

CARACTERIZAÇÃO, DIAGNÓSTICO E MAPEAMENTO DE SOLOS AFETADOS POR SAIS NO PERÍMETRO IRRIGADO BAIXO-AÇU

Artênio Cabral Barreto¹, Jader Felipe Araújo Justo², Jucirema Ferreira da Silva³

Miguel Ferreira Neto⁴, Ronaldo Pereira da Silva⁵

RESUMO: A salinização do solo é um dos principais problemas socioambientais em regiões áridas e semiáridas com efeitos graves sobre a produtividade agrícola e o desenvolvimento sustentável em longo prazo. O presente estudo teve como objetivo identificar o índice espectral que melhor estima a salinidade do solo na área do perímetro irrigado do Baixo-Açu e esclarecer de que maneira a vegetação em superfície e a resolução espacial das imagens de satélites influenciam os resultados e realizar a classificação dos solos em áreas cultivadas com banana, abóbora e mata nativa. Para isto, foram utilizadas 42 amostras de solo nos quais se determinou a Condutividade Elétrica – CE que foram correlacionadas com 20 índices espectrais de salinidade. Para a classificação, realizou-se abertura de trincheiras afim de descrever o solo morfologicamente, onde foram realizadas coletas nas profundidades de 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 e as amostras levadas a laboratório. Os quatro índices (SI1, SI2, SI3 e BI) que apresentaram os melhores resultados (acima de 79% de correlação) foram os que possuíam na sua composição as bandas Red, Green e NIR, com presença da banda Red em todos eles. Quanto a classificação, o mesmo foi caracterizado como Cambissolo Háplico Carbonático solódico na área em que houve cultivo com banana (pousio 24 meses) e abóbora (pousio 12 meses). O índice SI1 foi o que obteve a melhor correlação entre os índices testados para a área de estudo. Quanto as áreas cultivadas com banana e abóbora o solo apresentou caráter solódico, diferentemente da condição apresentada pela área de banana cultivada e de mata nativa.

PALAVRAS-CHAVE: Condutividade elétrica, sensoriamento, salinidade

¹ Doutor em Manejo de Solo e Água – Universidade Federal Rural do Semiárido

² Mestrando em Manejo de Solo e Água – Universidade Federal Rural do Semiárido

³ Doutoranda em Manejo de Solo e Água – Universidade Federal Rural do Semiárido

⁴ Professor Associado Dep. de Agronomia – Universidade Federal Rural do Semiárido

⁵ Pesquisador Embrapa Solos – Rio de Janeiro

CHARACTERIZATION, DIAGNOSIS AND MAPPING OF SALT-AFFECTED SOILS IN IRRIGATED PERIMETER BAIXO-AÇU

ABSTRACT: Soil salinization is a major socio-environmental problem in arid and semi-arid regions with severe effects on agricultural productivity and long-term sustainable development. The objective of the present study was to identify the spectral index that best estimates the soil salinity in the Baixo-Açu irrigated perimeter area and to clarify how surface vegetation and spatial resolution of satellite images influence the results and perform the classification of soils in areas cultivated with banana, pumpkin and native forest. For this, 42 soil samples were used in which the Electrical Conductivity - EC was determined and correlated with 20 salinity spectral indices. For classification, trenches were opened in order to describe the soil morphologically, where samples were collected at depths of 0.0-0.20 m and 0.20-0.40 and the samples taken to the laboratory. The four indexes (SI1, SI2, SI3 and BI) that presented the best results (above 79% of correlation) were the ones that had in their composition the Red, Green and NIR bands, with the presence of the Red band in all of them. As for classification, it was characterized as Solodic Carbonate Haplic Cambisol in the area where it was cultivated with banana (24 months fallow) and pumpkin (12 months fallow). The SI1 index was the one that obtained the best correlation between the studied indices for the study area. As for the areas cultivated with banana and pumpkin, the soil presented solodic character, unlike the condition presented by the banana cultivated area and native forest.

KEYWORDS: Electrical conductivity, sensing, salinity

INTRODUÇÃO

A salinização do solo é um processo relevante e degradador de terras, o processo de concentração de sais nos solos é um dos sete caminhos para a desertificação (Kassas 1987). Solos afetados por sais são principalmente encontrados em regiões de climas áridos e semiáridos. No Brasil, o problema é encontrado principalmente na região Nordeste, estima-se que 25% das áreas irrigadas estão sob processo de salinização.

Quanto a origem do problema, o processo de salinização pode se dividir em primária e secundária. A salinização primária é aquela ocasionada pelo processo de intemperismo das rochas, ação dos ventos, interferência pluviométrica e inundações marítimas. Poucos casos em que haja acumulado sais provenientes da intemperização de minerais primários para a formação de solos salinos, essas áreas por sua vez, não tem seus teores de sais aumentados

exponencialmente se comparados ao crescente aumento de terras salinizadas pela ação humana (KER et al., 2012).

O manejo inadequado da área produtiva associado a utilização de água com o padrão de qualidade abaixo do recomendado para irrigação, utilização excessiva de adubos químicos e a inexistência de sistemas de drenagem ocasionam o processo de salinização secundária, isto é, aquela ocasionada por ações antrópicas (Lima, 2010).

A utilização de tecnologias de mapeamento, identificação e mapeamentos de áreas salinizadas tem se difundido por todo o mundo (Lemos, 2017). Visto que a identificação da salinização em seu estágio inicial é de fundamental importância para utilização de técnicas preventivas ou corretivas com a finalidade de diminuir o impacto do problema (Farifteh, 2007).

A utilização de índices espectrais através de imagens obtidas por satélites, se mostra como uma ferramenta promissora para a detecção e avaliação de áreas salinizadas (Allbed, 2013). Entre as metodologias que utilizam o sensoriamento remoto para monitoramento da salinidade no solo, são muito relevantes as que utilizam estatística multivariada e índices espectrais.

Portanto, esse trabalho usa índices espectrais obtidos de imagens dos sensores OLI/Landsat-8 e MSI/Sentinel2b para a detecção de áreas salinizadas no Perímetro Irrigado do Baixo-Açu. Nessa mesma área de estudo, buscou-se analisar o padrão da dependência espacial de atributos químicos e físicos relacionados com a salinidade através da geoestatística. Tendo por objetivo avaliar o desempenho dos índices espectrais através da regressão, medir o padrão de dependência espacial da salinidade e classificar os solos afetados por sais a partir dos atributos diagnósticos (CE, pH, CTC e PST) no perímetro.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Perímetro Irrigado do Baixo-Açu, uma área com aproximadamente 1500 ha, localizado entre os municípios de Afonso Bezerra e Alto do Rodrigues. Possui clima tipo BSw'h' segundo a classificação de Köppen, caracterizado por ser muito quente e semiárido, possuindo uma temperatura média de 27,5°C

No tangente a análise para utilização dos índices espectrais, foram coletados 42 pontos no perímetro irrigado, onde foram coletadas amostras na profundidade de 0-10 cm. As coletas foram realizadas entre os meses de setembro e dezembro de 2017 (estação seca). Os pontos amostrais foram georreferenciados com o auxílio de um aparelho GNSS Garmin e-Trex. A

condutividade elétrica do extrato de saturação foi determinada seguindo a metodologia descrita por Richards (1954), no laboratório de irrigação e salinidade da Universidade Federal Rural do Semiárido.

Com a finalidade de entender a interferência da vegetação na utilização dos índices espectrais, os pontos de coletas foram divididos em 2 grupos. O primeiro composto por todos os pontos, e, o segundo composto por todos os pontos que possuíam NDVI menor que 0,33 o que caracteriza áreas com solo exposto (Moreira, 2014)

Para avaliar as características espectrais de áreas expostas com problemas de salinização foram usadas imagens dos sensores OLI/Landsat-8 com resolução espacial de 30 m e MSI/Sentinel2b com resolução espacial de 10 m. As imagens foram submetidas ao processo de correção atmosférica, com a finalidade de gases e partículas de poeiras

Para caracterizar a dinâmica do comportamento espectral dos pontos amostrais com solo exposto em processo de salinização foram extraídos espectros a partir das duas fontes de dados. Foram utilizados 20 índices espectrais (Tabela 1).

Tabela 1. Índices espectrais do solo utilizados para mapeamento de salinidade e correlação no Perímetro Irrigado Baixo-Açu

Índice de salinidade do solo		Equação	Referência
1	NDSI	$(R - NIR) / (R + NIR)$	Khan et al. (2001)
2	BI	$(R^2 + NIR^2)^{1/2}$	Khan et al. (2001)
3	SI	$(B \times R)^{1/2}$	Khan et al. (2001)
4	SI 1	$(G \times R)^{1/2}$	Khan et al. (2001)
5	SI 2	$(G^2 + R^2 + NIR^2)^{1/2}$	Douaoui et al. (2006)
6	SI 3	$(G^2 + R^2)^{1/2}$	Douaoui et al. (2006)
7	S1	B / R	Abbas et al. (2007)
8	S2	$(B - R) / (B + R)$	Abbas et al. (2007)
9	S3	$(G \times R) / B$	Abbas et al. (2007)
10	S5	$(B \times R) / G$	Abbas et al. (2007)
11	S6	$(R \times NIR) / G$	Abbas et al. (2007)
12	SSI2	$2 * G - (R + NIR)$	Douaoui & Lepinard (2010)
13	SASI	$R / 100 * B^2$	Yahiaoui et al. (2015)
14	INT1	$(G + R) / 2$	Douaoui et al. (2006)
15	INT2	$(G + R + NIR) / 2$	Douaoui et al. (2006)
16	SI 10	R / NIR	Douaoui et al. (2006)
17	SI 11	$(G - R + B) / R$	Ammad et al. (2016)
18	SI 14	R / G	Ammad et al. (2016)
19	SI 16	G / R	Ammad et al. (2016)
20	Crsi	$(NIR \times R) - (G \times B) / (NIR \times R) - (G \times B)$	Scudiero et al. (2016)

* R= Red; G=Green; B=Blue; NIR= Infravermelho

Para a classificação do solo no perímetro, foi realizado levantamento exploratório para reconhecimento de toda a área do perímetro, com a finalidade de identificar e estabelecer critérios para realização das amostragens.

Dessa forma, selecionou-se os lotes 77, 78, 79 e 82 para amostragem e coleta de solo devido maior incidência de problemas ligado a excesso de sais. As amostras foram coletadas em 11/2018 em duas profundidades (0-20 e 20-40m), quatro pontos de amostragem foram definidos em cada lote, totalizando 32 amostras, as quais foram coletadas, identificadas e transferidas ao laboratório de análise de solo, água e planta da Universidade Federal Rural do Semiárido.

Dentro do recorte de quatro lotes, foi aberto perfil do solo em três áreas: i) área de cultivo de banana (*Musa paradisiaca.*), que corresponde um talhão de aproximadamente 1.0 ha com espaçamento em fileiras duplas (4x2x2) m com quatro anos de implantação localizada em topo de elevação plano (interflúvio), ii) área cultivada com banana correspondendo a um talhão de 1.0 ha que está em pousio há aproximadamente três anos localizada em área de colúvio, iii) área cultivada com de abóbora (*Curcubita moschata*) com espaçamento (3.0 x 1.0 m) correspondendo a uma talhão de 1.0 ha em pousio por dois anos e iv) área de mata nativa localizada em área de colúvio com vegetação Caatinga hiperxerófila.

Para análise estatística dos dados, utilizaram-se análises de correlação de Pearson para observar se a matriz de correlação apresenta valores significativos e análise fatorial (AF) utilizando-se a ACP como método de extração e rotacionando os eixos pelo método Varimax. Estabeleceu-se o valor de 0,65 para cargas fatoriais significativas. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software STATISTICA 7.0

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de CE do solo apresentaram uma grande variação, desde valores de 0,69 dSm⁻¹ (solos não salinos) a 152 dSm⁻¹ (extrema salinidade). Dos pontos amostrados 50% apresentaram uma salinidade menor que 4 dSm⁻¹(solos não salinos) e os demais 50 % salinidade superior a 4 dSm⁻¹. Os maiores valores de CE são encontrados em áreas onde produção agrícola foi abandonada, na maioria dos casos com pouca vegetação em superfície e desestruturados na camada superficial. Os valores menores de CE são encontrados em áreas onde ainda ocorre atividade agrícola.

No tangente aos coeficientes de determinação (R^2), variaram de valores próximos a 0 a valores maiores que 80% (Tabela 2). A correlação entre salinidade do solo e resposta dos índices em pontos que havia vegetação em superfície é considerada baixa nas imagens utilizadas pelos 2 satélites em todos os índices estudados. A vegetação pode ocasionar erro espectral na resposta dos índices (Metternick & Zinck, 2008) (Zhang et al. 2011). O mapeamento espectral em áreas salinas algumas limitações quanto a regiões que não apresentam concentração de sais na superfície do solo e em áreas dominadas por plantas resistentes a salinidade (halófitas) (Furby et al. 1995).

Tabela 2. Índices de salinidade utilizados no mapeamento e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2)

Índices de Salinidade do Solo	R^2 (%) NDVI < 0,33)	Satélite	R^2 (%) (Todos os pontos)	Satélite
NDSI	12,19	SENT	4,13	LAND
BI	79,71	SENT	3,66	LAND
SI	68,45	SENT	0,75	SENT
SI 1	80,29	SENT	0,40	LAND
SI 2	80,00	SENT	3,88	LAND
SI 3	80,19	SENT	0,59	SENT
S1	9,01	SENT	1,10	LAND
S2	8,33	SENT	1,29	LAND
S3	61,00	SENT	0,07	LAND
S5	55,06	SENT	0,25	SENT
S6	63,00	SENT	1,89	SENT
SSI2	51,34	SENT	0,35	SENT
SASI	17,41	SENT	0,75	LAND
INT1	72,29	SENT	0,04	LAND
INT2	78,08	SENT	1,13	LAND
SI 10	29,48	LAND	0,18	SENT
SI 11	19,27	LAND	1,43	SENT
SI 14	16,03	SENT	2,07	SENT
SI 16	16,63	SENT	1,14	SENT
Crsi	26,34	SENT	0,11	SENT

O índice NDSI apresentou a melhor correlação com o uso da imagem OLI/Landsat 8. Esse, apesar de ser um índice de salinidade do solo, é semelhante ao NDVI que caracteriza o vigor vegetativo das plantas.

Os quatro índices (SI1, SI2, SI3 e BI) que apresentaram os melhores resultados (acima de 79% de correlação) foram os que possuíam na sua composição as bandas Red, Green e NIR, com presença da banda Red em todos eles.

Quanto a classificação, após análises químicas laboratoriais das amostras retiradas (Tabela 3), ele foi caracterizado como Cambissolo Háplico Carbonático solódico na área em que houve cultivo com banana (pousio 24 meses) e abóbora (pousio 12 meses).

Tabela 3. Classificação dos solos quanto a salinidade baseado na condutividade elétrica, potencial hidrogeniônico e porcentagem de sódio trocável no Perímetro Irrigado do Baixo Açú, Alto do Rodrigues/RN.

Área	Camada de 0,00-0,20 m			Classificação	
	pH	CE	PST	SiBICS ²	Richards ³
		dS m ⁻¹	%		
Banana	8,41	1,26	3,33	Sem problemas de saís	Sem problemas de saís
Pousio	8,2	4,74	8,01	Salino	Salino
Abóbora	8,51	2,93	10,44	Sódico	Sem problemas de saís
Mata Nativa	8,41	0,70	1,0	Sem problemas de saís	Sem problemas de saís
Área	Camada de 0,20-0,40 m			Classificação	
	pH	CE	PST	SiBICS ²	Richards ³
		dS m ⁻¹	%		
Banana	8,19	1,10	5,08	Sem problemas de saís	Sem problemas de saís
Pousio	8,16	6,29	13,6	Salino	Salino
Abóbora	8,31	2,02	9,72	Sódico	Sem problemas de saís
Mata Nativa	7,84	5,57	6,4	Salino	Salino

¹CEes – condutividade elétrica do estrato de saturação; PST – porcentagem de sódio trocável

²Santos et al. (2017)

³Richards (1954)

Os resultados obtidos por meio da utilização dos métodos multivariados estão apresentados na forma de dendrograma de agrupamentos hierárquicos, eixos fatoriais e componentes principais nas áreas de Banana (B), Pousio (P), Abóbora (A) e Mata nativa (MN) nas camadas de (0,00-0,20 m e 0,20-0,40 m) no perímetro irrigado do Baixo Açú Alto do Rodrigues/RN.

O dendrograma de agrupamentos hierárquicos (Figura 1 A e B) obtidos da matriz de padronização formou dois grupos distintos, com dissimilaridade de 40%. O primeiro grupo com maior similaridade e menor distância euclidiana foram as variáveis: frações inorgânicas, pH, CE, Ca²⁺, Mg²⁺ e PST, sendo o pH, CE e PST os parâmetros com maior influência na caracterização de solos com problemas de saís. O segundo grupo foi formado pelos cátions Na⁺ e K⁺, influenciando na determinação da PST, conforme tabela 1 os resultados obtidos foram considerados altos, sendo assim, agentes dispersantes fracamente adsorvidos pelas superfícies das argilas quando comparadas aos cátions bivalentes e trivalentes que são considerados agregantes. (Corrêa, 2009)

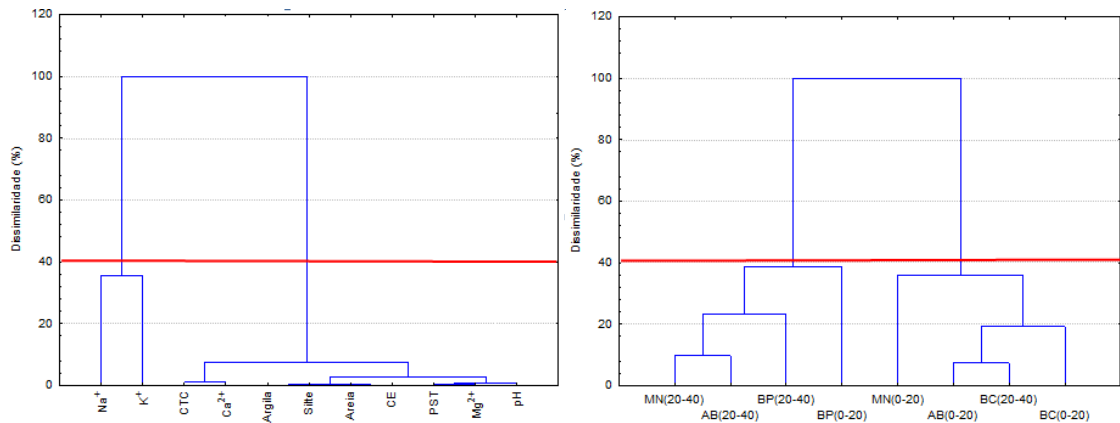


Figura 1. Dendrograma A evidenciando as interações entre os atributos do solo e dendrograma B apresentando a formação de grupos da matriz de distancias pelo método de Ward.

No dendrograma B, os dois grupos formados evidenciam interações em especial na camada superficial do solo para os agroecossistemas Mata Nativa, Abóbora e em subsuperfície a Banana, com estágio inicial do processo de salinização. O grupo 2 identificou os ambientes de Pousio nas camadas em estudo e em subsuperfície na Mata Nativa e Abóbora. O segundo grupo reuniu os agroecossistemas em estágio avançado de degradação, em especial o Pousio, segundo a classificação de Richard e classificado como salino (Tabela 3).

Representados pelos cátions Na^+ e K^+ , favorecendo a dispersão das argilas, alterando a estrutura do solo, a permeabilidade, drenagem da água, fluxo de massa e conseqüentemente, o processo de absorção da água pelas raízes das plantas, devido à alta concentração de solutos. (Andrade, 2011).

CONCLUSÕES

Com a melhora na resolução espacial das imagens, obtemos melhores resultados de correlação para determinação da salinidade do solo. A presença da vegetação na superfície foi outro fator fundamental nos resultados, mostrando que os índices de salinidade do solo têm maior sucesso quando utilizados em áreas que não apresentem nenhum tipo de vegetação em superfície. O índice SII foi o que obteve a melhor correlação entre os índices estudados para a área de estudo.

Todos os índices utilizados priorizaram a utilização do visível e os que fizeram a utilização da banda Red apresentaram as melhores correlações com a salinidade do solo.

Quanto as áreas cultivadas com banana (pousio 24 anos) e abóbora (pousio 12 meses) o solo apresentou caráter solódico, diferentemente da condição apresentada pela área de

banana cultivada e de mata nativa, considerada como referência e que não apresente restrições quanto ao uso. Faz-se necessário realizar o monitoramento dessas áreas em diferentes períodos (estiagem e chuvoso) a fim de avaliar os teores de sódio trocável e adotar técnicas de controle a salinidade e/ou sodicidade, para garantir manutenção e ou melhoria dos recursos naturais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, Eunice M. et al. Investigação de mudanças do status salino do solo pelo emprego de análise multivariada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi*, v. 15, n. 4, 2011.

Allbed, A; Kumar, L. Soil salinity mapping and monitoring in arid and semi-arid regions using remote sensing technology: a review. *Advances in Remote Sensing*, 2: 373 – 385, 2013.

CORRÊA, Rossini Mattos et al. Atributos químicos de solos sob diferentes usos em perímetro irrigado no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 2, p. 305-314, 2009.

Farifteh, J. *Imaging Spectroscopy of salt-affected soils: Model-based integrated method*. Utrecht, Utrecht University, 235 p. Thesis. 2007.

Furby, S. “Detecting and Monitoring Salt-Affected Land: A Report from the LWRRDC Project Detecting and Monitoring Changes in Land Condition through Time Using Remotely Sensed Data,” CSIRO, Division of Mathematics & Statistics, 1995.

Kassas, M. Seven paths to desertification. *Desertification Control Bulletin* 15, 24–26. 1987.

KER, J. C.; CURI, N. SCHAEFER. CEGR & VIDAL-TORRADO, P. *Pedologia, Fundamentos*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, 2012.

LEMOS FILHO, L. C. A.; FERREIRA, L. L. N; LYRA, D. L. Variabilidade espacial de atributos do solo indicadores de degradação ambiental em microbacia hidrográfica. *Revista Agro@mbiente On-line*, v. 11, n. 1, p. 11-20, 2017.

LIMA, Julião Soares de Souza et al. Amostragem e variabilidade espacial de atributos químicos do solo em área de vegetação natural em regeneração. Revista *Árvore*, 2010.

Metternicht G.; Zinck J.A. Remote Sensing of Soil Salinization: Impact on Land Management. Boca Raton, CRC Press, p. 21-37, 2008.

Zhang, T. T. "Using Hyperspectral Vegetation Indices as a Proxy to Monitor Soil Salinity," *Ecological Indicators*, Vol. 11, No. 6, pp. 1552-1562, 2011.