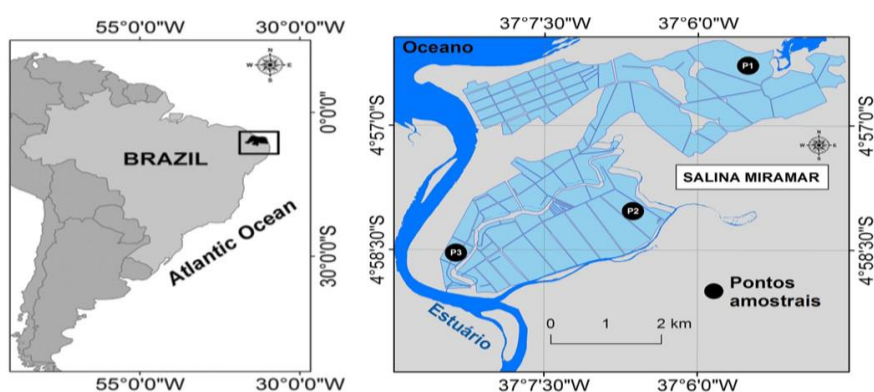


Figura 01. Mapa de localização dos pontos amostrais da Salina Miramar. **Fonte:** Elaborado pelos autores (2013)

Corroborando com a literatura clássica sobre a precipitação fracionada de sais (Copeland, 1967), verificou-se em campo a ausência de sedimentos nos evaporadores cujas salinidades estavam acima de 150 g.L^{-1} , ocorrendo a formação de uma crosta superficial de gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Portanto, os pontos amostrais foram delimitados em evaporadores com as salinidades de 40 (P1), 70 (P2) e 120 g.L^{-1} (P3). Em cada ponto de amostragem (P1 a P3), foram coletados 10 cores, selecionados *in situ*, em 03 perfis (Perfil A – 0 a 5 cm; Perfil B – 5 a 10 cm; Perfil C – 10 a 15 cm), obtendo-se uma amostra composta por cada perfil por evaporador, totalizando 09 amostras (Figura 02).

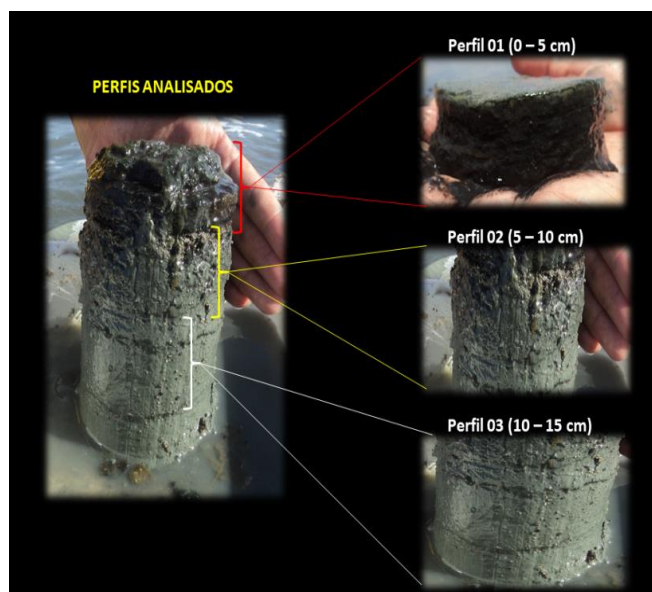


Figura 02. Diferenciação dos perfis nas amostras de sedimentos coletadas nos evaporadores da Salina Miramar.

Fonte: Elaborados pelos autores (2013)

As amostras foram coletadas com o auxílio de um tubo PVC, retirando-se 1,0 kg de cada perfil para a determinação dos seguintes parâmetros: pH, cálcio (Ca^+), carbono (C), nitrogênio (N), fósforo total (P), matéria orgânica (MO) e granulometria. As medidas do pH foram realizadas *in situ* em cada perfil, utilizando-se um pHmetro modelo PH-2500. As amostras foram levadas ao laboratório, secas à 60°C e em seguida peneiradas em malha de nylon $<1 \text{ mm}$. Após o peneiramento, as amostras foram preservadas em frascos hermeticamente fechados em ambiente seco, climatizados a 20°C até serem analisadas.

Com relação às análises químicas, procedeu-se à determinação de Carbono Total e Matéria Orgânica pelo método de Yoemans e Bremner (1988); o cálcio, fósforo e nitrogênio por extração com HCl (mol.L^{-1}) e determinação por espectrofotometria de absorção atômica. Todas as análises seguiram os métodos descritos

em EMBRAPA (1997) e foram realizadas no Laboratório de Pesquisa de Solos da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN).

A análise da variação dos parâmetros geoquímicos foi realizada por meio da estatística multivariada (Hardle e Simar, 2007), primeiramente por meio de Análise de Componentes Principais (ACP) no programa Statistica (v. 8). As projeções consideradas para as análises estatísticas foram os vetores das variáveis ambientais (propriedades físico-químicas do sedimento, Tabela 1) e os evaporadores. Também foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson (R^2), sendo o nível de significância (p level) da média analisado por meio do teste “t” de Student, realizadas com o auxílio do programa Statistica v. 8.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com as análises realizadas, todas as amostras representam sedimentos inconsolidados, cujos valores de cada parâmetro estão na Tabela 1. As concentrações de areia, silte e argila variaram significativamente entre os pontos amostrais ($t_9 = 9,54$; $t_9 = 6,17$; $t_9 = 14,9$; $p < 0,05$; $R^2 = 0,06$; $0,00$; $0,04$, respectivamente), mantendo em todos os perfis a predominância da fração silte > argila > areia (Figura 03). Identificado como fração mineral predominante, o silte variou entre os diferentes pontos amostrais, onde o maior valor foi identificado no perfil C do ponto 3 (P3C = 773 g.kg⁻¹) e o menor valor foi identificado no ponto C (P1C = 328 g.kg⁻¹). Em relação aos teores de argila, o teor mais alto foi no perfil C no ponto 2 (P2C = 380 g.kg⁻¹) e o mais baixo no perfil B no ponto 3 (P3B = 40 g.kg⁻¹), enquanto que as frações de areia foram observadas em concentração mais elevadas nos perfis B e A deste ponto amostral (P3B = 537, P3A = 528, respectivamente).

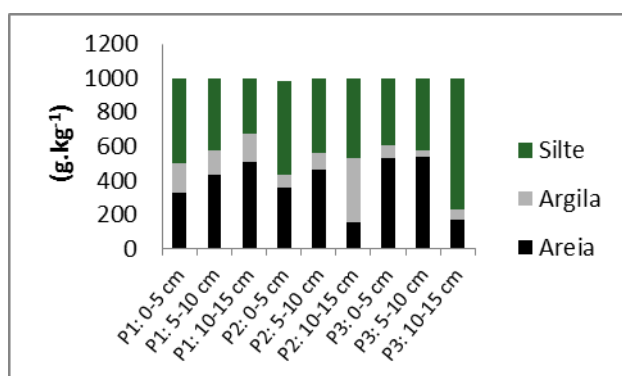


Figura 03. Variação granulométrica nos sedimentos analisados da Salina Miramar.

Fonte: Elaborados pelos autores (2013)

O pH das amostras foi considerado alcalino, apresentando uma homogeneidade nas amostras dos pontos 1 e 2 ($t_9 = 90,67$; $p < 0,05$; $R^2 = 0,00$), onde se registraram os valores mais alto (P3A = 8,72) e baixo

(P3C = 7,68) no ponto 3, havendo gradualmente baixas oscilações entre os 2 perfis iniciais em todos os pontos (P1A = 8,08 e P2A = 8,14; P1B = 8,15 e P2B = 8,12; P1C = 8,02 e P2C = 8,03) com salinidades de 40, 70 e 120 g.L⁻¹ (Figura 04A). Já os teores do cálcio (Ca⁺) também apresentaram uma variação significativa nas amostras na Salina Miramar ($t_9 = 3,10$; $p < 0,05$; $R^2 = 0,32$). Quando relacionado com a salinidade, este parâmetro apresentou variações nos valores entre os diferentes perfis. No primeiro perfil do ponto 1 (P1A), o Ca⁺ oscilou entre 17.850 mg.kg⁻¹, decrescendo para 14.700 mg.kg⁻¹ (P1B) e elevando o teor para 16.800 mg.kg⁻¹ no perfil C (P1C). No ponto 2 este parâmetro apresentou uma oscilação entre os diferentes perfis analisados, iniciando no Perfil A com 15.300 (P2A), 38.000 (P2B) e tendo uma queda no perfil C para 28.200 mg.kg⁻¹ (P2C), verificando-se um elevado teor no perfil A do ponto 3, seguido de uma redução acentuada gradativa nos perfis B e C deste ponto (P3A = 115.325, P3B = 109.037 e P3C = 21.942 mg.kg⁻¹) (Figura 04B).

Tabela 01. Valores de cada parâmetro analisado nos evaporadores da Salinas Miramar (Areia Branca, RN-Brasil): PT – Fósforo total, NT – Nitrogênio total, CT – Carbono total, MO – Matéria Orgânica. Fonte: Elaborados pelos autores (2013)

Parâmetros	Ponto 1 (40 g.L ⁻¹)			Ponto 2 (70 g.L ⁻¹)			Ponto 3 (120 g.L ⁻¹)		
	0-5 cm	5 - 10 cm	10 - 15 cm	0-5 cm	5 - 10 cm	10 - 15 cm	0-5 cm	5 - 10 cm	10 - 15 cm
pH	8,08	8,15	8,02	8,14	8,12	8,03	8,72	8,18	7,68
Ca ⁺ (mg.kg ⁻¹)	17,85	14,70	16,80	15,30	38,00	28,20	115,32	109,04	21,94
PT (mg.kg ⁻¹)	630,00	489,00	382,00	949,00	773,00	875,00	451,00	347,00	625,00
NT (g.dm ⁻³)	1,34	1,05	0,79	5,40	4,48	2,45	3,82	1,37	1,50
CT (g.kg ⁻¹)	2,00	1,88	1,51	5,20	4,61	2,69	3,80	2,00	2,20
MO (g.kg ⁻¹)	34,51	32,48	26,07	89,58	79,44	46,34	65,58	34,55	37,86
Granulometria									
Areia (g.kg ⁻¹)	325	437	512	356	460	154	528	537	167
Argila (g.kg ⁻¹)	180	140	160	80	100	380	80	40	60
Silte (g.kg ⁻¹)	495	423	328	564	440	466	392	423	773

Por sua vez, os teores de nitrogênio total apresentaram uma variação significativa, porém sem associação entre as amostras ou correlação com a salinidade entre as amostras na Salina Miramar ($t_9 = 3,99$; $p < 0,05$; $R^2 = 0,00$). Os menores teores foram identificados no primeiro evaporador (P1), variando entre 1,34 g.dm⁻³ no perfil A (P1A), 1,05 g.dm⁻³ no perfil B (P1B) e 0,79 g.dm⁻³ no perfil C (P1C). No ponto 2 foram obtidos os valores intermediários de nitrogênio total, com 5,40 g.dm⁻³ no primeiro perfil (P2A), seguido de 4,48 (P2B) e 2,45 g.dm⁻³ (P2C), assim como no ponto 3 (P3A = 3,82, P3B = 1,37 e P3C = 1,5 g.dm⁻³). Portanto, quando analisado em termos de diferentes profundidades e entre os pontos amostrais, este parâmetro apresentou variações nos valores entre os diferentes perfis. As maiores concentrações foram identificadas na camada intermediária do sedimento (5 – 10 cm), seguida de uma redução progressiva à medida que se aumentou a profundidade (Figura 04C).

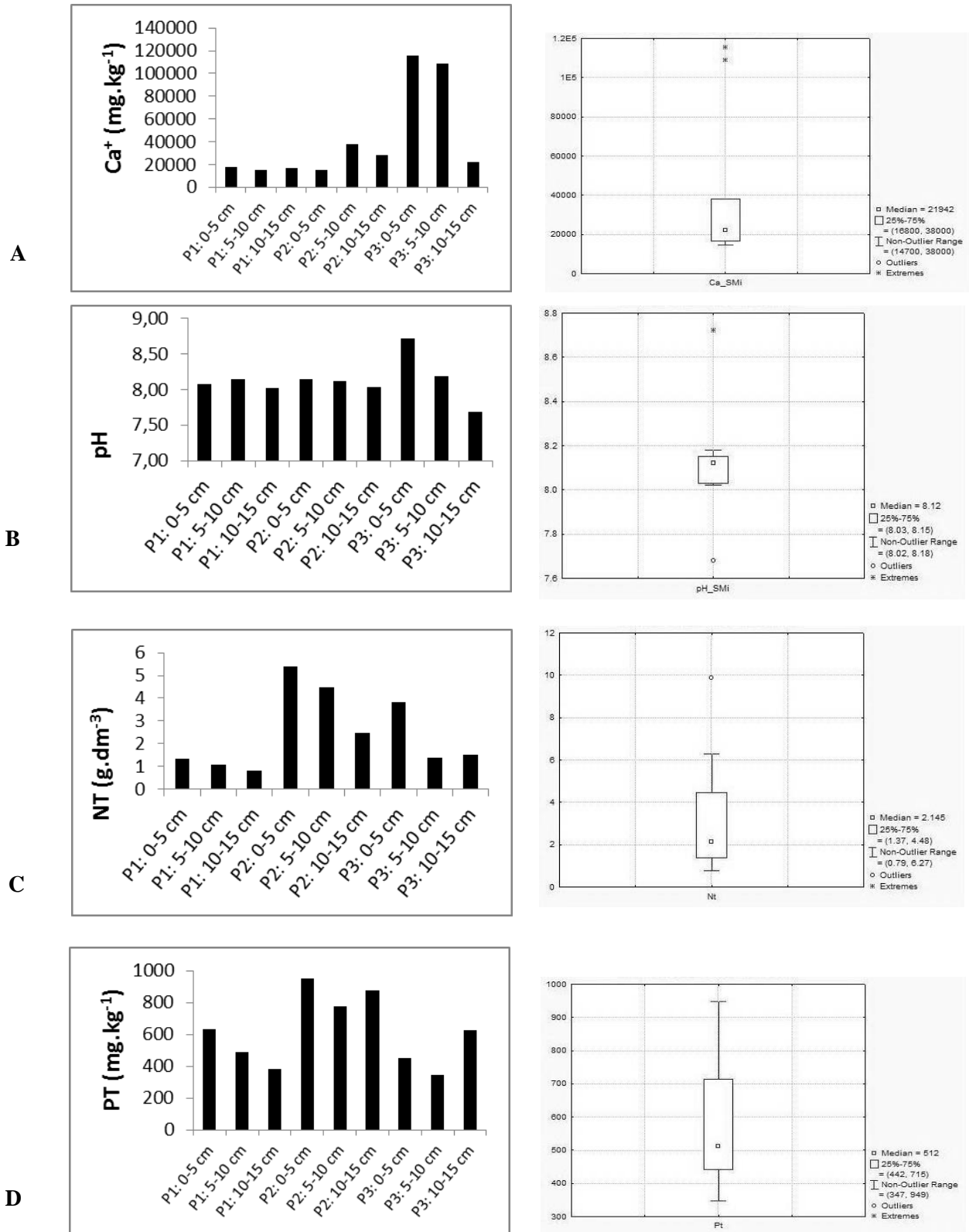


Figura 04. Variação dos teores do cálcio⁺(A), pH (B), nitrogênio (C) e fósforo total (D) nos sedimentos analisados nos sedimentos da Salina Miramar (Areia Branca-RN). **Fonte:** Elaborados pelos autores (2013)

Assim como o nitrogênio, os teores de fósforo total também apresentaram uma variação significativa porém sem associação entre as amostras ou correlação com a salinidade ($t_9 = 8,51$; $p < 0,05$; $R^2 = 0,00$; $R = -0,18$). No primeiro evaporador, os teores desse nutriente variaram entre 630 mg.kg^{-1} no perfil A (P1A), 489 no perfil B (P1B) e 382 mg.kg^{-1} no perfil C (P1C). Já no ponto 2, foram identificados os valores mais altos, chegando a 949 mg.kg^{-1} no primeiro perfil (P2A), seguido de 773 (P2B) e 875 mg.kg^{-1} (P2C), com valores intermediários no P3 (P3A = 451 , P3B = 347 e P3C = 625 mg.kg^{-1}). Os dados apresentaram uma variação entre os valores nos diferentes perfis, com as maiores concentrações identificadas na camada superficial do sedimento (0 – 5 cm) (Figura 04D).

A partir da análise estatística, os dados dos teores de carbono total também apresentaram uma variação significativa, porém como evidenciado nos demais parâmetros, não houve uma associação entre as amostras ou correlação com a salinidade ($t_9 = 6,48$; $p < 0,05$; $R^2 = 0,01$). No primeiro e no segundo evaporador, os teores desse parâmetro variaram gradativamente, identificando-se no ponto 1 valores entre $2,00 \text{ g.kg}^{-1}$ (P1A), $1,88$ no ponto 2 (P1B) e $1,51 \text{ g.kg}^{-1}$ no ponto 3 (P1C). Especificamente no ponto 2, registrou-se o teor de $5,20 \text{ g.kg}^{-1}$ no primeiro perfil (P2A), seguido de $4,61$ (P2B) e $2,69 \text{ g.kg}^{-1}$ (P2C), com valores um pouco abaixo no ponto 3 (P3A = $3,80$, P3B = $2,00$ e P3C = $2,20 \text{ g.kg}^{-1}$) (Figura 05A).

Associado aos valores de carbono total, foi avaliada a matéria orgânica encontrada nas amostras de sedimento nos pontos analisados, os quais apresentaram o mesmo padrão estatístico (variação significativa sem associação entre as amostras ou correlação com a salinidade) ($t_9 = 6,49$; $p < 0,05$; $R^2 = 0,01$). Os teores identificados no primeiro evaporador (P1) variaram entre $34,51 \text{ g.kg}^{-1}$ no perfil A (P1A), $32,48$ no B (P1B) e $26,07 \text{ g.kg}^{-1}$ no C (P1C). No ponto 2, foi identificado um aumento das concentrações de matéria orgânica para $89,58 \text{ g.kg}^{-1}$ no primeiro perfil (P2A), seguido de redução para $79,44$ (P2B) e $46,34 \text{ g.kg}^{-1}$ (P2C), com valores intermediários no P3, sendo $65,58 \text{ g.kg}^{-1}$ entre 0 e 5 cm (P3A), $34,55 \text{ g.kg}^{-1}$ entre 5 e 10 cm (P3B) e $37,86 \text{ g.kg}^{-1}$ entre 10 e 15 cm de profundidade (P3C) (Figura 05B).

Estes resultados quando testados através da Análise de Componentes Principais (Figura 06), todos esses parâmetros foram integrados em um primeiro eixo com $37,56\%$ e um segundo com $33,12\%$ ($p < 0,05$). No primeiro eixo, foi evidenciada uma relação positiva entre um primeiro grupo composto pelo Ca^{2+} , pH e areia *versus* o grupo formado por C, MO e N total, onde as demais frações granulométricas (silte e argila) pouco influenciaram, principalmente em relação à salinidade a partir do segundo eixo. Neste, apenas o P total apresentou uma fraca correlação com os teores de silte, onde não se verificou uma correlação positiva entre a salinidade e os teores de N total, C total e MO, indicando inclusive uma correlação negativa entre este grupo com o formado pelo pH, Ca^{2+} e areia.

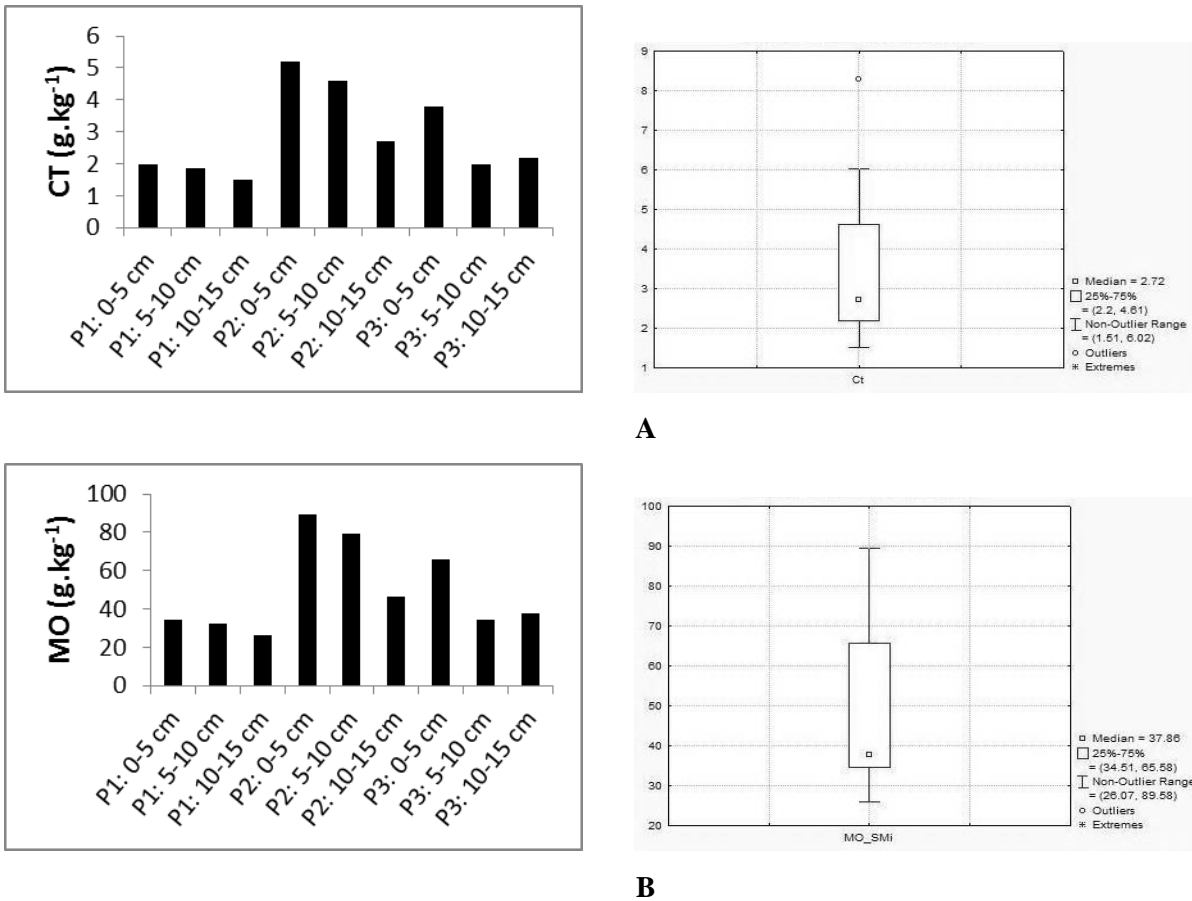


Figura 05. Variação dos teores de carbono total (A) e matéria orgânica (B) nos sedimentos analisados nos sedimentos da Salina Miramar (Areia Branca-RN). **Fonte:** Elaborados pelos autores (2013)

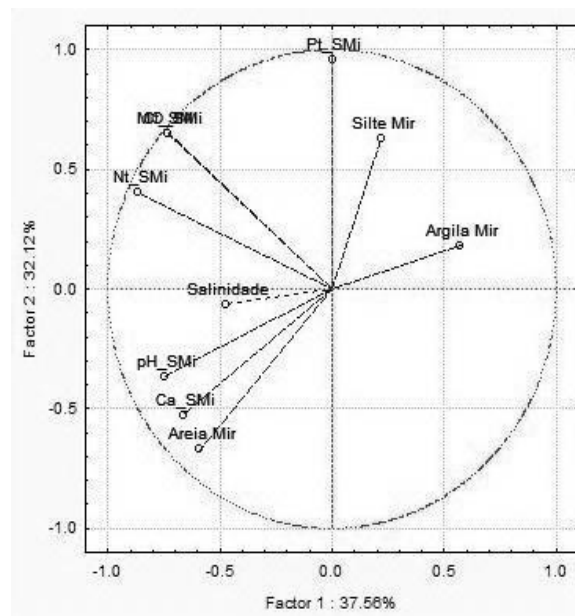


Figura 06. Gráficos da Análise de Componentes Principais realizada nos parâmetros determinados nas amostras de sedimentos analisados nos sedimentos da Salina Miramar (Areia Branca-RN). **Fonte:** Elaborados pelos autores (2013)

Conforme observado nos resultados, verificou-se que a Salina Miramar apresentou os maiores teores de carbono e matéria orgânica nas amostras analisadas, possivelmente derivados da fonte de captação estuarina. Assim como o carbono, o nitrogênio e fósforo total apresentaram concentrações sempre superiores nos evaporadores com salinidades entre 70 e 120 g.L⁻¹. Portanto, evidencia-se que nos ambientes analisados, as concentrações de nutrientes apresentaram uma saturação a partir do aumento da salinidade. Embora os valores de matéria orgânica e de carbono total sejam maiores da salina com captação estuarina, os perfis do primeiro evaporador foram semelhantes entre ambas as salinas do que entre os diferentes evaporadores analisados dentro da mesma salina.

Com relação aos valores de nitrogênio e fósforo totais, estes foram mais elevados que os obtidos em salinas da Índia por Ponnuchamy et al. (2006), onde variaram entre 0,05 a 1,17 g.kg⁻¹ e 4,03 a 18,6 mg.kg⁻¹, respectivamente. Já as concentrações de matéria orgânica e carbono total, apresentaram-se valores mais elevados nas salinas brasileiras em comparação com as salinas da Índia, 0,33 a 4,96 g.kg⁻¹ e 0,15 a 3,95 g.kg⁻¹, respectivamente, porém os valores de carbono total foram semelhantes aos encontrados por Shumilin et al. (2002) em uma salina no México (0,09 a 12,58 g.kg⁻¹). No caso especial das salinas indianas, os elevados valores dos nutrientes das salinas brasileiras são explicados pela granulometria dos sedimentos, onde as indianas apresentaram sedimento arenoso variando entre 90 e 95% (Ponnuchamy et al., 2006), enquanto que as salinas do Brasil e do México apresentaram sedimentos majoritariamente silto-argilosos (50 – 60%).

Especificamente quanto ao carbono, alguns autores afirmam que a natureza deste nutriente é ainda desconhecido (Canfield e Des Marais, 1993; Des Marais, 1995; Oren, 2009). Uma explicação alternativa para o carbono inesperado pode ser a subestimação da fotossíntese líquida pelo fluxo de oxigênio, medido pelo consumo de oxigênio por meio da oxidação de sulfuretos de metal acumulados durante a noite nas salinas (Wieland et al., 2005).

Verificou-se a apresentação de altos teores de Fósforo total - PT, Nitrogênio total - NT, Carbono total – CT, e Matéria Orgânica – MO, nas amostras analisadas no evaporador 2 (P2) com salinidade 70 g.L⁻¹, mais especificamente no perfil B (5 a 10 cm), o que pode ser devido à concentração por evaporação da água e a produtividade dos “*mats*” (Oren, 2009). Todavia, não se descarta a influência das aves aquáticas que são frequentemente encontradas em grandes números próximos aos evaporadores, pois os seus excrementos podem também aumentar a carga de nutrientes das salinas (e.g. Pedros-Alió et al., 2000; Masero, 2003; Takekawa et al., 2006; López et al., 2010).

4. CONCLUSÕES

A análise aplicada demonstrou que é possível identificar a partir de estudos geoquímicos que a mesma unidade hipersalina apresenta variações em relação ao padrão de acumulação de nutrientes nos sedimentos, sendo possível distinguir 03 setores com características distintas, principalmente em função da salinidade.

Dentro dos diferentes perfis analisados, verificou-se que as maiores concentrações de nutrientes foram predominantemente identificados nos sedimentos de superfície (5 a 10 cm) a salinidade de 70 g.L⁻¹. Tal fato demonstra exatamente que a redução da área e do volume a partir dos evaporadores iniciais determina que as concentrações de nutrientes sejam mais elevadas, todavia, podem influenciar diretamente na saturação destes.

Portanto, pode-se verificar que uma salina atua potencialmente como um ambiente de acumulação de nutrientes, em virtude de funcionarem ao longo de todo o ano captando a água eutrofizada dos estuários. Ao reterem parte destes nutrientes, impedindo-os de contribuir com o processo de eutrofização da zona costeira, esse serviço ecossistêmico deve ser considerado em função de crescente preocupação com a eutrofização nestas áreas, seguida de todos os efeitos danosos que este processo pode acarretar.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Monitoramento Ambiental (UFRN/CERES) e a EMPARN (Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte), pelo apoio instrumental, nos trabalhos de campo e de gabinete. A CAPES, pela concessão da bolsa de pesquisa doutoral para o primeiro autor (Proc. BEX. 5834/10-4). A Pró-Reitoria de Pesquisa da UFRN (Proc. PVF10463-2014) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (MCTI/CNPQ/Universal Proc.447227/2014-9), pelo apoio financeiro. A administração da Salina Miramar (Grupo NORSAL), pelo apoio e incentivo a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAAS-BECKING, L.G.M. Historical notes on salt and salt-manufacture. **Scient Mon.**, n. 32, p. 434-446, 1931.

CANFIELD, D.E. & DES MARAIS, D.J. Biogeochemical cycles of carbon, sulfur, and free oxygen in a microbial mat. **Geochim Cosmochim Acta**, n. 57, p.3971-3984,1993.

CLARKE, K.R. & GORLEY, R. N. PRIMER. User Manual/Tutorial. PRIMER-E, **Plymouth**, n.5, p. 91, 2001.

COPELAND, B.J. Environmental characteristics of hypersaline lagoons. **Texas University Contributions to Marine Science**, n. 12, p. 207-218, 1967.

DAVIS, J. Biological management for the nutrient-rich chinese solar saltworks. *In: International Symposium on Biotechnology of Saltponds*, China, Proceedings, 1990. 128-132 p.

DAVIS, J. Structure, function, and management of the biological system for seasonal solar saltworks. **Glob. Nest J**, n. 2 v. 3 p. 217-226. 2000.

DES MARAIS, D.J. The biogeochemistry of hypersaline microbial mats, *In*: JONES, J. G. (ed) **Advances in microbial ecology**. New York, Plenum Press, 1995. 251-274 p.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa do Solo/EMBRAPA, 1997. 212 p.

HARDLE, W. & SIMAR, L. **Applied multivariate statistical analysis**. 2 ed. Berlin: Springer, 2007. 455 p.

JOINT, I., HENRIKSEN, P., GARDE, K., RIEMANN, B. Primary production, nutrient assimilation and microzooplankton grazing along a hypersaline gradient. **FEMS Microbiol Ecol.**, n. 39, p.245–257, 2002.

LÓPEZ, E., AGUILERA, P.A., SCHMTZ, M.F., CASTRO, H ., PINEDA, F. D. Selection of ecological indicators for the conservation, management and monitoring of Mediterranean coastal salinas. **Environ. Monit. Assess**, n. 166, v. 3, p.241-256, 2010.

MASERO, J.A. Assessing alternative anthropogenic habitats for conserving waterbirds: Salinas as buffer areas against the impact of natural habitat loss for shorebirds. **Biodiversity and Conservation**, n.12, p.1157-1173, 2003.

OREN, A. Solar salterns. *In*: OREN, A. **Halophilic microorganisms and their environments cellular origin: Life in extreme habitats and astrobiology**, Amsterdã: SPRINGER, 2002. 593p.

OREN, A. Biotechnological applications and potentials of halophilic microorganism. *In*: OREN, A. **Halophilic microorganism and their environments cellular origin: Life in Extreme habitats an astrobiology**, Amsterdã: SPRINGER, 2002. 357-388 p.

OREN, A. Saltern evaporation ponds as model systems for the study of primary production processes under hypersaline conditions. **Aquat. Microb. Ecol.**, n.56, p.193-204, 2009.

PEDRÓS-ALIÓ, C., CALDERÓN-PAZ, J.I., MACLEAN, M.H., MEDINA, G., MARRASÉ, C., GASOL, J. M., GUIXA-BOIXEREU, N. The microbial food web along salinity gradients. **FEMS Microbiol Ecol.**, n.32, p.143-155, 2000.

PONNUCHAMY, K., RAHAMAN, A.A., ESSO, S. Solar Saltworks. *In: 1st International Conference on the Ecological Importance of Solar Saltworks (CEISSA 06)*. Santorini Island, Greece: Proceedings, 2006, 229-234 p.

SHUMILIN, E., GRAJEDA-MUÑOZ, M., SILVERBERG, N., SAPOZHNIKOV, D. Observations on trace element hypersaline geochemistry. Surficial deposits of evaporation ponds of Exportadora de Sal, Guerrero Negro, Baja California Sur, Mexico. **Marine Chemistry**, 2002, 133-153 p.

TAKEKAWA, J.Y., MILES, A.K., SCHOELLHAMER D.H. ET AL. Trophic structure and avian communities across a salinity gradient in evaporation ponds of the San Francisco Bay estuary. **Hydrobiologia**, n. 567, p. 307–327, 2006.

YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Comm. Soil Sci. Plant Anal**, n.19, p. 1467-1476, 1988.

WIELAND, A., ZOPFI, J., BENTHIEN, M., KÜHL, M. Biogeochemistry of an iron-rich hypersaline microbial mat (Camargue, France). **Microb. Ecol.**, n.49, p.34-49, 2005.

Recebido em: 13/03/2015

Aceito para publicação em: 09/06/2015