

ÍNDICE DE DIFERENÇA NORMALIZADA PARA AVALIAÇÃO DA SALINIZAÇÃO EM SOLOS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Francelita Coelho Castro ¹
Antonio Marcos dos Santos ²
Flávio Rodrigues do Nascimento ³
Rodrigo José de Carvalho Lopes ⁴

RESUMO

Os solos é um dos sistemas ambientais mais atingidos por processos de degradação apresentando diversos processos de degradação, dentre esses, a salinização. Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar a potencialidade de informações espectrais para estimativa da salinidade em solos do semiárido brasileiro. Para isto, foram coletadas 18 amostras de solos, em uma comunidade rural quilombola no semiárido brasileiro, as quais foram submetidas ao teste de Condutividade Elétrica e, posteriormente extraídas valores de reflectância em diferentes faixas espectrais a partir do uso de um espectralradiômetro. A partir de testes estatísticos, foi possível identificar que o uso dos valores de reflectância dos solos nas faixas espectrais entre 1450 a 1455nm e, entre 1945 a 1950nm são indicadas para identificação/monitoramento de solos com presença de sais nas superfícies. As análises hiperspectrais apresentam altos potenciais, mas não substitui os estudos de campo e as tradicionais análises de solos em laboratório.

Palavras-chave: Degradação de terras secas, Geopedologia, Dado hiperspectral.

ABSTRACT

Soil is one of the environmental systems most affected by degradation processes, presenting several degradation processes, including salinization. In this context, this summary aims to analyze the potential of spectral information for estimating salinity in soils in the Brazilian semi-arid region. For this, 18 soil samples were collected in a rural quilombola community in the Brazilian semi-arid region, which were subjected to the Electrical Conductivity test and subsequently extracted reflectance values in different spectral bands using a spectroradiometer. From statistical tests, it was possible to identify that the use of soil reflectance values in the spectral bands between 1450 and 1455nm and between 1945 and 1950nm are indicated for identifying/monitoring soils with the presence of salts on the surfaces. Hyperspectral analyzes have high potential, but they do not replace field studies and traditional laboratory soil analyses.

Keywords: Dry land degradation, Geopedology, Hyperspectral data.

INTRODUÇÃO

¹ Doutoranda em Geografia da Universidade Federal do Ceará- UFC, francelittacastro@gmail.com;

² Doutor em Geografia e Docente do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade de Pernambuco - UPE, antonio.santos@upe.br;

³ Doutor em Geografia e Docente do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará - UFC, flaviogeo@ufc.br;

⁴ Doutorando em Geografia da Universidade Federal de Goiás - UFG, rdg_jose@hotmail.com.

Os processos de degradação que atingem os sistemas ambientais são diversos, contribuindo para perdas de biodiversidade, causando perdas nas mais diferentes áreas ambientais, e os solos é um dos que mais apresentam problemas com degradação. Os solos apresentam diversos processos de degradação, de acordo com a FAO (2015) os principais são: erosão, compactação e degradação física, acidificação, poluição e salinização dos solos. Dentre esses, a salinização dos solos consiste no acúmulo de sais solúveis nas camadas agricultáveis dos solos (Ribeiro, Ribeiro Filho e Jocomine, 2016; Fu *et al.*, 2020; Sahab *et al.*, 2021; Shi *et al.*, 2021). Causando perdas de produtividade das culturas agrícolas impactando a saúde ambiental e humana e a prosperidade econômica (Stan *et al.*, 2022).

O acúmulo de sais nos solos é em decorrência de uma combinação de fatores naturais e humanos, sendo precipitação pluviométrica limitada, elevada evapotranspiração, lençóis freáticos rasos, solos com deficiência de drenagem e rasos (Pedrotti *et al.*, 2015; Ribeiro, Ribeiro Filho e Jocomine, 2016). Como também por contribuição de práticas humanas como irrigação mal administrada, utilização de água com valores significativos de sais, drenagem deficiente, aplicação de agroquímicos e fertilizantes (Ribeiro, Ribeiro Filho e Jocomine, 2016; Kanzari *et al.*, 2021).

A salinização proporciona a degradação das propriedades biológicas, químicas e físicas dos solos (Fu *et al.*, 2020; Amini *et al.*, 2016; Kanzari *et al.*, 2018). As consequências desta degradação nas propriedades dos solos são a diminuição da sua fertilidade, redução do rendimento das culturas e, por vezes, ao desaparecimento da cobertura vegetal natural (Kanzari *et al.*, 2018), essa última consequência citada é observado no Projeto Senador Nilo Coelho, N-11, semiárido brasileiro com a vegetação de Caatinga (Santos, Souza e Castro, 2018).

Para determinação da presença de sais solúveis nos solos existe o método tradicional da condutividade elétrica (CE) que consiste na expressão numérica da capacidade de um meio de conduzir corrente elétrica, sendo usada como uma expressão da concentração total de sais dissolvida em uma amostra aquosa (Freire, Pessoa e Gheyi, 2016; Kargas *et al.*, 2018) que necessita da realização de coletas de solos em campo e procedimentos em laboratório e por isso é considerado trabalhoso (Freire, Pessoa e Gheyi, 2016; Kargas *et al.*, 2018; Seo *et al.*, 2022).

No entanto, nos últimos anos vem sendo desenvolvido métodos para determinação de da salinização dos solos através do sensoriamento remoto. De acordo com Zhang *et al.* (2023) tal método apresenta vantagens como menores custos de mão de obra e de materiais, obtenção de dados de áreas que os humanos não podem alcançar, fornece métodos de detecção eficiente para monitoramento da dinâmica do acúmulo de sais proporcionando atender às necessidades

práticas de informações de gerenciamento de terras salino-sódicas e planejamento de desenvolvimento regional sustentável.

E segundo Sahbeni *et al.* (2023) os dados de sensoriamento remoto vêm sendo aprimorados em termos de resoluções espaço-temporais e integrados com técnicas analíticas robustas tem se mostrado uma grande promessa no mapeamento da salinização, conforme sugerido por muitos pesquisadores, permitindo monitorar mudanças no interior e identificar padrões de salinidade em várias escalas espaciais.

Diante do anteriormente exposto o presente trabalho tem como objetivo analisar a potencialidade de informações espectrais para estimativa da salinidade em solos do semiárido brasileiro. Para isto, foram testadas combinações de faixas espectrais a partir da base de um índice de diferença normalizada.

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização e localização da área de estudo

A área locus para realização do estudo foi a comunidade quilombola de Cupira localizada à cerca de 14 km da sede do município de Santa Maria da Boa Vista, semiárido do estado de Pernambuco, nas margens do Rio São Francisco. A comunidade foi reconhecida como comunidade quilombola em 2008 pela Fundação Cultural Palmares (Castro, Santos e Araújo, 2021), vide figura 1.

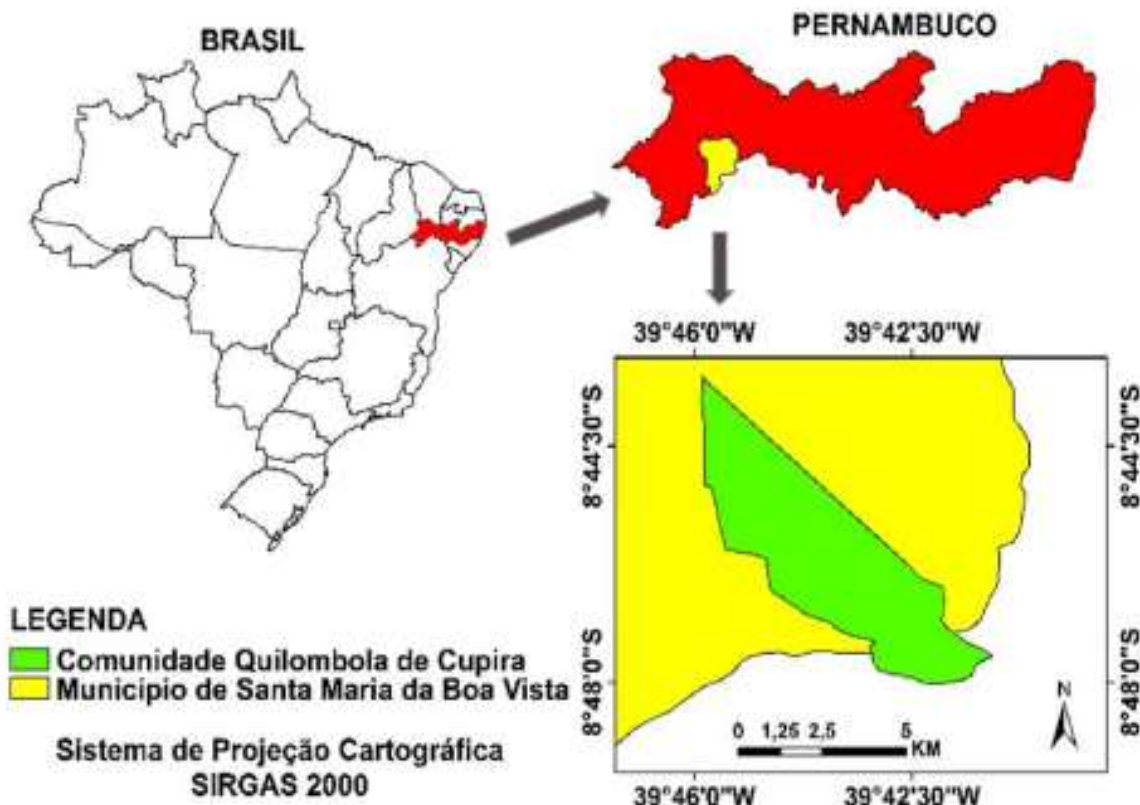


Figura 1: Localização da comunidade quilombola de Cupira -Santa Maria da Boa Vista –Pernambuco
Fonte: Castro, Santos, Araujo, 2021.

O município de Santa Maria da Boa Vista, no qual está inserido a comunidade onde foi desenvolvido o estudo, possui 40.578 habitantes, com densidade demográfica de 13,52 hab/km² (IBGE, 2022). O clima é o Tropical Semiárido, com temperaturas médias de 28°C, período de chuva entre os meses de novembro e abril e com média pluviométrica anual de 431,8mm (Beltrão *et al.*, 2005).

Procedimentos Metodológicos

Para realização do presente trabalho foram necessárias visitas a campo para coletas de amostras de solos, análises químicas e espectrais das amostras de solos em laboratório e análises estatísticas.

O primeiro passo foi a realização da escolha dos pontos dentro da área de estudo para realização das coletas das amostras de solos. Para isso, foi utilizado o software R e aplicado o método estatístico de Hipercubo Latino com o aporte dos dados sobre os tipos de solos, declividade do terreno, uso e cobertura das terras e susceptibilidade ambiental ao acúmulo de sais, informações essas retiradas do trabalho de Castro, Araújo e Santos (2019).

Após a escolha dos 18 pontos de coleta, foi realizado em campo as coletas das amostras de solo. Seguindo a metodologia proposta no “Manual de procedimentos de coleta de amostras em áreas agrícolas para análise da qualidade ambiental: solo, água e sedimentos”, desenvolvido por Filizola *et al.* (2006) foram abertos 4 perfis de 0-30cm de profundidade, os materiais coletados foram misturados em sacolas plásticas, indicando assim, a representatividade da localidade.

Em seguida, as amostras foram conduzidas para o laboratório para teste de CE e espectrais, neste último, as análises foram realizadas a partir de materiais depositados em lâminas planisféricas, e em seguida, examinadas através do espectroradiômetro IRIS (Infra-Red Intelligent Spectroradiometer) com resolução espectral de 2nm entre 350 e 2450nm. Também foram submetidas a análises de Condutividade elétrica (CE) de acordo com metodologia do Manual de Métodos de Análise de Solos (EMBRAPA, 2017).

Com os resultados de CE das amostras de solo, as mesmas foram classificadas quanto a salinização de acordo com as classes apresentadas no quadro 1.

Quadro 1: Classes de salinidade das águas em relação aos efeitos na cobertura vegetal

CE (dS m^{-1}) solo	Classes
<2	Não salino
2 – 4	Ligeiramente salino
4 – 8	Moderadamente salino
8 – 16	Altamente salino
>16	Extremamente salino

Fonte: Richards (1954).

Após análise laboratorial dos solos, os dados de CE foram submetidos a análise de normalidade com $\alpha = 0,05$ (5% de significância) utilizando os testes de Anderson-Darling, Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk. Os testes indicaram que as amostras de CE dos solos não apresentaram normalidade e, conseqüentemente os valores foram transformados pelo logaritmo natural (ln) com o intuito de tornar a CE variável normal. Neste contexto, os modelos estáticos foram confeccionados usando os logaritmos naturais da CE.

Após ajustados os valores de CE das amostras de solos, o próximo passo foi a montagem do modelo matemático, o qual foi baseado na diferença normalizada entre distintas faixas espectrais do espectroradiômetro levando em consideração as melhores correlações de Pearson entre os valores de CE com as faixas espectrais.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, vale destacar que ao submeterem os valores de CE (Quadro 2) aos testes de normalidade de Anderson-Darling, Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk, os valores foram: 0,032; 0,0006 e 0,0007, respectivamente. Ou seja, os valores dos testes foram menores que o nível de significância. Com isto, os valores de CE não seguem uma distribuição normal em seus valores, sendo ajustados a partir do logaritmo natural ($\ln CE$) para permitir os testes de correlação com os dados espectrais, que serão apresentados posteriormente.

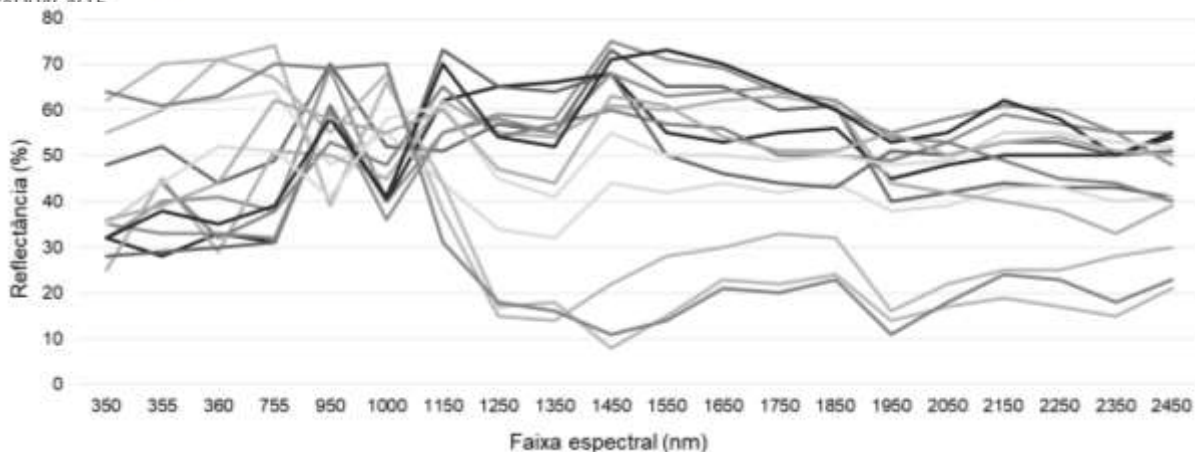
Quadro 2: resultados de CE das amostras de solos

Amostras	CE (dSm^{-1})
1	1,23
2	6,81
3	5,14
4	58,64
5	0,56
6	1,07
7	25,8
8	0,9
9	8,29
10	3,89
11	3,69
12	1,1
13	29,84
14	0,87
15	0,47
16	3,02
17	4,37
18	11,43

Fonte: autores, 2023.

Entre os intervalos espectrais que apresentaram as maiores reflectâncias (figura 2), a faixa entre 1450 a 1455nm, classificada aqui como faixa 1, obteve melhores correlação estatísticas com o $\ln CE$, no valor de 0,86. Destacando que, quanto maior as concentrações de sais menor a reflectância desses solos nesta faixa.

Figura 2: curvas espectrais das amostras de solos obtidas através do espectroradiômetro IRIS



Fonte: autores, 2023.

Entre os intervalos que apresentaram maiores absorções de energia (figura 2), a faixa 1945 a 1950nm apresentou melhor correlação com o ln CE, valor de -0,88, classificada aqui como faixa 2. A correlação foi negativa devido, nesta faixa, a presença de sais absorver radiação eletromagnética em elevada quantidade e, conseqüentemente quanto maior o CE maior a absorção de energia.

Após a identificação das faixas espectrais que conseguem representar a relação entre as concentrações de sais (obtida através da ln CE), o próximo passo foi desenvolver e avaliar um índice de diferença normalizada aplicado à identificação da concentração de sais nos solos (Equação 1).

$$NDSI = \left(\frac{F1 - F2}{F1 + F2} \right)$$

Equação 1.

Empregando a faixa espectral 1 e a faixa espectral 2, foi calculado para todos os 18 pontos amostrais de solos o NDSI (Índice de Salinização por Diferença Normalizada) apresentado na equação 1. O resultado variou de 0,08 à 0,65 para áreas com menores concentrações de sais e de 0,66 à 0,96 para as áreas com maiores concentrações de sais. Ao correlacionar os valores de NDSI com os ln CE o resultado obtido foi de 0,92, ou seja, correlação de Pearson considerada alta o que habilita este índice como recurso complementar na identificação da presença de sais nas superfícies dos solos.

Poucos estudos utilizam índices espectrais obtidos a partir de espectroradiômetros para identificação da presença de sais nos solos, a maioria emprega apenas uma faixa espectral, principalmente, a faixa 1945 a 1950nm. Podemos citar os estudos de Farifteh *et al.* (2008),



Pessoa *et al.* (2016), Castro (2018). Ambos apresentaram a eficácia desta faixa para detecção de sais nas superfícies dos solos de ambientes semiáridos e áridos.

Quanto ao Índice de Salinização por Diferença Normalizada, com uso de faixas espectrais é algo raro. O que temos na literatura é o uso deste índice, porém a partir de informações espectrais obtidas por sensores imageadores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Entre todos os intervalos espectrais possíveis de obtenção de dados pelo espectroradiômetro as faixas correspondentes aos intervalos entre 1450 a 1455nm e entre 1945 a 1950nm foram as que apresentam melhores correlações com os resultados da Condutividade Elétrica dos solos. Conseqüentemente, estas faixas foram utilizadas no Índice de Salinização por Diferença Normalizada e, seus resultados apresentaram correlação de 0,92.

O estudo teve como foco principal solos de ambientes semiáridos, e amostras com diferentes concentrações de sais. Acrescenta-se que as faixas espectrais empregadas reveem como instrumento o sensor de um espectroradiômetro e não de um sensor acoplado a plataformas aéreas e orbitais. Situação que impedem reaplicação da equação final em estudos com sensores acopladas as citadas plataformas.

Novos estudos deverão ser desenvolvidos para aprimorar as análises assim como, testar outros resultados. Indiretamente, as análises hiperespectrais apresentam altos potenciais para levantamento de informações em área de difícil acesso para coleta de campo assim como auxiliar estudos de laboratório. Porém, ela não substitui os estudos de campo e as tradicionais análises de solos em laboratório.

REFERÊNCIAS

AMINI, S.; GHADIRI, H.; CHEN, C.; MARSEHNER, P. Salt-affected soils, reclamation, carbon dynamics, and biochar: a review. **Journal of Soils and Sediments**, v.16, p.939–953, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11368-015-1293-1>.

BELTRÃO, B.A.; MASCARENHAS, J. C.; MIRANDA, J. L. F.; JUNIOR, L. C. S.; GALVÃO, M. J. T. G.; PEREIRA, S. N. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Petrolina, estado de Pernambuco**. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

CASTRO, F. C. **Salinização de solos em comunidade tradicional - subsídios à gestão**

socioambiental. 84f. Trabalho de conclusão de curso (Dissertação) do mestrado em Ecologia Humana e Gestão Socioambiental. Juazeiro: UNEB, 2018.

CASTRO, F. C.; ARAUJO, J. F.; SANTOS, A. M. Susceptibility to soil salinization in the quilombola community of Cupira - Santa Maria da Boa Vista - Pernambuco – Brazil.

CATENA, v.179, p.175-183, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.04.005>.

CASTRO, F. C.; SANTOS, A. M.; ARAÚJO, J. F. Salinização dos Solos e Práticas Agrícolas na Comunidade Quilombola de Cupira em Santa Maria da Boa Vista, Pernambuco - Nordeste do Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 41, p. 1-12, 2021.

<https://doi.org/10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2021.174478>.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análises de solo**. 3ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2017. 574p.

FAO. ITPS. **Status of the World's Soil Resources (SWRS) – Main Report**. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy, 2015.

FARIFTEH, J.; VAN DER MEER, F.; VAN DER MEIJDE, M.; ATZBERGER, C. Spectral characteristics of salt-affected soils: a laboratory experiment. **Geoderma**, p.196–206, 2008.

FILIZOLA, H. F.; GOMES, M. A. F.; SOUZA, M. D. **Manual de procedimentos de coleta de amostras em áreas agrícolas para análise da qualidade ambiental: solo, água e sedimentos**. EMBRAPA: Jaguariúna, 2006. 169p.

FREIRE, M. B. G. S.; PESSOA, L. G. M.; GHEYI, H.R. Métodos de análises químicas para solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (Orgs.) **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2016, p.123-148.

FU, Z.; WANG, P.; SUN, J.; LU, Z.; YANG, H.; LIU, J.; XIA, J.; LI, T. Composition, seasonal variation, and salinization characteristics of soil salinity in the Chenier Island of the Yellow River Delta. **Global Ecology and Conservation**, v.24, p. 1-11, 2020.

<https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01318>.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE Cidades**. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/dormentes/panorama>. Acesso em: 18 jul. 2023.

KANZARI, S.; JAZIRI, R.; ALI, K. B.; DAGHARI, I. Long-term evaluation of soil salinization risks under different climate change scenarios in a semi-arid region of Tunisia. **Water Supply**, v.21, p. 2463-2476, 2021. <https://doi.org/10.2166/ws.2021.052>.

KARGAS, G.; CHATZIGIAKOUMIS, I.; KOLLIAS, A.; SPILIOTIS, D.; KERKIDES, P. An Investigation of the Relationship between the Electrical Conductivity of the Soil Saturated Paste Extract EC_e with the Respective Values of the Mass Soil/Water Ratios 1:1 and 1:5 (EC_{1:1} and EC_{1:5}). **Proceedings**. v.2, p.1-8, 2018.

<https://doi.org/10.3390/proceedings2110661>.

PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; PRATA, A. P. N.; LUCAS, A. A. T.; SANTOS, P. B.; Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria**, v.19, n. 2, p. 1308-1324, 2015. <https://doi.org/10.5902/2236117016544>.

PESSOA, L. G. M.; FREIRE, M. B. G. D. S.; WILCOX, B. P.; GREEN, C. H. M.; ARAÚJO, R. J. T.; FILHO, J. C. A. Spectral reflectance characteristics of soils in northeastern Brazil as influenced by salinity levels. **Environmental monitoring and assessment**, p.1-11, 2016.

RIBEIRO, M. R; RIBEIRO FILHO, M. R; JACOMINE, P. K. T. Origem e classificação dos solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (Orgs.) **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2016, p.9-16.

SAHAB, S.; SUHANI, I.; SRIVASTAVA, V.; CHAUHAN, P. S.; SINGH, R.P.; PRASAD, V. Potential risk assessment of soil salinity to agroecosystem sustainability: Current status and management strategies. **Science of the Total Environment**, v.764, p.1-15, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144164>.

SAHBENI, G.; NGABIRE, M.; MUSYIMI, P. K.; SZÉKELY, B. Challenges and Opportunities in Remote Sensing for Soil Salinization Mapping and Monitoring: A Review. **Remote Sensing**, v.15, p.1-20, 2023. <https://doi.org/10.3390/rs15102540>.

SEO, B.; JEONG, Y.; BAEK, N.; PARK, H.; YANG, H.; PARK, S.; CHOI, W. Soil texture affects the conversion factor of electrical conductivity from 1:5 soil-water to saturated paste extracts. **Soil Science Society of China**, v. 32, p. 905–915, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.pedsph.2022.06.023>.

SHI, X.; WANG, H.; SONG, J.; LV, X.; LI, W.; LI, B.; SHI, J. Impact of saline soil improvement measures on salt content in the abandonment-reclamation process. **Soil & Tillage Research**, v.208, p.1-11, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104867>.

STAN, C. O.; PÎRNAU, R. G.; ROSCA, B.; SIRBU-RADASANU, D. S. Risk of Salinization in the Agricultural Soils of Semi-Arid Regions: A Case Study from Moldavian Plain (NE Romania). **Sustainability**, v.14, p.1-17, 2022. <https://doi.org/10.3390/su142417056>.

ZHANG, Z.; FAN, Y.; ZHANG, A.; JIAO, Z. Baseline-Based Soil Salinity Index (BSSI): A Novel Remote Sensing Monitoring Method of Soil Salinization. **Journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing**, v.16, p. 202-214, 2023. <http://dx.doi.org/10.1109/JSTARS.2022.3223935>.