



FORMAÇÃO DE CROSTAS SALINAS NUMA ÁREA ÚMIDA COSTEIRA DO SUR DA PROVÍNCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA

Misseri Lucas ¹
Carol Eleonora ²
Alvarez María del Pilar ³
Wellington Ferreira da Silva Filho ⁴

RESUMO

Em zonas úmidas próximas ao litoral podem existir condições para a formação de crostas salinas que recobrem a superfície do solo. Sua formação determina não apenas as características do perfil do solo, mas também impacta fundamentalmente o desenvolvimento da vegetação e a qualidade das águas subterrâneas. Por esse motivo, o objetivo deste estudo foi estudar a influência de diferentes fatores como o clima, a dinâmica das marés, a distribuição das unidades geomorfológicas e os traços pedológicos na geração de crostas de sal na zona úmida costeira da Bahía San Blas, no extremo sul da província de Buenos Aires. Para tanto, foram analisados dados climáticos e registros de alturas de maré em combinação com a identificação de unidades geomorfológicas dentro da área úmida. Além disso, foi realizada a medição de condutividade elétrica em solos e a identificação de minerais evaporíticos. Os resultados mostram que há um período de déficit hídrico e outro de excesso ao longo do ano hidrológico. Por sua vez, a dinâmica das marés determina a existência de duas unidades geomorfológicas claramente diferenciadas: um setor de sapal alto e um setor de sapal baixo. Ao mesmo tempo, essas unidades apresentam variações texturais que são complementadas por fatores climáticos e geomorfológicos, resultando em maiores condutividades elétricas e precipitação de sais mais complexas no sapal alto em comparação ao sapal baixo.

INTRODUÇÃO

A formação de crostas salinas em zonas húmidas costeiras é uma questão relevante no contexto das alterações climáticas, uma vez que a sua presença pode indicar processos de salinização em solos e aquíferos, influenciados por sua vez por variações na dinâmica costeira. A salinização induzida por esses depósitos deriva da

¹ Centro de Estudios Integrales de la Dinámica Exógena – UNLP (Argentina), lucasmisseri1@gmail.com;

² Centro de Investigaciones Geológicas – UNLP - CONICET (Argentina), eleocarol@fnym.unlp.edu.ar;

³ Centro Nacional Patagónico - CONICET (Argentina), alvarez.maria@conicet.gov.ar

⁴ Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada, Universidade Federal do Ceará, welfer@ufc.br



contribuição de íons que eles geram a partir de sua dissolução, impactando também a distribuição das comunidades vegetais (Kovda *et al.* 1973).

As crostas salinas são definidas como acumulações de sais dispostas em camadas de espessura variável, cujo crescimento ocorre nos espaços intergranulares dos sedimentos ou sobre eles. Embora sua formação geralmente esteja associada à evaporação da água, ela responde a uma combinação de fatores que determinam a espessura, a morfologia, a composição e a distribuição das crostas. Elas predominem onde a água é escassa, mas também podem ocorrer em áreas úmidas como Bahía San Blas, no extremo sul da província de Buenos Aires.

A zona úmida é alimentada pelo Canal Jabalí, um grande canal de maré cujas margens abrangem um extenso sapal dominado por vegetação halófitas. Esse ambiente é limitado principalmente por cordões litorais, dunas e microfalésias. Nesses ambientes é comum encontrar crostas salinas, geralmente associadas ao topo de sequências pedo-sedimentares. Por sua vez, estudos geohidrológicos na região demonstraram que a composição da água subterrânea é influenciada pela dissolução de sais provenientes da infiltração da água das marés. (Misseri *et al.*, 2020)

O objetivo deste trabalho é estudar os fatores ambientais que influenciam a formação de crostas salinas nesta área úmida. Para tanto, foram analisados parâmetros climáticos, dados de marés, traços geomorfológicos e características do solo para determinar em que medida cada fator influencia a formação de crostas salinas.

METODOLOGIA (OU MATERIAIS E MÉTODOS)

A análise climática utilizou informações de estações meteorológicas pertencentes ao Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária (INTA) e dados de um pluviômetro doméstico. Foi realizada uma análise da série pluviométrica de 1984 a 2017 na Bahía San Blas, e a estação E.E.A. Valle Inferior del Río Negro foi selecionada por apresentar os dados térmicos mais próximos da Bahía San Blas e o registro mais longo. A evapotranspiração potencial foi calculada utilizando as temperaturas médias mensais, utilizando o método Thornthwaite-Mather (1957).

Para caracterizar as marés da região, trabalhou-se com dados de previsão para o porto de Bahía San Blas, fornecidos pelo Serviço de Hidrografia Naval (SHN), para o

período de 1986 a 2021. Com base nessa série temporal, foram calculadas as médias aritméticas das alturas mensais e anuais. As alturas das marés para o ano amostral de 2021 também foram plotadas. Em relação à geomorfologia, observações detalhadas foram realizadas utilizando o Google Earth e o trabalho de campo permitiu definir as unidades geomorfológicas, que foram posteriormente correlacionadas com estudos pedológicos. Dentre as observações de campo, foi dada especial atenção às feições que delimitam o sapal e à identificação de espécies vegetais diagnósticas desses ambientes. Além disso, amostragens sistemáticas foram realizadas a cada 20 m dos primeiros centímetros de solo ao longo de dois transectos do Canal Jabalí até o limite superior do sapal (Figura 1).

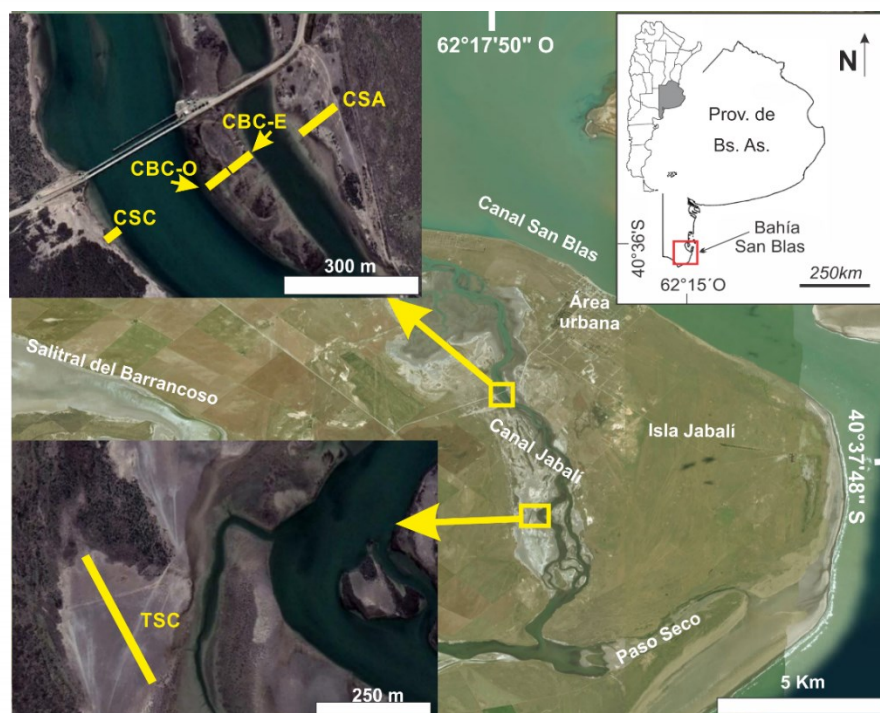


Figura 1. Localização da área de estudo e transectos para estudo de crostas salinas.

Para identificar variações espaciais na salinidade e na presença e tipos de sais, os seguintes foram determinados para cada amostra: distância do canal, textura, presença de crosta salina, mineralogia da crosta usando SEM e condutividade elétrica do extrato do solo. Além disso, novos extratos de saturação foram preparados a partir de todas as amostras, deixando-as em repouso por 24 horas. A condutividade elétrica (CE) foi então medida com um condutímetro Hanna, e os resultados foram plotados em função da distância do Canal Jabalí nos transectos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fatores climáticos

As variações pluviométricas intraanuais no gráfico da Figura 2 permitem diferenciar um período chuvoso de um período seco. O primeiro abrange de fevereiro a abril, com valores em fevereiro e março mais que o dobro dos demais meses, enquanto o período seco se estende de maio a janeiro, com a menor precipitação em junho, característica do Regime Atlântico. Vale ressaltar que, ao analisar o comportamento das chuvas de janeiro em nível regional, este se enquadra no período chuvoso. No entanto, neste estudo, ele está incluído no período seco, apesar de superar ligeiramente a média mensal histórica (média mensal de precipitação considerando todos os meses) de 38,8 mm, uma vez que a média deste mês provavelmente é influenciada por anos específicos com chuvas excepcionais.

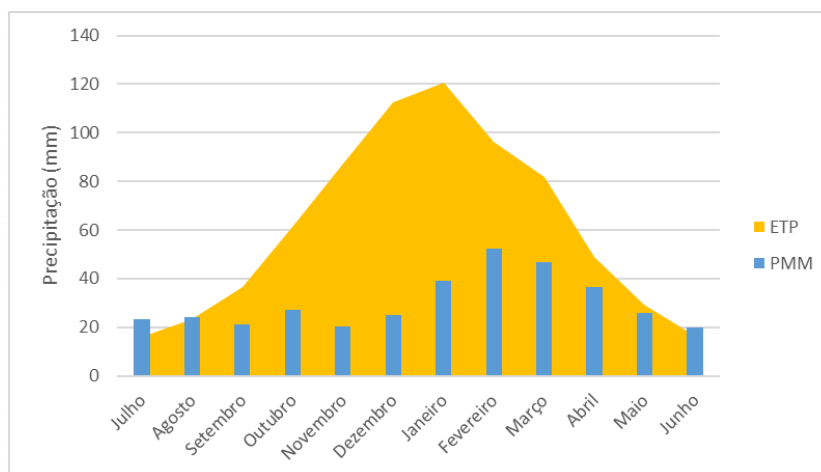


Figura 2. Precipitação média mensal (PMP) e evapotranspiração potencial (PET) para a cidade de Bahía San Blas no período de 1984-2017.

Os valores de evapotranspiração potencial (ETP) foram estimados em 731,1 mm/ano. Quando comparado à precipitação média mensal, observa-se que a ETP supera a precipitação média mensal na maior parte do ano, chegando a ser quase cinco vezes maior em dezembro. O oposto ocorre nos meses de inverno. De acordo com os parâmetros de precipitação média mensal e evapotranspiração potencial, os meses de novembro a janeiro são aqueles em que as crostas de sal teriam melhor desarrollo por ser los que muestran los mayores déficits hídricos en el orden de los 75 mm.

Fatores de maré

Os canais de maré são alimentados pelo Canal de San Blas, que banha a costa leste da Isla Jabalí. O principal canal de maré é o Canal de Jabalí, que em sua seção distal se ramifica para oeste em outros canais (Walker e Guanaco) e para leste, inundando a área de Paso Seco. O regime de maré é predominantemente semidiurno, com amplitude média de 1,62 m (SHN, 2022). A amplitude da maré está localizada no limite da micromarais-mesomareais. A altura da onda na maré baixa é de 0,1 m e o período é de 9 segundos, o que representa a entrada de ondas oceânicas na baía. No entanto, os ventos fortes comuns na região podem modificar as alturas e o tempo das marés. No Canal de San Blas, a altura média mensal da maré para o período de 1986 a 2021 é de 0,59 msnm, e a média anual é de 1,39 msnm. Ao longo de 2021, observa-se uma variação sinusoidal típica correspondente às mudanças sazonais, de modo que nos meses de junho-julho e dezembro-janeiro ocorrem alturas extremas com altura mínima de 0,02 m e altura máxima de 2,55 m (Figura 3).

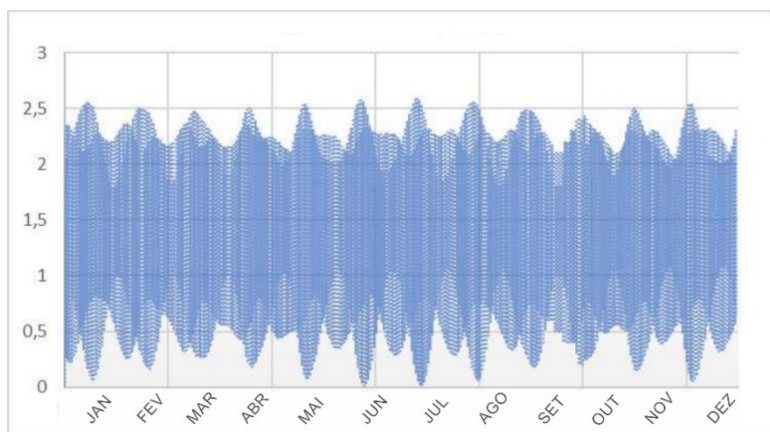


Figura 3. Alturas das marés para o ano 2021 para o porto de Bahía San Blas.

No Canal de Jabalí, há diferenças marcadas nas previsões de maré para o Canal de San Blas. Especialmente nos trechos distais do Canal de Jabalí, foram observados atrasos de até 7 horas na chegada da onda de maré e caudais mais baixos, o que impacta tanto o período de inundação da planície de maré quanto a altura da água. Como resultado, as áreas mais altas do sapal, e mais distantes da foz do canal, apresentam as melhores condições para a formação de crostas de sal, pois recebem menores volumes de água, facilitando sua evaporação.

Fatores geomorfológicos

Associados aos canais, encontram-se extensas planícies de maré, entre as quais se destacam as planícies predominantemente lamacentas, sendo limitadas por relevos mais elevados que obstruem o avanço da água nas marés crescentes. Sua extensão é determinada pelos níveis das planícies continentais e pelos flancos das cordões litorais, sejam eles holocênicos ou pleistocênicos. Sua textura silto-argilosa possivelmente se deve à baixa energia dos canais que é dissipada pela baixa declividade das margens e pelo atrito com a vegetação, levando à deposição de sedimentos mais finos e seu aprisionamento por plantas halófitas. Na superfície das planícies, crostas salinas podem ser vistas nos sedimentos finos ou nos tapetes microbianos que ocasionalmente os recobrem.

Combinando observações remotas e avaliações de campo, as planícies de maré descritas acima se estendem dos canais principais por uma distância entre 25 e 1.000 m. Nessa zona intermareal, distinguem-se uma planície de maré alta e uma planície de maré baixa, sendo a primeira atingida apenas durante a preamar de sizígia devido à sua posição topográfica mais elevada, enquanto a segunda, de menor altitude, é ocupada até mesmo por preamares de quadratura. Se a planície de maré estiver coberta por vegetação, ela é considerada um "sapal", e a respectiva diferenciação entre sapal baixos e altos pode ser feita com base nas comunidades vegetais que ali crescem (Figura 4). Assim, é comum encontrar *Spartina alterniflora* no sapal baixo, enquanto o sapal alto é geralmente ocupado por *Limonium brasilense*, *Sarcocornia perennis* e/ou *Spartina densiflora*.

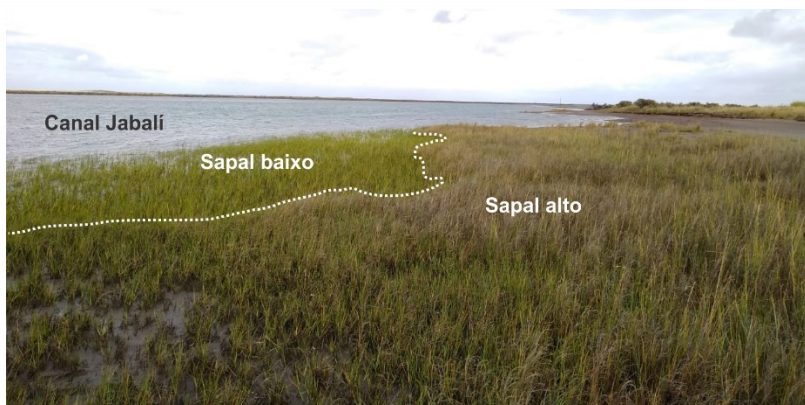


Figura 4. Planície de maré lamacenta colonizada por *Spartina Alterniflora* no sapal inferior e *Spartina densiflora* no sapal superior.

Fatores pedológicos

Para o estudo das crostas salinas, amostras de solo superficial com alta salinidade foram selecionadas para submeter seus extratos de saturação à evaporação. Em campo, precipitados salinos foram encontradas na superfície de vários perfis, aos quais foi atribuído o sufixo "z" devido à presença de sais mais solúveis que o gesso. Além disso, dois transectos foram traçados para estudar a CE da solução do solo nos horizontes superficiais que comumente apresentavam crostas salinas. A localização dos transectos pode ser vista na Figura 1.

- Transecta CS

Na margem oeste do Canal de Jabalí, foi pesquisada a seção CSC, que mostra uma clara tendência de aumento da salinidade à medida que os pontos se afastam do braço do canal (Figura 5a). A CE máxima coincide com o solo desenvolvido no sapal alto, com a área mais próxima do canal apresentando a CE mais baixa, embora o sapal baixo geralmente apresente valores de CE em torno de 5 mS/cm. Há também uma variação composicional, visto que uma composição predominantemente de cloreto de Sódio foi observada nos extratos próximos ao canal, e cristais de gesso foram reconhecidos na amostra mais distante (Figuras 5b e c).

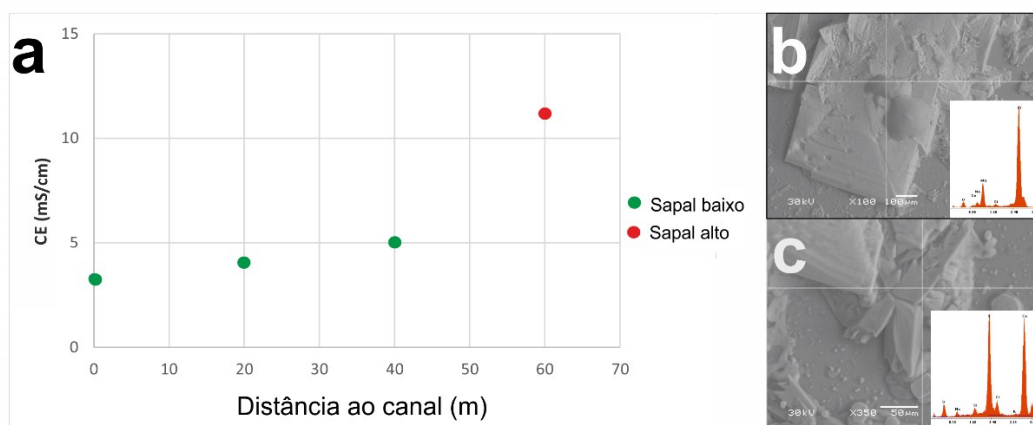


Figura 5. a. Variação horizontal de CE ao longo do transecto CSC. b. Formas de domo rico em magnésio. c. Cristais de gesso subédricos.

A seção CSB abrange a parte central, descrevendo valores de CE no pântano baixo que coincidem com os observados na seção anterior, com os valores mais altos também pertencendo ao pântano alto (Figura 6). A existência de dois setores de pântano

baixo é explicada pelo fato de esta seção pertencer a uma barra arenosa delimitada por dois ramos do Canal de Jabalí. Em relação à mineralogia, tanto halita quanto gesso foram encontrados associados a tapetes microbianos próximos ao ramo ocidental, enquanto no pântano baixo oriental prevalece a composição halítica (Figura 7a e b).

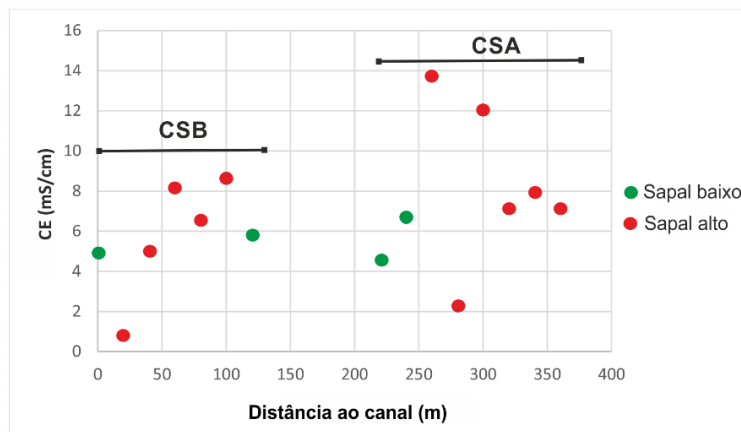


Figura 6. Variação horizontal de CE nos transectos CSA e CSB, mostrando a variação de CE com a distância do braço ocidental do canal Jabalí.

Ao longo da seção da margem leste, o transecto CSA apresenta registros de CE para o pântano baixo semelhantes aos das outras seções, superado pelo sapal alto, que exhibe os valores mais altos do transecto CS, com 13,7 mS/cm. Surpreendentemente, tanto nesta seção quanto no CSB, os valores de CE de superfície são muito baixos no sapal alto. Isso pode ser devido ao fato de esses pontos estarem protegidos da vegetação, o que reduz a evaporação. Mineralogicamente, a halita predomina no sapal baixo, enquanto misturas de outros sais ricos em sulfatos aparecem na amostra mais distante do canal (Figura 7c e d).

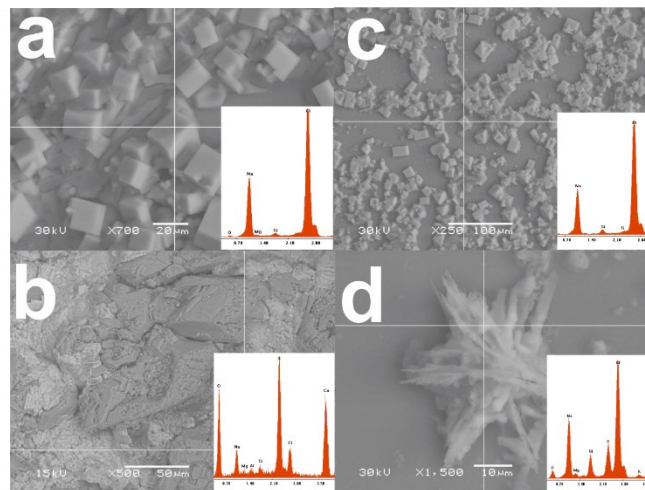


Figura 7. a. Cristais cúbicos de halita no transecto CSB. b. Cristais subédricos de gesso em tapetes microbianos no transecto CSB. c. Cristais de halita no transecto CSA. d. Misturas de halita e sulfatos de cálcio também no transecto CSA.

- Transecto TCS

A amostragem foi realizada na seção distal do canal de Jabali, localizado inteiramente dentro do sapal alto. Aqui não foi observada relação entre o CE e a distância até o degrau limitante do pântano alto, mas sim um alinhamento dos registros em torno de 15 mS/cm² (Figura 8a). Assim, os horizontes deste transecto são mais salinos que os do transecto CS, mesmo apresentando o maior valor em quase 20 mS/cm². Finalmente, ao longo do transecto, observa-se cristalização de halita, acompanhada de gesso na amostra mais distante do curso da maré, sendo observados apenas halita na mais próxima (Figura 8b e c).

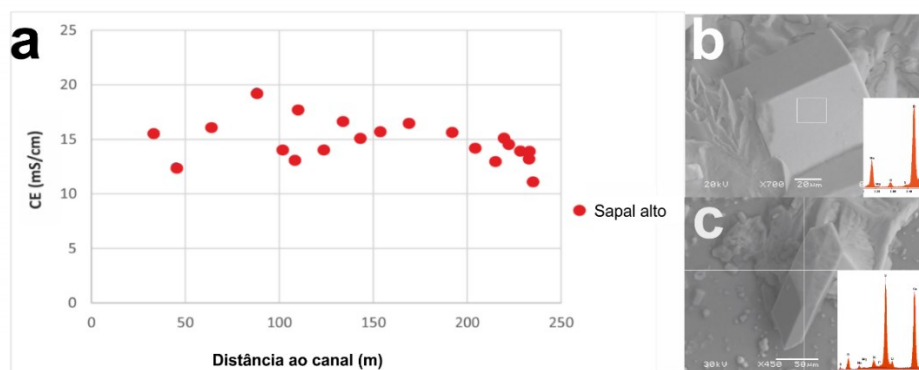


Figura 8. a. Variação horizontal de CE ao longo do transecto TCS. b. Cristal de halita cúbica. c. Cristais de gesso euédrico.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

A zona úmida costeira da Baía de San Blas possui um clima semiárido, onde as melhores condições para a formação de crostas salinas ocorrem entre os meses de novembro e janeiro, quando a escassez de água é maior. Em particular, as áreas entremarés mais distantes da foz do Canal de Jabalí apresentam períodos de inundação mais curtos devido ao padrão de ondas de maré retardadas, o que favorece a evaporação.

As unidades geomorfológicas dominantes são planícies de maré lamosas, sobrepostas pelo desenvolvimento de sapais colonizados por vegetação halófitas, permitindo a diferenciação entre setores de sapais baixos e altos. Por sua vez, os solos dos setores topograficamente mais elevados apresentam salinização mais avançada, tanto devido às maiores condutividades elétricas quanto à composição mais complexa dos sais precipitados, compostos principalmente por misturas de sulfatos, enquanto os cloretos predominam no sapal baixo.

Palavras-chave: Sapal, Salinização, Evaporitos, Semi-árido, Intertidal

REFERÊNCIAS

KOVDA, V. A.; VAN DER BERG, C.; HAGAN, R. M. **Irrigation, drainage and salinity**. Hutchinson, FAO, Unesco, Ed. London. 1973.

MISSERI, L.; CELLONE, F. A.; BOUZA, P. J.; ALVAREZ, M. P.; CAROL, E. S. 2020. Geohidrología de un sector de la marisma de Bahía San Blas. **Revista del Museo de La Plata**, V. 5, No. 2, P. 500-509, 2020.

SERVICIO DE HIDROGRAFÍA NAVAL (SHN). Datos abiertos – **Tábua de maré**. Disponível em: http://www.hidro.gov.ar/oceanografia/Tmareas/Form_Tmareas.asp. Acesso em: 22 jul. 2022.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, R. J. **Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and water balance**. Centerton, 1957.