

## INFLUÊNCIA DE DIFERENTES MANEJOS NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DE LUVISSOLOS SOB DESERTIFICAÇÃO

Luciana Luzia Pinho<sup>1</sup>, Francisco José Gomes da Silva Júnior<sup>2</sup>, Ricardo Espíndola Romero<sup>3</sup>,  
Geisiele Costa Guilherme Garcêz<sup>4</sup>, Gabriel Nuto Nóbrega<sup>3</sup>

**RESUMO:** A desertificação configura-se como um dos problemas globais mais críticos da atualidade, e no semiárido brasileiro, a intensificação deste processo tornou necessário compreender como os atributos físicos do solo refletem a degradação. Nesse contexto, objetivou-se com este trabalho averiguar o grau de distinção entre diferentes áreas afetadas pelo processo de desertificação com base nos atributos físicos dos solos. A pesquisa foi conduzida no município de Jaguaribe-CE, sob delineamento inteiramente aleatorizado com 3 parcelas e 5 repetições. As parcelas foram compostas por três locais: 1 – área degradada sem práticas conservacionistas; 2 – área degradada em que foram implantadas práticas conservacionistas; 3 – área de mata preservada. Os seguintes atributos foram avaliados: densidade do solo, densidade das partículas, porosidade, granulometria, argila dispersa em água, grau de floculação e relação silte/argila. Os resultados demonstraram que a área de mata preservada foi nitidamente isolada das demais, evidenciando que as práticas conservacionistas não promoveram mudanças suficientes para aproximar os atributos físicos dos solos da área de intervenção aos da condição preservada, indicando uma recuperação ainda incipiente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Semiárido; degradação do solo; análise multivariada.

## INFLUENCE OF DIFFERENT MANagements ON THE PHYSICAL ATTRIBUTES OF LUVISOLS UNDER DESERTIFICATION

**ABSTRACT:** Desertification is one of the most critical global problems today, and in the Brazilian semiarid region, the intensification of this process has made it necessary to understand

---

<sup>1</sup> Doutoranda em Ciência do Solo, Departamento de Ciência do Solo, UFC, CEP: 60440-554, Fortaleza, CE.

Fone: (85) 98181-9899 E-mail: englucianaufc@gmail.com

<sup>2</sup> Mestre em Ciência do Solo, Departamento de Ciência do Solo, UFC, Fortaleza, CE

<sup>3</sup> Professor Doutor, Departamento de Ciência do Solo, UFC, Fortaleza, CE

<sup>4</sup> Estudante de Agronomia, Departamento de Ciência do Solo, UFC, Fortaleza, CE

how soil physical attributes reflect degradation. In this context, the objective of this study was to determine the degree of distinction between different areas affected by the desertification process based on soil physical attributes. The research was conducted in the municipality of Jaguaribe, Ceará, using a completely randomized design with three plots and five replicates. The plots consisted of three locations: 1 – degraded area without conservation practices; 2 – degraded area where conservation practices were implemented; 3 – preserved forest area. The following attributes were assessed: soil bulk density, particle density, porosity, grain size, water-dispersible clay, degree of flocculation, and silt/clay ratio. The results demonstrated that the preserved forest area was clearly isolated from the others, evidencing that conservation practices did not promote sufficient changes to bring the physical attributes of the soils in the intervention area closer to those of the preserved condition, indicating that recovery is still incipient.

**KEYWORDS:** Semi-arid; soil degradation; multivariate analysis.

## INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a desertificação emergiu como um dos problemas mais graves e urgentes do cenário global (Wang et al., 2024), consolidando-se como uma área de estudo progressivamente crítica (Wei et al., 2025). Este processo é caracterizado pela redução substancial ou até mesmo a perda da capacidade produtiva do solo e da prestação de seus serviços ecossistêmicos em decorrência da deterioração de suas características físicas, químicas e biológicas (Kumar et al., 2022).

Em regiões áridas e semiáridas, os riscos associados à desertificação têm se intensificado, impulsionados pela combinação entre as mudanças climáticas globais – que ampliam a ocorrência de eventos extremos, como as secas – e práticas de manejo inadequadas (Silva et al., 2023; Araújo et al., 2024). Estes fatores interagem de forma complexa, favorecendo a ocorrência de processos erosivos. Em meio a este cenário, o semiárido brasileiro destaca-se como uma das regiões mais vulneráveis à desertificação do país (Bezerra et al., 2020), compondo as chamadas áreas suscetíveis à desertificação (ASD's).

Embora a região semiárida seja caracterizada por seu baixo índice pluviométrico e altas taxas de evaporação, estes fatores também são responsáveis pela sua maior suscetibilidade à desertificação (Araújo et al., 2024), sem falar nos aspectos geológicos e pedológicos que contribuem para acentuar sua fragilidade (Silva et al., 2022). Nesse contexto, se destaca a

presença expressiva dos Luvisolos nas áreas de desertificação do semiárido, os quais apresentam características que os tornam particularmente vulneráveis à degradação, como espessura e gradiente textural (Barbosa Neto et al., 2021).

Atualmente, os padrões de uso do solo são cada vez mais influenciados pela desertificação, tanto direta quanto indiretamente (Li et al., 2024) e um dos principais desafios na compreensão das mudanças nos atributos físicos dos solos é que as interações entre vários fatores da pedogênese variam entre os ecossistemas (Semeraro et al., 2025). Compreender a relação entre esses fatores é fundamental para mitigar as consequências deste processo e alcançar o desenvolvimento sustentável nesta região (Li et al., 2024).

Com isso, este estudo tem como objetivo averiguar, por meio da análise de função discriminante, o grau de distinção entre diferentes áreas afetadas pelo processo de desertificação com base nos atributos físicos dos solos. Ao empregar uma abordagem multivariada, busca-se não apenas identificar os padrões de degradação e vulnerabilidade, como também fornecer orientação científica que possa direcionar a formulação de estratégias de recuperação e conservação dos ecossistemas semiáridos afetados pela desertificação.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

A pesquisa foi conduzida na comunidade Riacho do Brum, distrito de Mapuá, situada no município de Jaguaribe-CE. A referida área está inserida no projeto de recuperação de áreas degradadas em risco de desertificação, desenvolvido pelo Governo do Estado em parceria com a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente aleatorizado (DIA) com 3 parcelas e 5 repetições, totalizando 15 unidades experimentais. As parcelas foram compostas por três locais que corresponderam a uma faixa desde área degradada à área preservada: 1) área em avançado processo de desertificação denominada “área degradada” sem práticas de conservação (cercada desde 2020 para evitar interferências externas, porém há a entrada controlada de animais); 2) área suscetível à desertificação em que foram implantadas práticas de conservação do solo e da água (terraceamento; cordões de pedra em contorno; escarificação; sulcamento; adição de serrapilheira e esterco de curral, tendo sua implantação iniciada em janeiro de 2014); 3) área suscetível à desertificação com vegetação natural preservada sem a implantação de práticas de conservação (a vegetação nativa não tem histórico conhecido de desmatamento desde pelo menos o início dos anos 90).

Em cada área foram abertas 5 trincheiras, onde as coletas foram realizadas em todos os horizontes dos perfis, desde o horizonte superficial até o saprólito (A, B, C e transicionais). Os perfis de solo foram descritos seguindo a metodologia proposta por Santos et al. (2015), sendo todos os solos classificados como Luvisolos, tendo o gnaiss como seu material de origem. Foram coletadas amostras com estrutura não preservada para a realização das análises laboratoriais, que foram efetuadas seguindo os procedimentos descritos no Manual de Métodos de Análise de Solo (Teixeira et al., 2017). As variáveis analisadas foram: densidade do solo (Dp) pelo método do torrão parafinado; densidade das partículas (Dp) pelo método do balão volumétrico; porosidade total (Pt); granulometria e argila dispersa em água (ADA) pelo método da pipeta; grau de floculação (GF); relação silte/argila (RSA).

A partir dos resultados obtidos, realizou-se a análise de variância multivariada (MANOVA) e posteriormente aplicou-se a análise de função discriminante para a separação dos grupos de tratamentos. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o software Statistical Analysis Systems - SAS (SAS, 1989).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Análise de Variância Multivariada (MANOVA) foi realizada para observar se há diferenças estatísticas significativas entre as três áreas em função dos atributos físicos dos solos. Na Tabela 1, observa-se que os quatro testes estatísticos apresentaram significância ao nível de 1% de probabilidade, confirmando que há pelo menos uma diferença significativa entre os vetores de médias dos tratamentos.

**Tabela 1.** Análise da Variância Multivariada (MANOVA) para os atributos físicos de Luvisolos sob desertificação em função de diferentes manejos

Teste Estatístico	Valor	Valor F	Pr > F
Wilk's Lambda	0,35730152	3,66	<0,0001
Pillai's Trace	0,70484339	3,02	0,0002
Hotteling-Lawley Trace	1,62482818	4,35	<0,0001
Roy's Greatest Root	1,50961434	8,39	<0,0001

Considerando a significância observada, foi aplicada a análise discriminante afim de obter uma função que explique satisfatoriamente a variação dos dados e identificar quais atributos físicos mais contribuíram para a separação das áreas, permitindo inferir sobre a influência dos diferentes usos nas características físicas observadas.

Os testes estatísticos realizados para a seleção das funções discriminantes (Tabela 2) definiram duas funções para representar 100% da variância total. Observando os autovalores, verifica-se uma predominância da primeira função discriminante, que foi responsável por explicar 92,91% da variância total dos dados. As correlações canônicas, que indicam o grau em que as variâncias das variáveis podem ser explicadas pelas variáveis independentes foram 0,775 e 0,321, para Can 1 e Can 2 respectivamente, sendo a primeira considerada altamente significativa ( $p < 0,01$ ) e suficiente para realizar a separação das áreas.

**Tabela 2.** Resumo da análise de variáveis canônicas para os atributos físicos de Luvisolos sob desertificação em função de diferentes manejos

Função	Correlação Canônica	Autovalor	Diferença	Proporção	Cumulativo	Valor F	Pr > F
1	0,775585	1,5096	1,3944	0,9291	0,9291	3,66	<0,0001
2	0,321420	0,1152		0,0709	1,0000	0,72	0,6728

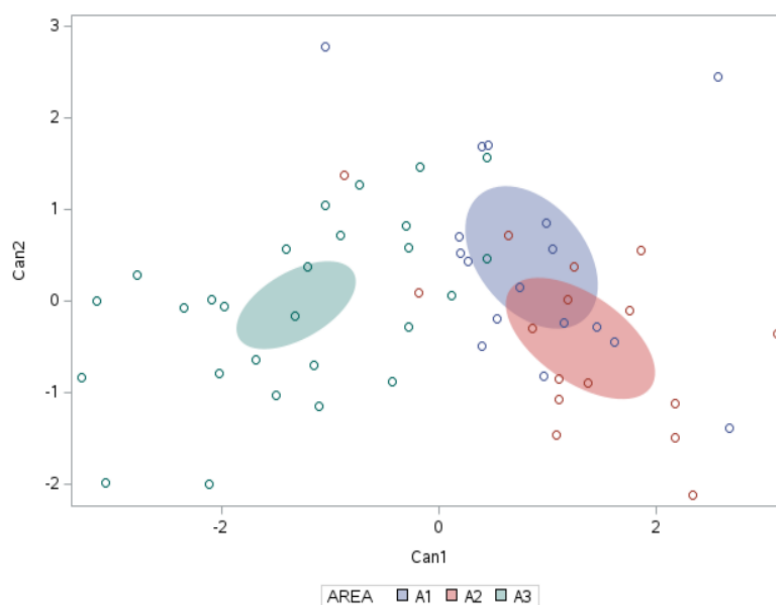
Nos valores dos coeficientes associados à primeira função discriminante (Tabela 3), observa-se que as variáveis Areia, Silte e Argila, que apresentaram maiores coeficientes canônicos de Can 1, foram as que mais contribuíram para a separação dos grupos, em função dos seus maiores valores em termos absolutos. Em outras palavras, a granulometria dos solos foi o atributo que teve maior relevância na separação das áreas. Isso pode estar associado ao fato de que alta diversidade textural e mineralógica é uma das principais características inerentes à classe dos Luvisolos (Fernandez-Ulgade et al., 2013; Krause et al., 2018). A relevância da granulometria é enfatizada no trabalho de Schaeffer et al. (2025), que destacam a textura do solo como um parâmetro imprescindível quando se quer avaliar o sucesso potencial de uma restauração.

**Tabela 3.** Coeficientes Canônicos Brutos da primeira função discriminante para os atributos físicos de Luvisolos sob desertificação em função de diferentes manejos

Variável	Can 1
Ds	0,4285
Dp	-4,7545
Pt	-13,364
Areia	14,640
Silte	14,589
Argila	14,643
RSA	0,1125
ADA	0,0966
GF	0,0058

Ds: densidade do solo; Dp: densidade das partículas; Pt: porosidade total; RSA: relação silte/argila; ADA: argila dispersa em água; GF: grau de flocculação.

A Figura 1 apresenta as elipses com 95% de confiança dos vetores médios para os níveis dos tratamentos. Essas elipses possibilitam uma visualização clara da discriminação entre as parcelas de tratamentos para cada fator. Verifica-se que os solos da área de mata preservada (A3) foram nitidamente isolados dos demais grupos pelo modelo discriminante. Em contraste, observa-se uma sobreposição entre as elipses referentes à área de intervenção (A1) e à área degradada (A2), indicando haver uma semelhança entre os atributos físicos dos solos dessas duas áreas e por isso, elas não diferem estatisticamente entre si. Ressalta-se que essas duas áreas (A1 e A2) tiveram um histórico de uso similar no passado, antes da implantação das práticas conservacionistas, o que não se aplica à área de mata preservada.



**Figura 1.** Elipses de confiança a 0,95 para vetores de média (A1 – Área de intervenção; A2 – Área degradada; A3 – Área de Mata)

Esses resultados estão de acordo com Souza et al. (2025), que ressaltam que os atributos dos Luvisolos, sobretudo os físicos tendem a variar pouco mesmo a longo prazo, independentemente do tipo de manejo. Vale salientar também que a eficácia das práticas de conservação é influenciada pelo clima e sobretudo pelo tipo de solo, podendo levar entre 20 a 30 anos para melhorar a qualidade física de Luvisolos (Mamedov et al., 2021), pois embora a vegetação degradada possa ser restaurada em poucos anos, a recuperação do solo é um processo mais lento, que pode se estender por várias décadas (Macheroum et al., 2025). E com isso, o monitoramento das características destes solos sob conservação por períodos mais longos é necessário para acompanhar a recuperação dessas áreas impactadas pelo processo de desertificação (Souza et al., 2025).

## CONCLUSÕES

A análise de função discriminante demonstrou a separação da área de mata preservada em relação as demais, evidenciando que 10 anos de práticas conservacionistas ainda não foram suficientes para promover uma diferenciação nos atributos físicos dos solos da área de intervenção quando comparados com os da área degradada e nem para que os atributos da área de intervenção se assemelhem aos da condição preservada, indicando uma recuperação ainda incipiente.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FUNCAP pela concessão da bolsa de estudos, ao INCT em Agricultura Sustentável no Semiárido Tropical – INCTAgriS processo 406570/2022-1 (CNPq), ao projeto origem e transferência de sedimentos em bacias hidrográficas sob processo de desertificação na Região Nordeste, Brasil: conexão com a conservação do solo e da água frente às mudanças climáticas (UNIVERSAL CNPq 10/2023, Faixa B, Processo 402841/2023-9), à FUNCEME e ao Neto do Brum pela disponibilização da área experimental.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, A.S.F.; MEDEIROS, E.V.; COSTA, D.P.; PEREIRA, A.P.A.; MENDES, L.W. From desertification to restoration in the Brazilian semiarid region: Unveiling the potential of land restoration on soil microbial properties. **Journal of Environment Management**, v. 351, 119746, 2024. Doi: 10.1016/j.jenvman.2023.119746

BARBOSA NETO, M.V.; ARAÚJO, M.S.B.; ARAÚJO FILHO, J.C.; SAMPAIO, E.V.S.B.; ALMEIDA, B.G. Rill and sheet soil erosion estimation in an area undergoing desertification in the Brazilian semi-arid region. **Modeling Earth Systems and Environment**, v. 7, n. 1, p. 1183-1191, 2021. DOI: 10.1007/s40808-020-01026-y

BEZERRA, F.G.S.; AGUIAR, A.P.D.; ALVALÁ, R.C.S.; GIAROLLA, A.; BEZERRA, K.R.A.; LIMA, P.V.P.S.; NASCIMENTO, F.R.; ARAI, E. Analysis of areas undergoing

desertification, using EVI2 multi-temporal data based on MODIS imagery as indicator. **Ecological Indicators**, v. 117, 106579, 2020. Doi: 10.1016/j.ecolond.2020.106579

FERNÁNDEZ-UGALDE, O.; BARRÉ, P.; HUBERT, F.; VIRTO, I.; GIRARDIN, C.; FERRAGE, E.; CANER, L.; CHENU, C. Clay mineralogy differs qualitatively in aggregate-size classes: clay-mineral-based evidence for aggregate hierarchy in temperate soils. **European Journal of Soil Science**, v. 64, p. 410-422, 2013. Doi: 10.1111/ejss.12046

KRAUSE, L.; RODINOV, A.; SCHWEIZER, S.A.; SIEBERS, N.; LEHNDORFF, E.; KLUMPP, E.; AMELUNG, W. Microaggregate stability and storage of organic carbon is affected by clay content in arable Luvisols. **Soil & Tillage Research**, v. 182, n. 1, p. 123-129, 2018. DOI: 10.1016/j.still.2018.05.003

KUMAR, B.P.; BABU, K.R.; ANUSHA, B.N.; RAJASEKHAR, M. Geo-environmental monitoring and assessment of land degradation and desertification in the semi-arid regions using Landsat 8 OLI/TIRS, LST and NDVI approach. **Environmental Challenges**, v. 8, 100578, 2022. Doi: 10.1016/j.envc.2022.100578

LI, D.; ZHU, Z.; XU, E.; ZHANG, H. Desertification sensitivity and its impacts on land use change in the Tarim Basin, Northwest China. **Science of The Total Environment**, v. 957, 177601, 2024. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.177601

MACHEROUM, A.; SAYADA, N.; CHENCHOUNI, H. Restoration of soil quality and improvement of physicochemical properties through grazing exclusion in arid and semi-arid rangelands. **Catena**, v. 249, 108646, 2025. Doi: 10.1016/j.catena.2024.108646

MAMEDOV, A.I.; FUJIMAKI, H.; TSUNEKAWA, A.; TSUBO, M.; LEVY, G.J. Structure stability of acidic Luvisols: Effects of tillage type and exogenous additives. **Soil & Tillage Research**, v. 206, 104832, 2021. Doi: 10.1016/j.still.2020.104832

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C.; SHIMIZU, S.H. **Manual de descrição e coleta de solos no campo**. 6ª Ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015, 100p.

SCHAEFFER, K.E.; BESTELMEYER, B.T.; BURKETT, L.M.; MCLAREN, J.R. The potential for using soil carbon, soil texture, and elevation as indicators of grass-cover response in Chihuahuan Desert grassland restoration practices. **Journal of Arid Environments**, v. 227, 105326, 2025. Doi: 10.1016/j.jaridenv.2025.105326

SEMERARO, S.; TUCHSCHIMID, R.; GOBAT, J.M.; RASMANN, S.; LE BAYON, R.C. Temporal changes in soil properties: Insights from a 37-years-old Swiss soil library. **Geoderma**, v. 459, 117363, 2025. Doi: 10.1016/j.geoderma.2025.117363

SILVA, B.F.; RODRIGUES, R.Z.S.; HEISKANEN, J.; ABERA, T.A.; GASPARETTO, S.C.; BIASE, A.G.; BALLESTER, M.V.R.; MOURA, Y.M.; PIEDADE, S.M.S.; SILVA, A.K.O.; CAMARGO, P.B. Evaluating the temporal patterns of land use and precipitation under desertification in the semi-arid region of Brazil. **Ecological Informatics**, v. 77, 102192, 2023. Doi: 10.1016/j.ecoinf.2023.102192

SILVA, D.F.; MOREIRA, J.V.; SOUSA, L.I.S.; SANTANA, M.C.; MOTA, J.C.A.; QUEIROZ, A.S.; NASCIMENTO, I.V.; SILVA, A.M.M.; ARAÚJO, A.S.F.; MELO, V.M.M.; MEDEIROS, E.V.; CARDOSO, E.J.B.N.; PEREIRA, A.P.A. Arbuscular mycorrhizal fungi community in soils under desertification and restoration in the Brazilian semiarid. **Microbiological Research**, v. 264, 127161, 2022. Doi: 10.1016/j.micres.2022.127161

SOUZA, P.A.S.; FRACETTO, F.J.C.; OLIVEIRA, A.S.; FERREIRA, J.S.; FERRÃO, N.G.M.; MENEZES, R.S.C.; SAMPAIO, E.V.S.B.; FERNANDES JÚNIOR, P.I.; FREITAS, A.D.S. Microbial biomass, carbon and nitrogen stocks across land uses and soil types in the Brazilian tropical dry forest region. **Journal of Arid Environments**, v. 229, 105401, 2025. Doi: 10.1016/j.jaridenv.2025.105401

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEMS - SAS. **Statistical analysis system user's guide**. Version 6.4. Cary: Statistical Analysis Systems Institute Inc.; 1989.

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G.K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3ª Ed. Brasília: Embrapa, 2017, 577p.

WANG, J.; WANG, Y.; XU, D. Desertification in northern China from 2000 to 2020: The spatial-temporal processes and driving mechanisms. **Ecological Informatics**, v. 82, 102769, 2024. Doi: 10.1016/j.ecoinf.2024.102769

WEI, Y.; TAO, H.; KUNDZEWICZ, Z.W.; MONDAL, S.K.; WANG, A.; LI, Y.; JIANG, T. Natural and anthropogenic contributions to desertification in Central Asia. **Catena**, v. 257, 109154, 2025. Doi: 10.1016/j.catena.2025.109154