

CONTRIBUIÇÃO AOS ESTUDOS SOBRE SALINIZAÇÃO DOS SOLOS DE MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS DO RIACHO DO PONTAL – SEMIÁRIDO DE PERNAMBUCO

Gabriel Figueiredo

Mestrando em Ciências Ambientais pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade de Pernambuco (UPE), Petrolina – PE, Brasil¹
gabriel.figueiredo2@upe.br

Francelita Coelho Castro

Doutora em Geografia, Professora do Instituto Federal da Bahia *Campus Juazeiro* (IFBA), Juazeiro – BA, Brasil²
francelittacastro@gmail.com

Antonio Marcos dos Santos

Doutor em Geografia, Professor do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade de Pernambuco (UPE), Petrolina – PE, Brasil¹
antonio.santos@upe.br

RESUMO: A salinização dos solos atinge mais de 100 países nas regiões secas. A presença da salinização é explicada através da combinação de características ambientais e práticas agrícolas inadequadas. Neste contexto, o objetivo deste artigo é analisar diferentes contribuições de microbacias hidrográficas no processo de salinização na sub-bacia do Riacho do Pontal, estado de Pernambuco. Para desenvolvimento deste estudo, foram coletadas amostras em oito conjuntos amostrais de solos das microbacias selecionadas. Em laboratório, foram realizadas análises químicas de pH, PST e CE, com auxílio das ferramentas geotecnológicas foram mapeadas declividade, solos e o uso e cobertura das terras, elementos essenciais para identificação da origem dos sais deslocados em um sistema hidrográfico. Duas microbacias apresentaram problemas de salinização, sendo elas a microbacia 1 e a microbacia 2. Em ambas, a presença de barragens favorece as concentrações de sedimentos e sais nos exutórios. Acrescenta-se a presença dos Planossolos Nátricos na microbacia 1 sobre áreas de agricultura de vazante, situação que impulsiona a concentração e liberação de sais nestas localidades. Nas demais microbacias a ausência de barramentos, associado às características dos solos, a ausência de atividades de irrigação reduz a presença e a concentração de sais em seus exutórios.

Palavras-chave: Sistemas ambientais; Geoprocessamento; Degradação dos solos; Solos afetados por sais.

CONTRIBUTION TO STUDIES ON SOIL SALINIZATION IN THE MICRO-WATERSHEDS OF RIACHO DO PONTAL – SEMIARID OF PERNAMBUCO

ABSTRACT: Soil salinization affects over 100 countries in dry regions. The presence of salinization is explained through the combination of environmental characteristics and inadequate agricultural practices. In this context, the objective of this article is to analyze the different contributions of micro-watersheds to the salinization process in the Riacho do Pontal sub-basin, in the state of Pernambuco. For the development of this study, samples were collected from eight soil sampling sites in the selected micro-watersheds. Chemical analyses of pH, EC and ESP were conducted in the laboratory. Using geotechnological tools, slope, soil types, and land use and coverage were mapped, which are essential elements for identifying the origin of displaced salts within a hydrographic system. Two micro-watersheds showed salinization problems, namely micro-watershed 1 and micro-watershed 2. In both, the presence of dams favors the concentration of sediments and salts in the outlets. Additionally, the presence of Natric Planosols in micro-watershed 1, over floodplain agricultural areas, further promotes the concentration and release of salts in these locations. In the other micro-watersheds, the absence of dams, combined with soil characteristics and the lack of irrigation activities, reduces the presence and concentration of salts in their outlets.

Keywords: Environmental systems; Geoprocessing; Soil degradation; Soils affected by salts.

¹ Endereço: Rodovia BR 203, Km 2 s/n - Vila Eduardo, CEP: 56328-900, Petrolina, Pernambuco, Brasil.

² Endereço: Rodovia BA 210, s/n - Bairro Nova Juazeiro, CEP: 48918-900, Juazeiro, Bahia, Brasil.

CONTRIBUCIÓN A LOS ESTUDIOS SOBRE LA SALINIZACIÓN DE LOS SUELOS DE MICROCUENCAS HIDROGRÁFICAS DEL RIACHO DO PONTAL – SEMIÁRIDO DE PERNAMBUCO

RESUMEN: La salinización de los suelos afecta a más de 100 países en las regiones áridas. La presencia de salinización se explica a través de la combinación de características ambientales y prácticas agrícolas inadecuadas. En este contexto, el objetivo de este artículo es analizar las diferentes contribuciones de microcuencas hidrográficas en el proceso de salinización en la subcuenca del Riacho do Pontal, en el estado de Pernambuco. Para el desarrollo de este estudio, se recolectaron muestras en ocho conjuntos de muestras de suelos de las microcuencas seleccionadas. En el laboratorio, se realizaron análisis químicos de pH, PST y CE, y con el apoyo de herramientas geotecnológicas se mapearon la pendiente, los suelos y el uso y cobertura del suelo, elementos esenciales para identificar el origen de los sales desplazados en un sistema hidrográfico. Dos microcuencas presentaron problemas de salinización, siendo la microcuenca 1 y la microcuenca 2. En ambas, la presencia de embalses favorece las concentraciones de sedimentos y sales en los desagües. Se añade la presencia de los Planosoles Natróficos en la microcuenca 1 sobre áreas de agricultura de inundación, situación que impulsa la concentración y liberación de sales en estas localidades. En las demás microcuencas, la ausencia de represamientos, junto con las características de los suelos y la falta de actividades de riego, reduce la presencia y concentración de sales en sus desagües.

Palabras clave: Sistemas ambientales; Degradación del suelo; Geoprocesamiento; Suelos afectados por sales.

Introdução

A exploração dos recursos naturais não é um fenômeno recente; tem sua origem no surgimento das práticas agrícolas, avança pela Revolução Industrial e chega até o modo de produção atual, o capitalista (Quintana; Hacon, 2011; Pott; Estrela, 2017). Diversos sistemas ambientais estão degradados em consequência de explorações excessivas, entre os quais, se encontram os solos. Estima-se que aproximadamente 33% dos solos apresentem problemas de degradação (FAO, 2018).

Dentre os diversos processos de degradação dos solos, inclui-se a salinização, que é definida como o acúmulo de sais solúveis nas camadas agricultáveis (Ribeiro; Ribeiro Filho; Jacomine, 2016; Castro; Santos, 2020; Shi et al., 2021). Esse é um problema de escala global que resulta em problemas econômicos, ambientais e sociais, principalmente nas regiões secas (Wang et al., 2018; Sá et al., 2021), afetando as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos e, consequentemente, a perda de produtividade e de biodiversidade (Pedrotti et al., 2015; Mishra et al., 2023).

De acordo com a FAO (2015) e Ivushkin et al. (2019), a salinização dos solos atinge mais de 100 países, com uma estimativa de mais de 1 bilhão de hectares em estado avançado de degradação. As maiores ocorrências do processo de salinização estão concentradas na Austrália, no norte e no centro da Ásia, na África e na América do Sul. Segundo Pedrotti et al. (2015), no Brasil, os solos com maiores problemas de salinização estão concentrados na região semiárida.

A incidência da salinização em regiões secas é explicada pela combinação de características ambientais, como a baixa pluviosidade, elevadas temperaturas, altas taxas de evapotranspiração, drenagem deficiente dos solos e lençóis freáticos rasos (Souza et al., 2016; CODEVASF, 2017; Sá et al., 2021). Associam-se a esses fatores o avanço da prática de irrigação sem manejo adequado da água e dos solos, impulsionada para atender ao aumento da população e à pressão econômica pela produção de alimentos (Ribeiro; Ribeiro Filho; Jacomine, 2016).

No estado de Pernambuco, os sistemas hidrográficos localizados no semiárido apresentam diferentes graus de susceptibilidade ambiental à salinização, levando em consideração os fatores de ordem físico-natural e antropogênica, apontados anteriormente. "Nesse contexto, está a sub-bacia hidrográfica do Riacho do Pontal, que, diante do seu intenso

uso e das projeções futuras para expansão da agricultura irrigada, apresenta áreas com graus elevados de risco para salinização de seus solos.

Diante do exposto anteriormente, observa-se a interação entre elementos dos sistemas físicos naturais e antropogênicos no desenvolvimento do processo de salinização dos solos de uma determinada área. Considerando as práticas agrícolas, os tipos de solos e as características do relevo, que, juntas, podem potencializar o acúmulo de sais sobre as áreas agricultáveis, o presente estudo tem como objetivo analisar as diferentes contribuições das microbacias hidrográficas no processo de salinização da sub-bacia do Riacho do Pontal, no semiárido do estado de Pernambuco.

A escolha da sub-bacia hidrográfica do Riacho do Pontal ocorreu em razão de sua relevância para a agricultura na região, conforme destacado pela CODEVASF (2017), e devido à susceptibilidade à salinização de determinados solos, conforme identificado no estudo de Castro e Santos (2015), além de ser uma unidade ambiental em que a dinâmica de funcionamento se encaixa como um sistema ambiental, com interações visíveis entre os sistemas naturais e antrópicos, segundo a concepção de Amorim (2012).

Acrescenta-se que, até o momento, os estudos sobre a salinização dos solos no semiárido brasileiro utilizam de forma reduzida a relação entre os fatores físico-naturais de uma bacia hidrográfica como contribuintes à salinização das bacias adjacentes. Geralmente, tais estudos concentram-se em pontos específicos e, em muitos casos, desconsideram os aspectos de contribuição para a salinização distantes dos pontos amostrais.

Materiais e métodos

Localização e caracterização da área de estudo

A sub-bacia do Riacho do Pontal é afluente do Rio São Francisco e está localizada no oeste do estado de Pernambuco, abrangendo partes dos municípios de Petrolina, Lagoa Grande, Dormentes e o território completo de Afrânio (Figura 1). Sua área representa 6.015,33 km², entre as coordenadas 8°19'00" e 9°13'24" de latitude sul e 40°11'42" e 41°20'39" de longitude oeste, correspondendo a 6,12% do território estadual (Silva et al., 2012; Ferreira et al., 2017).

Procedimentos teóricos e metodológicos

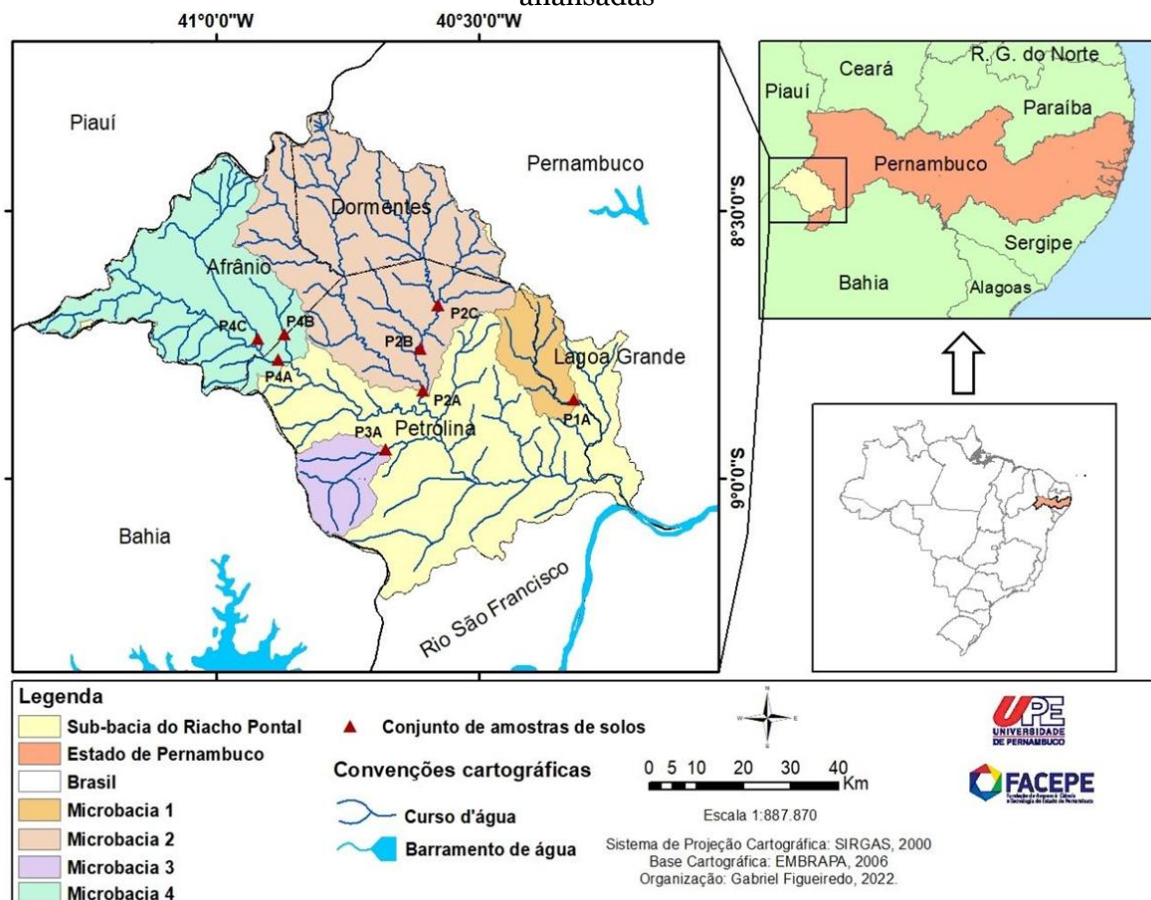
Para a realização do presente estudo, foi necessário mapear/selecionar quatro microbacias internas à sub-bacia hidrográfica do Riacho do Pontal, sendo elas as que apresentaram maiores susceptibilidades à salinização, de acordo com o estudo de Castro e Santos (2015). A partir daí, foram realizadas etapas de campo e laboratório.

Para este estudo, empregou-se o conceito de sub-bacia, baseado na concepção de Gomes, Bianchi e Oliveira (2021), a qual é definida como um fragmento multidimensional da rede fluvial, composto por outras sub-bacias ou microbacias hidrográficas, que apresentam padrão de drenagem endorreico.

Quanto ao conceito de microbacia, esta é definida como a menor base hierárquica de uma bacia hidrográfica, que geralmente é representada por drenagens de primeira, segunda e até terceira ordem, levando em consideração que seus antecedentes sejam canais efêmeros. Acrescenta-se que esses canais confluem em direção a um canal que formará uma sub-bacia (Gomes; Bianchi; Oliveira, 2021).

Para análise dos graus de salinização dos solos, as amostras foram agrupadas em conjuntos amostrais compostos por quatro áreas de coleta, cada uma com solo coletado a uma profundidade de 0-30 cm, de acordo com o Manual de Procedimentos de Coleta de Amostras em Áreas Agrícolas para Análise da Qualidade Ambiental, desenvolvido por Filizola, Gomes e Souza (2006).

Figura 1: Localização da sub-bacia hidrográfica do Riacho do Pontal e as microbacias analisadas



As coletas ocorreram em áreas próximas ao exutório de cada microbacia e em outros pontos, dependendo do tamanho de cada unidade de estudo. Os solos foram armazenados em recipientes plásticos, com os devidos cuidados contra contaminação, e os pontos de coleta foram registrados através do aparelho receptor do Sistema de Posicionamento Global (GPS), marca Garmin, modelo Etrex 30x.

Em laboratório, foram realizadas as análises químicas de pH (potencial hidrogeniônico), PST (Percentual de Sódio Trocável - Equação 1) e CE (Condutividade Elétrica) de todas as amostras de solo, de acordo com o Manual de Métodos de Análise de Solos (EMBRAPA, 2017), para verificação da presença de sais nas amostras.

$$PST = (Na^+ / CTC) * 100 \quad (1)$$

Em que: Na^+ é a quantidade de sódio presente na amostra e CTC representa a Capacidade de Troca de Cátions.

Com os resultados das análises químicas, os solos foram classificados como salinos, sódicos e salino-sódicos a partir da metodologia de Bohn, McNeal e O'Connor (1985) (Quadro 1), a qual foi empregada recentemente, em vários estudos como os desenvolvidos por Castro e Santos (2020) e Castro, Santos e Araújo (2021).

Quadro 1 - Critérios para classificação dos solos quanto à presença de sais

Classificação dos solos	pH	Limite dos parâmetros CE (ds m ⁻¹)	PST
Normais	<8,5	<2	<15
Salinos	<8,5	>2	<15
Sódicos	>8,5	<2	>15
Salinos-sódicos	<8,5	>2	>15

Fonte: Bohn, McNeal e O'Connor (1985).

Para auxiliar na análise das possíveis origens e causas da salinização dos solos, foram realizados mapeamentos da declividade do terreno, tipologia dos solos e uso e cobertura da terra. Atributos que, juntos, podem contribuir para a compreensão do processo de salinização, segundo os estudos de Castro e Santos (2015), Ribeiro, Ribeiro Filho e Jacomine (2016) e Mishra et al. (2023).



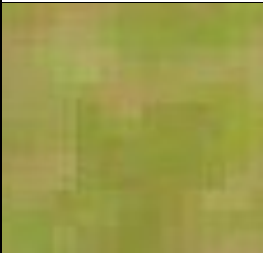



Para mapeamento da declividade foram adquiridas quatro imagens de radar da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) correspondente às cartas: SC-24-V-A; SC-24-V-B; SC-24-V-C; e SC-24-V-D, com resolução espacial de 90 metros, materiais esses disponíveis, para todo território nacional, pela EMBRAPA e organizado por Miranda (2005). Os intervalos das classes de declividade foram adaptados da metodologia de mapeamento de declividade da EMBRAPA (1979).

Para o mapeamento dos solos, foi utilizada a base de dados pedológica na escala de 1:100.000, disponível no Zoneamento Agroecológico de Pernambuco (ZAPE - EMBRAPA, 2006). Todo o processo de mapeamento, envolvendo a declividade e os solos, foi realizado com o auxílio do *software* ArcGIS 10.8, versão demonstrativa.

Para a confecção do mapa de uso e cobertura da terra, foram utilizadas duas imagens geradas pelo sensor *Operational Land Imager* (OLI), acoplado ao satélite Landsat 8, sendo a primeira da órbita 217, ponto 66, de fevereiro de 2021, e a segunda da órbita 218, ponto 66, datada de março de 2021.

No *software* ArcGIS 10.8, foram realizadas a união das faixas espectrais do visível (vermelho, verde, azul), infravermelho próximo e infravermelho médio. A partir da composição colorida RGB 6-5-4, foi procedida a classificação por objeto (GEOBIA) no *software* eCognition 8.1, sendo mapeadas 4 classes de uso e cobertura das terras, sendo elas: Caatinga fechada; Caatinga aberta; Solo exposto/pastagem/agricultura de sequeiro; e nuvens associada com sombra de nuvens, esta última não considerada na análise (Quadro 2).

Quadro 2 – Combinação colorida RGB 654 empregada no mapeamento e, as fisionomias das tipologias de uso e cobertura das terras nas microbacias de estudo

Uso e cobertura	RGB	Fisionomia das classes de uso e cobertura
Caatinga fechada		
Caatinga aberta		
Solo exposto/pastagem/agricultura de sequeiro		

Fonte: autores, 2023.

Resultados e Discussões

Contribuição à salinização dos solos da microbacia hidrográfica 1

Ao analisar a presença de sais no único conjunto amostral de solos na microbacia hidrográfica 1 (Figura 2), o mesmo foi classificado como sódico, apesar de a CE ter alcançado o valor de $0,38 \text{ dS.m}^{-1}$, ou seja, menor que 2 dS.m^{-1} (Quadro 1). No entanto, os parâmetros que proporcionaram a classificação deste solo como sódico foram o PST com valor de 33,8% e pH 8,88.

Os altos valores de PST e pH resultam na dispersão das partículas de argila e de matéria orgânica, situação que pode ocasionar dificuldades para a penetração de raízes e problemas de

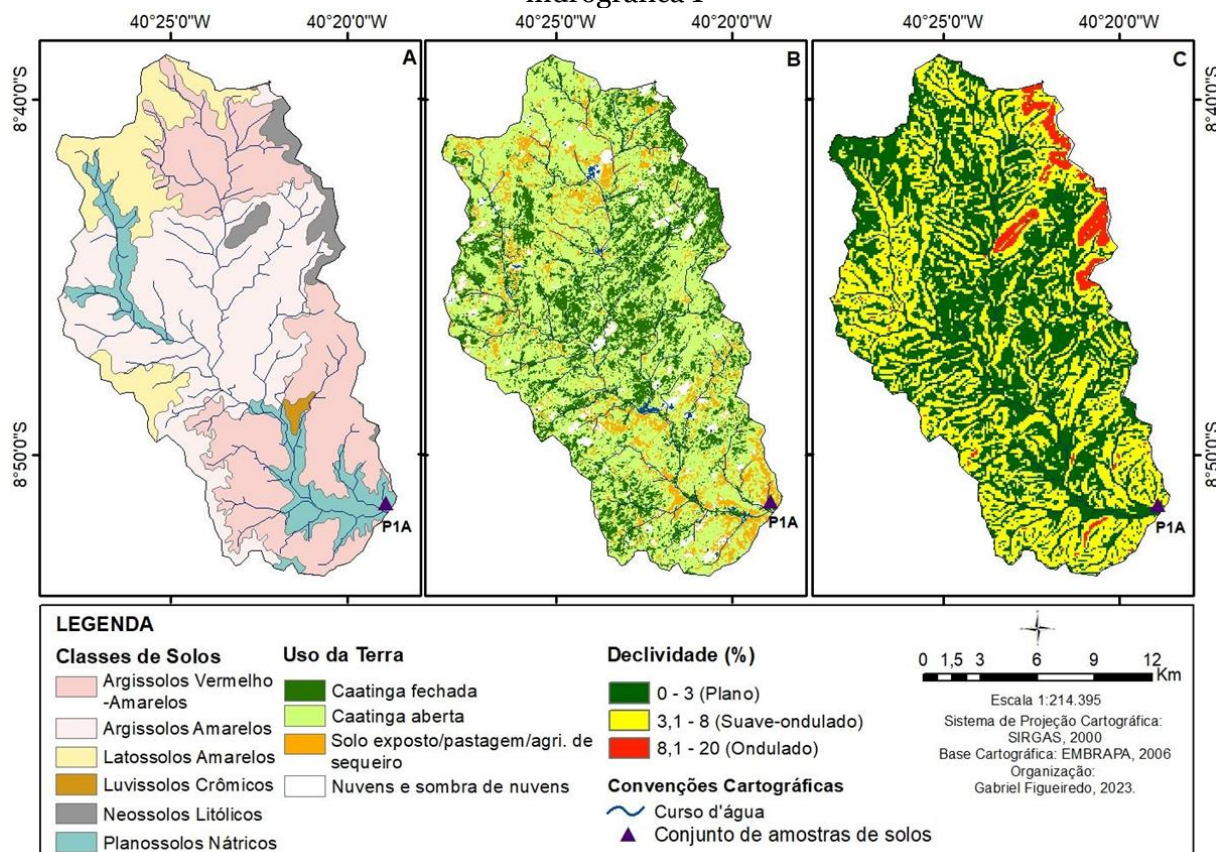
drenagem (Ribeiro; Ribeiro Filho; Jacomine, 2016; Ferreira; Silva; Ruiz, 2016), dificultando as práticas agrícolas locais.

Quadro 3 - Análise química dos conjuntos amostrais e solos coletados nas áreas estratégicas das microbacias hidrográficas envolvidas no estudo

Conjuntos amostrais	Microbacia	Parâmetros			Classificação
		pH	CE – dS.m ⁻¹	PST (%)	
P1A	Microbacia 1	8,88	0,38	33,8	Sódico
P2A	Microbacia 2	6,9	4,05	8,5	Salino
P2B	Microbacia 2	8,12	0,16	1,01	Normal
P2C	Microbacia 2	7	0,26	1,92	Normal
P3A	Microbacia 3	8,23	0,4	1,29	Normal
P4A	Microbacia 4	6,17	0,35	1,18	Normal
P4B	Microbacia 4	5,7	0,22	0,77	Normal
P4C	Microbacia 4	6,62	4,91	7,9	Salino

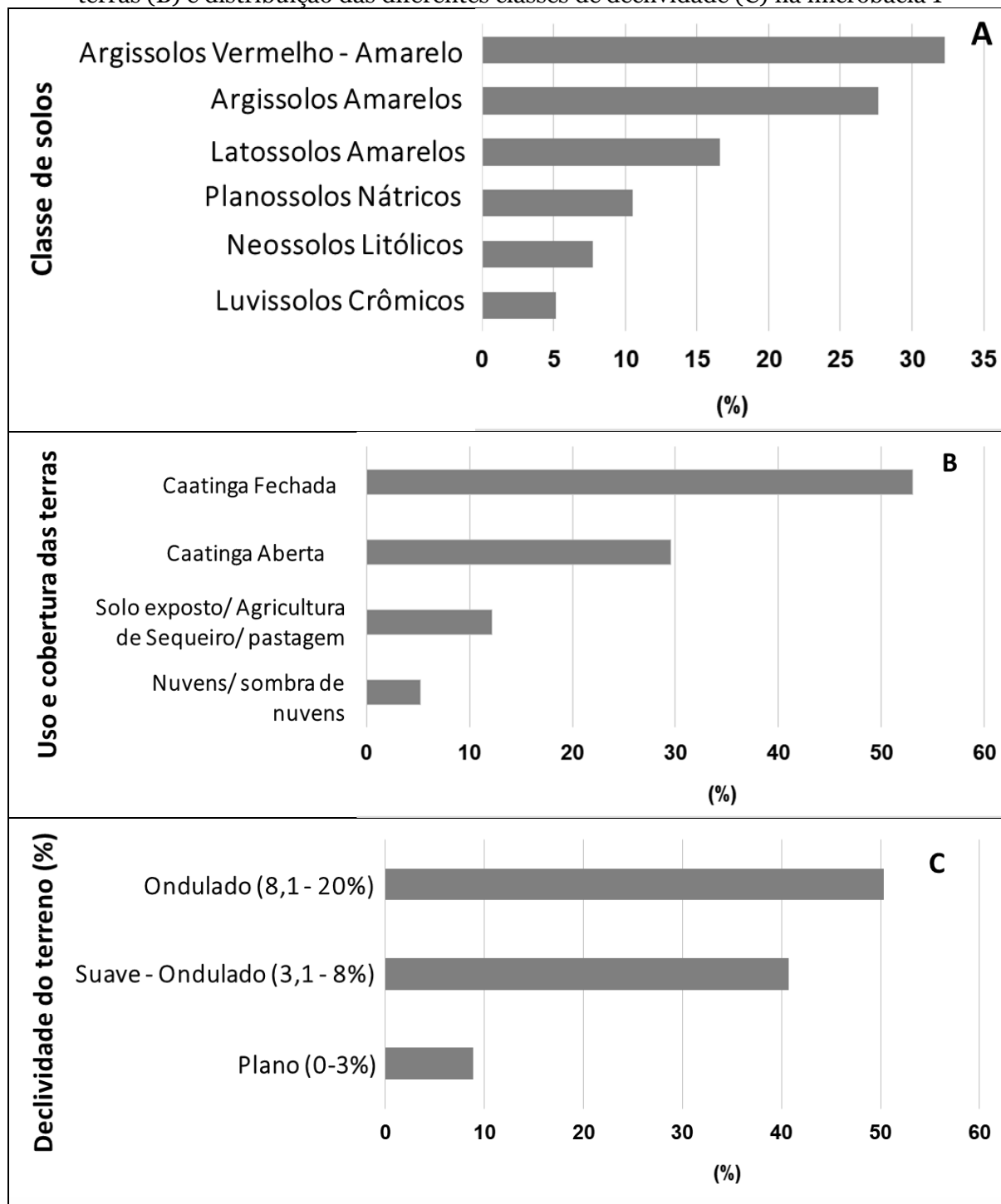
Fonte: autores, 2023.

Figura 2: (A) Classes de solos, (B) uso e cobertura das terras, (C) declividade da microbacia hidrográfica 1



Ao analisar o mapa de solos da microbacia 1 (Figura 2A), observa-se, no gráfico 1A, o predomínio dos Argissolos Vermelho-Amarelos e dos Argissolos Amarelos, que ocupam 32,28% e 27,67%, respectivamente, seguidos pelos Latossolos Amarelos (16,60%), Planossolos Nátricos (10,51%), Neossolos Litólicos (7,74%) e uma pequena mancha de Luvisolos Crômicos (5,16%).

Gráfico 1 - área ocupada pelas classes de solos (A); área ocupada pelo uso e cobertura das terras (B) e distribuição das diferentes classes de declividade (C) na microbacia 1



Fonte: autores, 2023.

De acordo com estudos de Castro e Santos (2015), os Planossolos Nátricos e os Luvissolos Crômicos apresentam maiores susceptibilidades ao desenvolvimento de acúmulo de sais nas superfícies. Os Planossolos Nátricos estão concentrados na parte noroeste e centro-sul da microbacia 1, na área de coleta do conjunto amostral P1A e a montante da mesma área.

Os Luvisolos Crômicos são encontrados próximos ao centro da microbacia, ao lado da área do conjunto amostral P1A.

Os Planossolos Nátricos, no semiárido, são rasos e pouco profundos (de 0,40 a 1,0 m), possuem horizontes superficiais de textura mais arenosa, com horizonte subsuperficial (Bt) impermeável, alta saturação por sódio e, na maioria das vezes, apresentam limitações físicas para a agricultura. O excesso de sódio trocável dispersa as argilas, diminuindo a permeabilidade da água e dificultando a penetração das raízes (Silva; Silva; Barros, 2010).

Os Luvisolos Crômicos são pouco profundos, dificilmente apresentando mais de 1,0 m de solum. São mais comuns no semiárido brasileiro devido, principalmente, às condições climáticas, com chuvas reduzidas e mal distribuídas. Podem ou não apresentar pedregosidade na parte superficial, variam de bem a imperfeitamente drenados, são ricos em bases e possuem acumulação de argila no horizonte B (Lepsch, 2011; EMBRAPA, 2018). São de moderadamente ácidos a ligeiramente alcalinos, com argila de alta atividade e saturação por bases elevada na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B.

Os Argissolos Amarelos e os Argissolos Vermelho-Amarelos são as duas classes com maior predominância na microbacia 1. São solos classificados com baixa susceptibilidade à salinização, de acordo com Castro e Santos (2015). Os Argissolos são bastante heterogêneos, tendo em comum o aumento de argila em profundidade no horizonte B. Devido à sua heterogeneidade, podem ser rasos ou muito profundos, com alta ou baixa saturação de bases, podendo ser arenosos ou muito argilosos na superfície e, nas transições de textura, essas podem ser graduais ou abruptas (Lepsch, 2011).

Os Latossolos Amarelos e os Neossolos Litólicos são classificados, de acordo com Castro e Santos (2015), como tendo muito baixa susceptibilidade à salinização. Os Latossolos Amarelos estão presentes em duas regiões diferentes: na parte norte e na porção oeste, enquanto os Neossolos Litólicos são observados apenas no norte da microbacia, nas áreas mais elevadas.

Os Latossolos Amarelos são profundos, porosos, bem drenados, friáveis e com média disponibilidade de água para as plantas. Suas condições físicas são favoráveis à penetração das raízes, com ausência de pedregosidade, equilíbrio entre drenagem e retenção de água (Silva; Silva; Barros, 2010), características que não favorecem o acúmulo de sais.

Os Neossolos Litólicos são opostos aos Latossolos Amarelos em suas características, sendo rasos, com até 50 cm de profundidade, pouco desenvolvidos, com presença de pedregosidade e afloramentos rochosos. Possuem baixa ou nenhuma evidência de horizontes pedogenéticos subsuperficiais e se formam em materiais praticamente inertes, sem argilas e extremamente resistentes ao intemperismo (Silva; Silva; Barros, 2010; Lepsch, 2011), características que, segundo Castro, Araújo e Santos (2019), os tornam não suscetíveis à salinização.

Ao analisar o uso e a cobertura das terras da microbacia 1, observa-se que há predomínio da Caatinga aberta e da Caatinga fechada, ocupando 53,04% e 29,56%, respectivamente (Gráfico 1B), da área de estudo. A Caatinga aberta predomina nas regiões do extremo norte e sul da microbacia, enquanto a Caatinga fechada está presente, em maior quantidade, na região centro-norte (Figura 2B).

As Caatingas apresentam as menores susceptibilidades à salinização entre os usos e coberturas das terras da microbacia. Segundo Castro, Araújo e Santos (2019), a Caatinga aberta possui baixa susceptibilidade à salinização, enquanto a Caatinga fechada apresenta muito baixa susceptibilidade ao processo de salinização dos solos. Riscos baixos, segundo Sá et al. (2021), devido ao reduzido uso de água para sua manutenção.

As áreas de Solo exposto/pastagem/agricultura de sequeiro (12,17% - Gráfico 2B) aparecem como a terceira classe com maior predominância e se distribuem no norte e sul da microbacia (Figura 2B). São áreas em que os solos, em boa parte do ano, ficam desprotegidos, pois os agricultores utilizam essas áreas apenas no período chuvoso para o plantio e, após seu uso, permanecem totalmente expostas até o próximo período chuvoso.

De acordo com Castro e Santos (2015), esses tipos de uso e cobertura das terras têm média susceptibilidade à salinização, visto que não são submetidos ao uso intensivo de água e, quando utilizadas, ocorre o carregamento dos sedimentos, com ou sem sais, para áreas mais baixas.

Quanto à declividade da microbacia 1, 50,37% da área de estudo é composta por terrenos planos, cuja declividade varia entre 0 e 3%, estando presente em toda a sua extensão. As áreas com terreno suave-ondulado (declividade entre 3,1% e 8%) representam 40,77% da microbacia e também estão presentes em toda a sua extensão, de forma mesclada com a área plana. Em relação às áreas consideradas onduladas (declividade entre 8,1% e 20%), que representam 8,88% da microbacia, estão localizadas ao norte/nordeste da microbacia, com poucas áreas visíveis ao sul (Figura 2C - Gráfico C). A predominância da estrutura plana e suave-ondulada na microbacia 1 deve-se ao fato de esta área estar sobre a Depressão Sertaneja.

As áreas planas possuem muito alta susceptibilidade à salinização dos solos por receberem influência das áreas mais altas, dificuldade no escoamento das águas e proximidade com lençóis freáticos. A estrutura da declividade que aponta para um terreno suave-ondulado possui baixa susceptibilidade e os ondulados são classificados com média susceptibilidade à salinização por serem áreas mais inclinadas em relação à primeira área citada (Castro; Santos, 2015; Castro; Araújo; Santos, 2019).

Diante da estrutura das características dos elementos físicos naturais e de uso e cobertura das terras na microbacia 1, a presença de sais detectados no conjunto amostral P1A é influenciada pelos Planossolos Nátricos.

Contribuição à salinização da microbacia hidrográfica 2

Na microbacia 2, dos três conjuntos amostrais de solos analisados, apenas um foi classificado como salino, sendo ele o P2A. Os demais conjuntos amostrais, P2B e P2C, foram classificados como normais (Quadro 3).

O conjunto amostral de solo (P2A) apresentou valor de CE de $4,05 \text{ dS.m}^{-1}$, pH de 6,9 e PST de 8,5%. Neste caso, a CE foi a responsável por classificar esta amostra como salina, conforme a classificação de Bohn, McNeal e O'Connor (1985) (Quadro 1). Neste contexto, isso significa que, neste conjunto de amostras, há alta concentração de sais solúveis, como cálcio, magnésio e potássio, porém com baixa concentração de sódio.

A concentração de sais nesta amostra advém do acúmulo de sedimentos carregados das áreas a montante da microbacia. Vale destacar que, na região onde foi coletado o conjunto amostral P2A, existe uma barragem (Figura 4A), onde os sedimentos são retidos e, conseqüentemente, os sais também. Nesta região, são perceptíveis os problemas decorrentes da agricultura de vazante, já afetada pela salinização do solo, como redução da produção, folhas queimadas e raquitismo no desenvolvimento das plantas (Figura 4B).

Ao analisar o mapa de solos da Figura 3A, observa-se que, a montante do conjunto amostral P2A, há predomínio dos Argissolos Amarelos e dos Argissolos Vermelho-Amarelos, sendo que o primeiro está presente em 49,36% (Gráfico 2A) da microbacia, concentrando-se principalmente no centro-leste e no sul. Já os Argissolos Vermelho-Amarelos, presentes em 40% da microbacia, concentram-se na porção noroeste (Gráfico 2A).

Figura 3: (A) Classes de solos, (B) uso e cobertura das terras, (C) declividade da microbacia hidrográfica 2

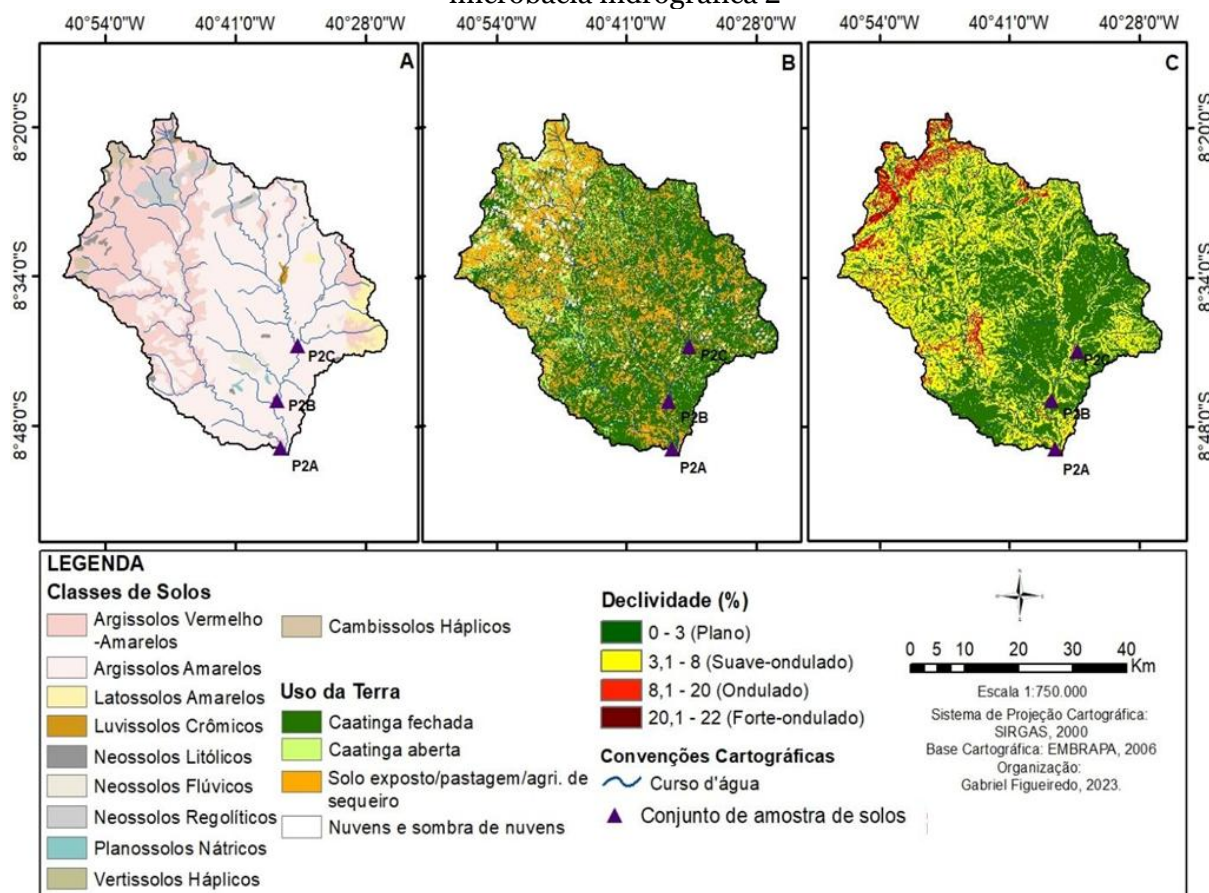
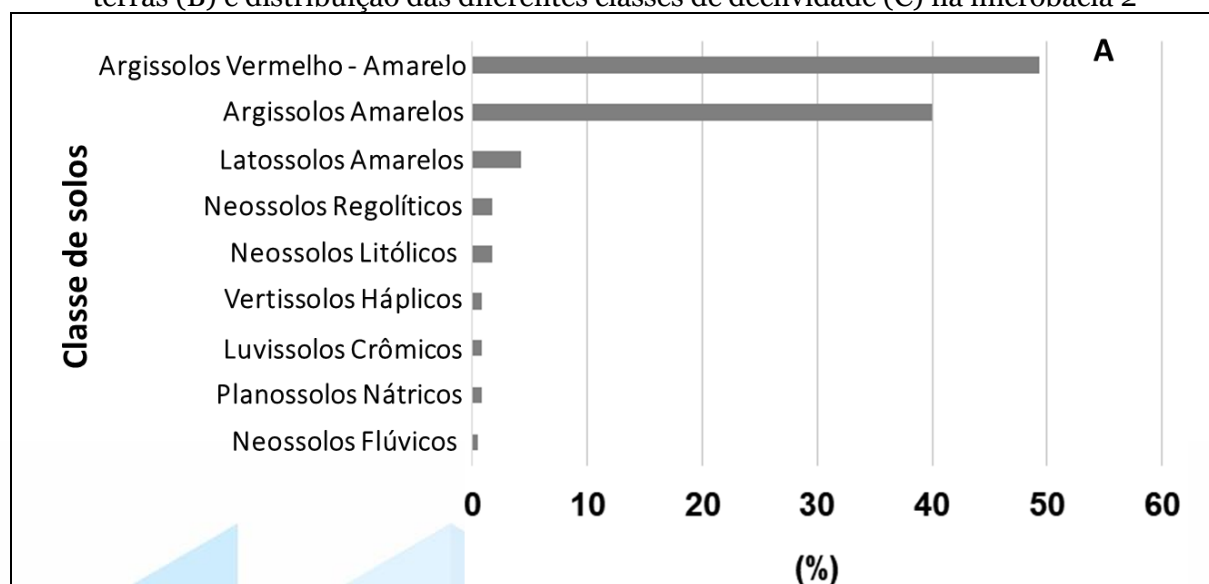
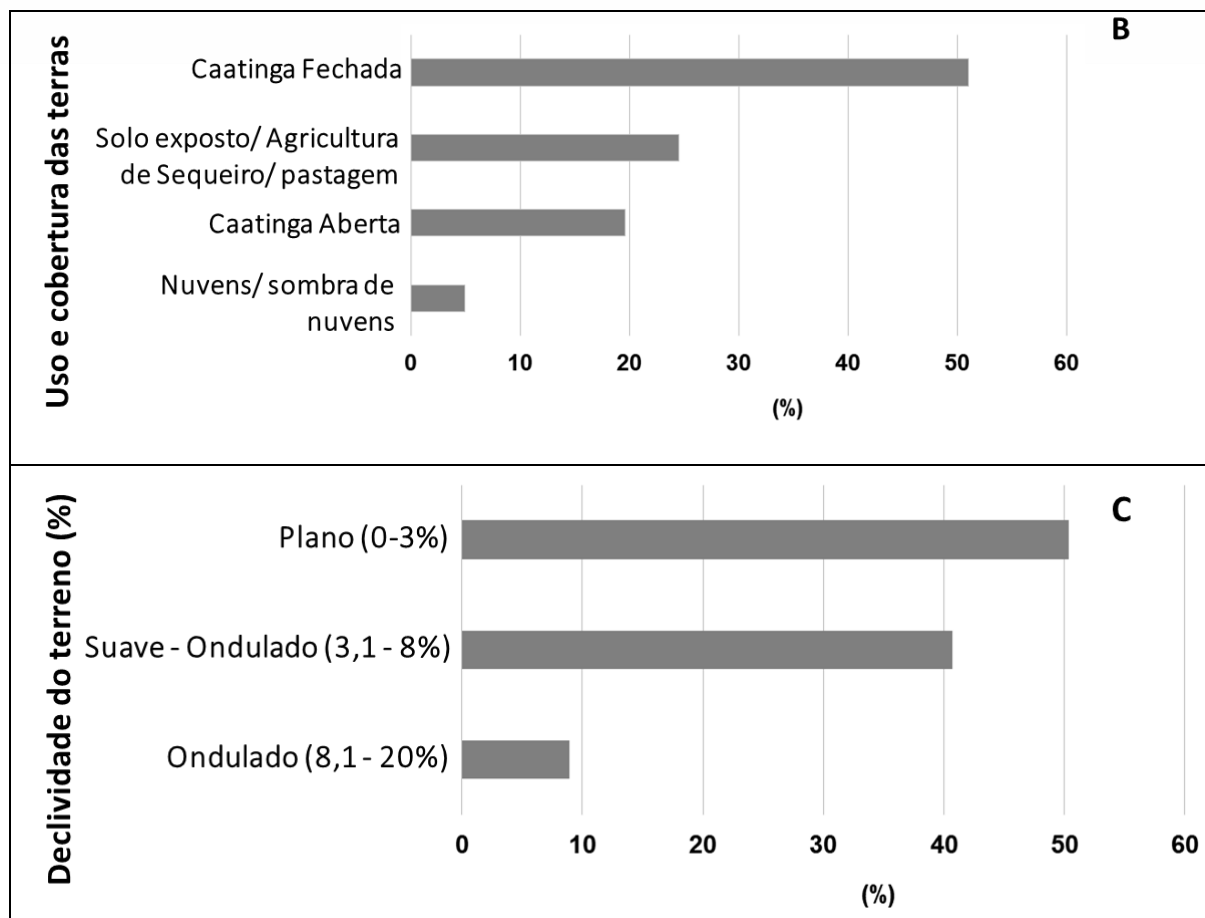


Gráfico 2 - área ocupada pelas classes de solos (A); área ocupada pelo uso e cobertura das terras (B) e distribuição das diferentes classes de declividade (C) na microbacia 2





Fonte: autores, 2023.

Figura 4: barramento que favorece a concentração de sedimentos e sais no exutório da microbacia 2; (A) e agricultura de vazante com plantação de milho apresentando problemas de salinização no conjunto amostral P2A (B)



Fonte: autores, 2023.

Como abordado anteriormente, os Argissolos, por possuírem um horizonte B textural, apresentam altos potenciais para salinização, mas isso depende do tipo de uso e cobertura das terras. Ao analisar a Figura 3B, percebe-se que os tipos de uso e cobertura das terras sobre os Argissolos são as áreas de Caatinga aberta e fechada, as quais juntas ocupam 70,5% da área de estudo (Gráfico 2B), sendo esta última predominante. Há também, áreas de solo

exposto/pastagem/agricultura de sequeiro, presentes em 24,51% da microbacia 2, sendo este último uso concentrado principalmente nas áreas sobre os Argissolos Vermelho-Amarelos no noroeste da microbacia 2, devido à alta concentração da criação de ovinos e caprinos.

Consequentemente, na microbacia 2, a tipologia de uso e cobertura das terras não faz uso concentrado de água, a exemplo das áreas de irrigação, o que reduz a potencialidade de salinização dos Argissolos locais.

Na microbacia em estudo, há a presença de outros solos com menores concentrações, sendo eles: Latossolos Amarelos, Luvisolos Crômicos, Neossolos Litólicos, Neossolos Flúvicos, Neossolos Regolíticos, Vertissolos Háplicos, Planossolos Nátricos e Cambissolos Háplicos, que juntos ocupam 10,63% da área de estudo (Gráfico 2A). Destes solos, os Planossolos Nátricos e os Vertissolos Háplicos apresentam maiores riscos à salinização, situação que pode ser impulsionada pelo uso e cobertura das terras. No entanto, semelhantemente aos Argissolos, não há uso que utilize altas concentrações de água sobre esses solos na microbacia, a exemplo de práticas ligadas à agricultura irrigada, reduzindo assim as possíveis áreas salinizadas a montante do conjunto amostral P2A.

Diante do exposto, qual é a real origem dos sais presentes na amostra P2A? Como destacado anteriormente, no exutório da microbacia, há um barramento de água e, consequentemente, de sedimentos que, ao longo dos anos, causou o acúmulo de sais em pequenas quantidades, intensificando a salinização nas superfícies dos solos a montante.

O estudo desenvolvido por Almenbergas (2023) sobre microbacias no semiárido oeste de Pernambuco apontou que construções de barragens de médio e pequeno porte contribuem para o processo de acúmulo de sais solúveis sobre os solos próximos aos barramentos, incluindo a microbacia 2 discutida neste artigo.

Situação semelhante foi encontrada no estudo de Özalp, Yildirimer e Yüksel (2023), desenvolvido na bacia hidrográfica do Rio Borcka Dam, na Turquia, no qual construções de barragens colaboraram para o aparecimento de áreas salinizadas nos solos ao redor dos reservatórios.

Quanto à declividade do terreno, observa-se que há o predomínio das áreas planas ocupando 42,10% no centro-leste, das feições suave-onduladas ocupando 40,35% no noroeste e das feições onduladas concentradas ao norte e noroeste da microbacia presente em 17,5% (Figura 3C e gráfico 2C). Porém, não fazem significativas intervenções na concentração de sais da amostra P2A.

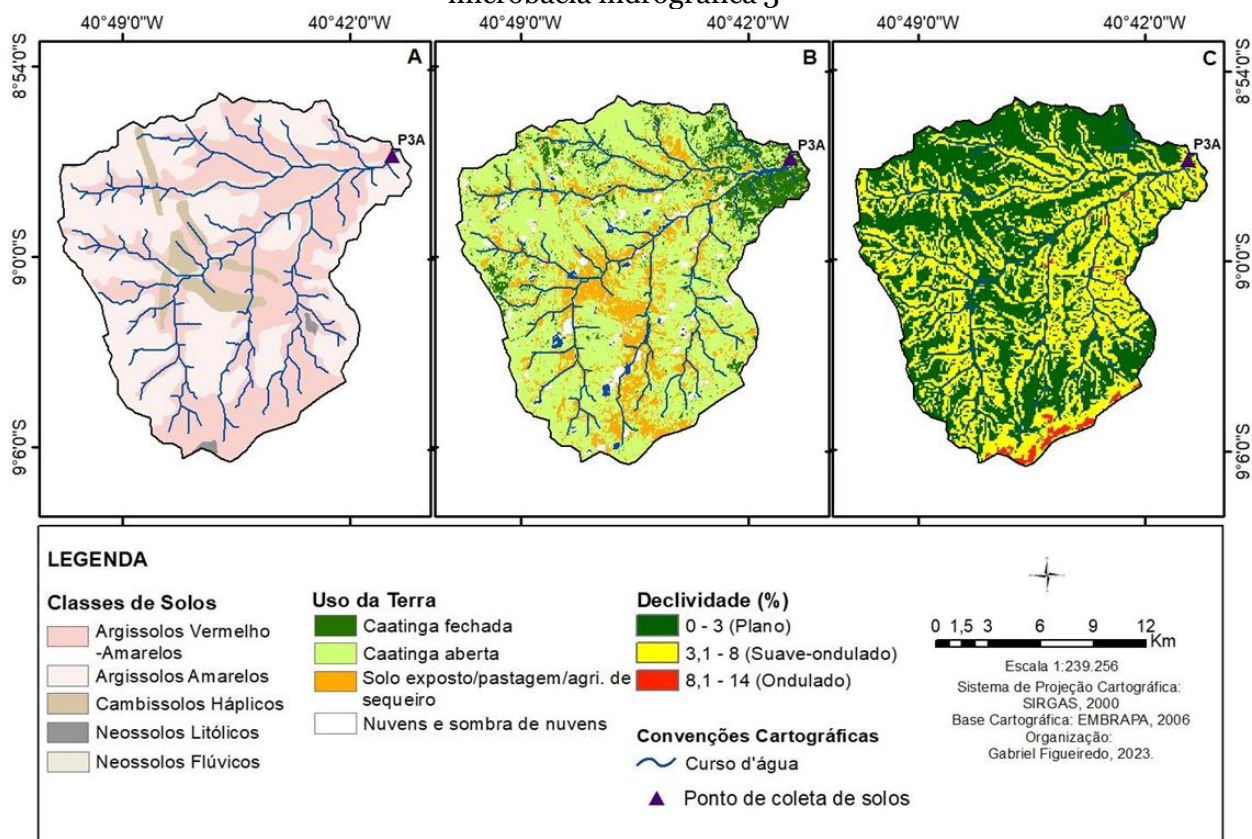
Nos demais conjuntos amostrais, percebe-se um baixo quantitativo de sais, classificando-os como normais. Isso ocorre porque, nas áreas coletadas, além da ausência de fatores primordiais para salinização, como a agricultura irrigada, não há barramento de sedimentos, como ocorre na área do conjunto amostral P2A.

Contribuição à salinização da microbacia hidrográfica 3

Na microbacia 3, apenas um conjunto amostral de solo foi examinado, o qual foi classificado como normal, de acordo com a metodologia de Bohn, McNeal e O'Connor (1985). Nesta amostra, o pH foi de 8,23, a CE foi de 0,4 dS.m⁻¹ e o PST foi de 1,29% (Quadro 3), indicando baixa concentração de sais nas superfícies.

Semelhante às demais microbacias, há predomínio dos Argissolos Vermelho-Amarelos e dos Argissolos Amarelos (Figura 5A), presentes em 44,27% e 41,22% da área, respectivamente, com manchas de Cambissolos Háplicos ocupando 12,21%, e pequenas concentrações de Neossolos Litólicos e Neossolos Flúvicos, presentes em menos de 3% da área de estudo (Gráfico 3A). Desses solos, os Argissolos apresentam maiores potenciais para salinização, desde que estejam sob manejo que envolva o excesso de água.

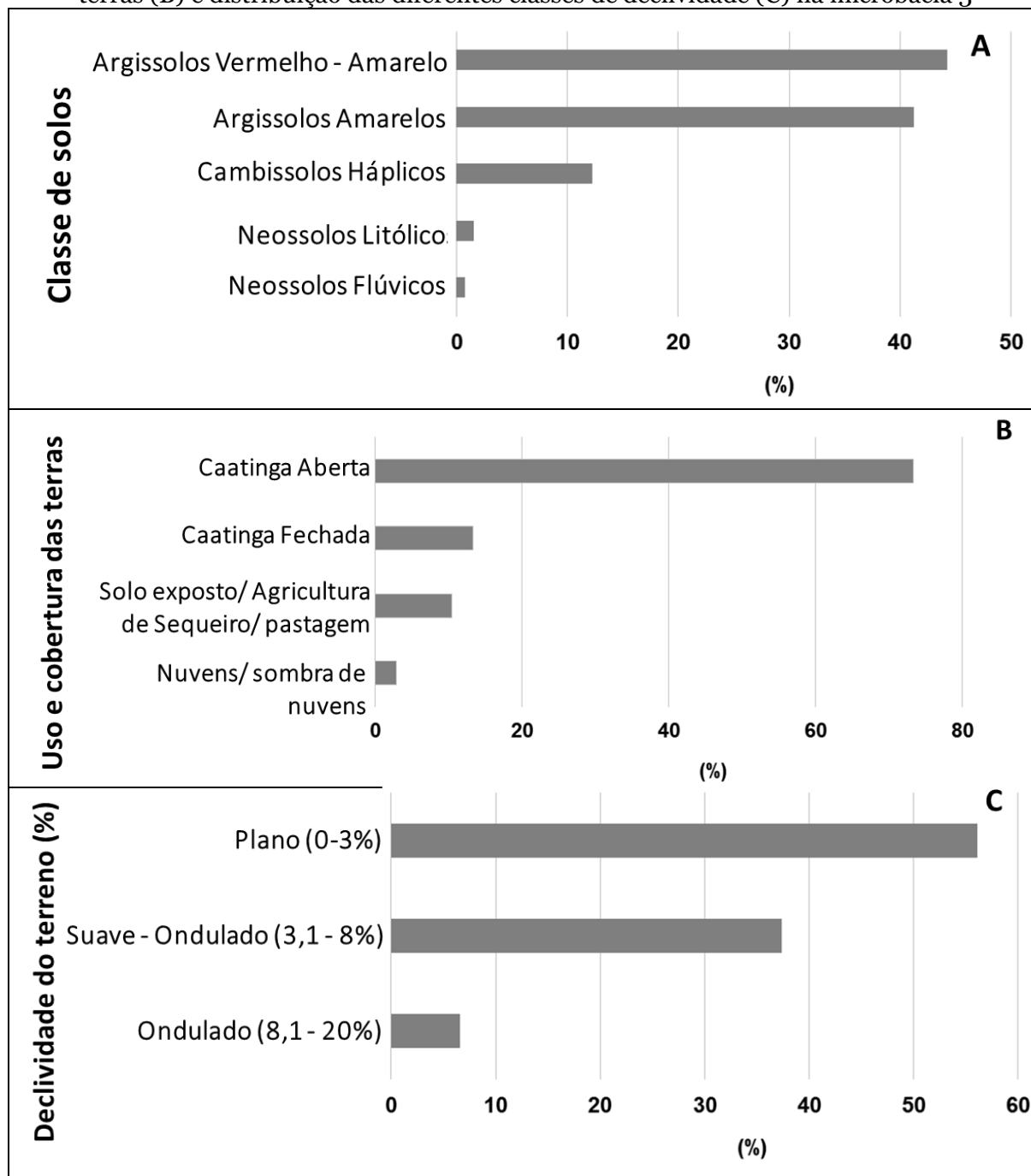
Figura 5: (A) Classes de solos, (B) uso e cobertura das terras, (C) declividade da microbacia hidrográfica 3



Neste contexto, analisando o mapa de uso e cobertura das terras na Figura 5B, observa-se Não há presença de agricultura irrigada ou qualquer manejo em que o uso da água favoreça a ascensão dos sais na superfície dos solos e, conseqüentemente, o carreamento desses sais até a área de coleta da amostra P3A. Vale destacar que o uso e a cobertura predominantes da microbacia são a Caatinga aberta, presente em 73,3% da área, seguida das áreas de solo exposto/pastagem/agricultura de sequeiro (10,47%) e Caatinga fechada, ocupando 13,33% (Gráfico 3B).

O que chama a atenção na microbacia 3 é o domínio da Caatinga aberta. Isso ocorre porque a microbacia 3 está em um dos primeiros ambientes degradados da sub-bacia hidrográfica do Riacho do Pontal. Acrescenta-se, segundo Aquino e Santos (2020), que na área de estudo há excesso de pedregosidade nos horizontes iniciais dos solos locais, o que impede o desenvolvimento de espécies arbóreas, como as presentes nas microbacias 1 e 2. Porém, mesmo com uma cobertura vegetal de menor porte sobre os solos, não há interferência no processo de salinização.

Gráfico 3 - área ocupada pelas classes de solos (A); área ocupada pelo uso e cobertura das terras (B) e distribuição das diferentes classes de declividade (C) na microbacia 3



Fonte: autores, 2023.

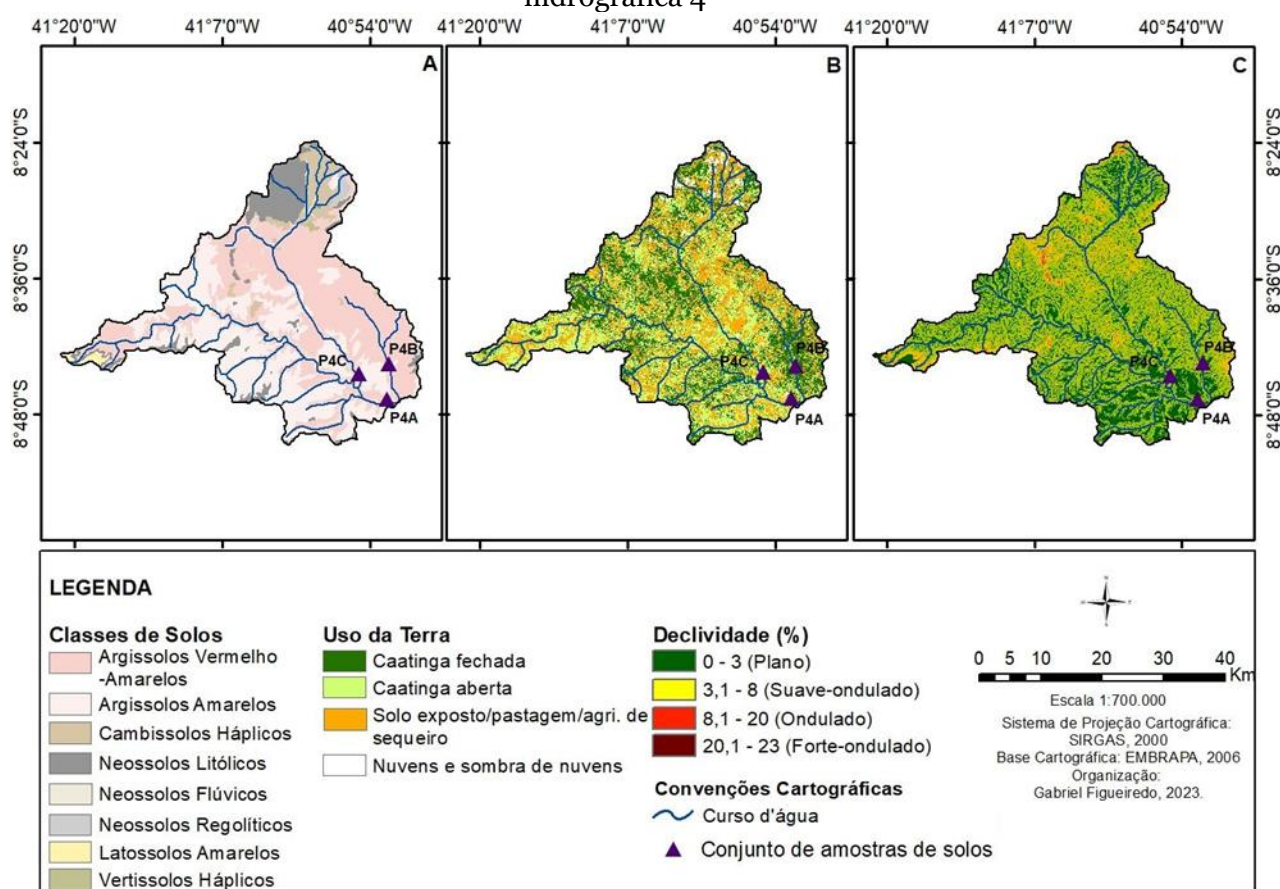
Quanto à declividade (Figura 5C), há predomínio das superfícies planas, presentes em 56% da área de estudo, seguidas das superfícies suave-onduladas (37,38%) (Gráfico 3C). Essa situação reduz o deslocamento de sedimentos até o ponto amostral de coleta P3A, o que, somado à ausência de barramentos próximos ao ponto de coleta, favorece o não acúmulo de sedimentos com sais nesta área. Essa situação, alinhada ao tipo de uso e cobertura das terras e às características dos solos, colabora para a ausência de salinização no ponto amostral.

Contribuição à salinização da microbacia hidrográfica 4

Na microbacia 4 (Figura 6), foram coletados três conjuntos amostrais para avaliação da salinização. Destes, apenas um conjunto foi classificado como salino, de acordo com a metodologia de Bohn, McNeal e O'Connor (1985). O conjunto foi o P4C, em que o valor da CE foi $4,91 \text{ dS.m}^{-1}$ (Quadro 3).

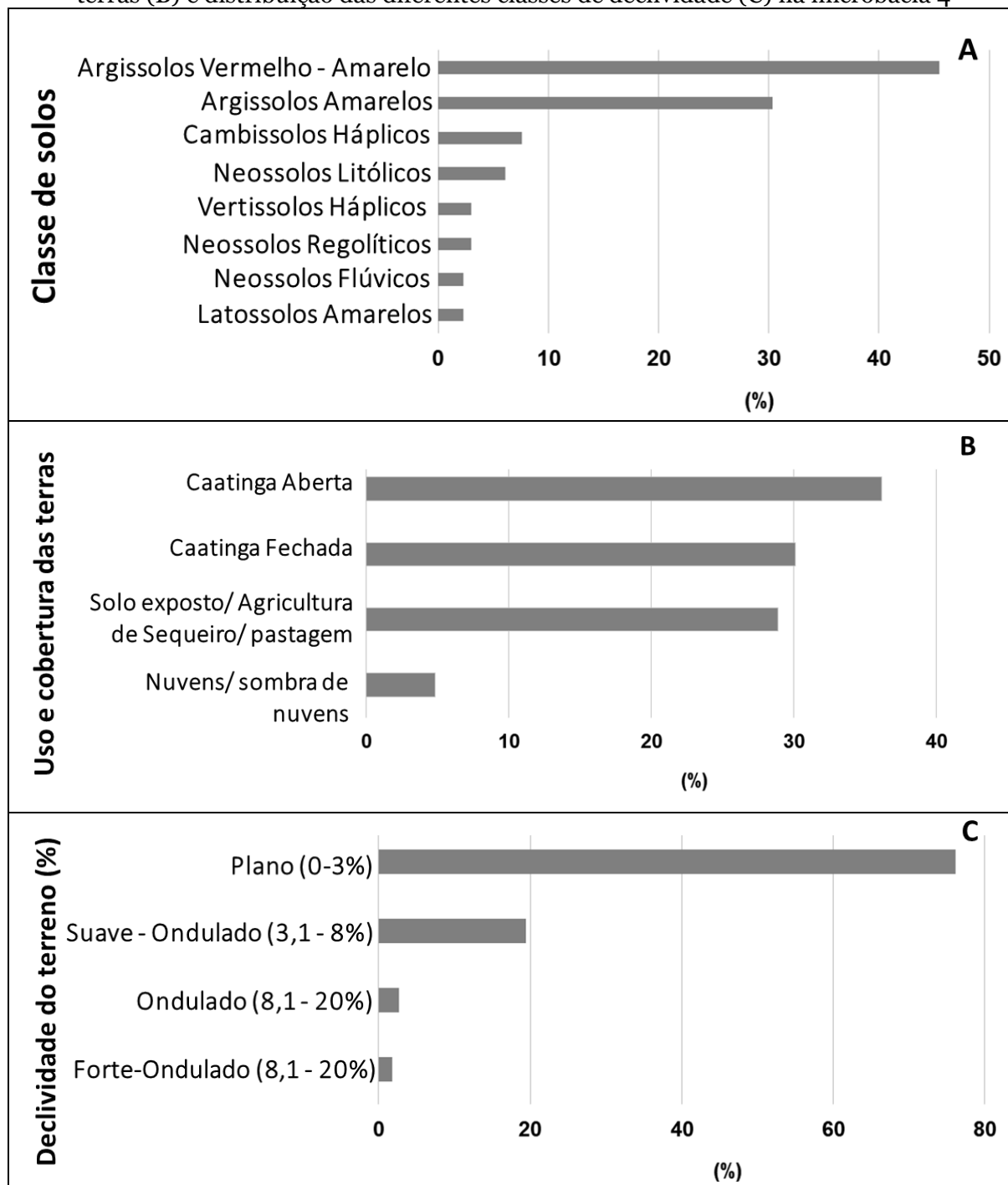
A microbacia 4 apresenta oito tipos de solos (Figura 6A), sendo eles: Argissolos Vermelho-Amarelos, Argissolos Amarelos, presentes em 45,45% e 30,3% da microbacia 4, respectivamente; Cambissolos Háplicos (7,5%), presentes nas encostas das áreas mais elevadas; Neossolos Litólicos, Neossolos Flúvicos e Neossolos Regolíticos, que juntos ocupam 11% da microbacia; Latossolos Amarelos (3%); e Vertissolos Háplicos, presentes em 3% da microbacia 4 (Gráfico 4A).

Figura 6: (A) Classes de solos, (B) uso e cobertura das terras, (C) declividade da microbacia hidrográfica 4



Entre as classes de solos da microbacia 4, a FAO (2015) considera os Vertissolos Háplicos com alta susceptibilidade ao acúmulo de sais devido às suas características, como a concentração de argilas do tipo 2:1, que se caracterizam por provocar expansões quando úmidos e contrações quando secos, alta saturação por bases com teores elevados de cálcio e magnésio, e pH variando da faixa neutra para alcalina. Porém, a presença deste solo na área de estudo é ínfima.

Gráfico 4 - área ocupada pelas classes de solos (A); área ocupada pelo uso e cobertura das terras (B) e distribuição das diferentes classes de declividade (C) na microbacia 4



Fonte: autores, 2023.

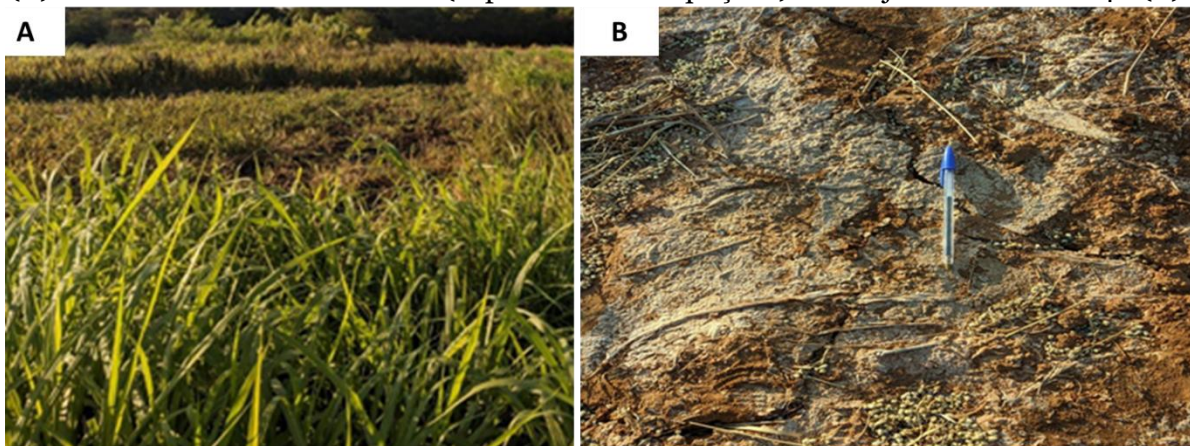
Quanto ao uso e cobertura das terras (Figura 6B), a microbacia 4 apresenta Caatinga aberta, Caatinga fechada e Solo exposto/pastagem/agricultura de sequeiro, ocupando 36,14%, 30,12% e 28,9%, respectivamente (Gráfico 4B). Observa-se que, nesta microbacia, a categoria de uso Solo exposto/pastagem/agricultura de sequeiro ocupa uma área maior em comparação com as demais microbacias. No entanto, não interfere no processo de contribuição para a salinização, visto que o manejo presente utiliza pouca água acumulada sobre os solos. De modo

geral, a Caatinga fechada e o Solo exposto/pastagem/agricultura de sequeiro se concentram ora próximas aos canais fluviais, ora distantes dos mesmos.

Apesar dos condicionantes físicos naturais favorecerem parcialmente a salinização, e o conjunto amostral salino estar localizado no leito de um barramento, a análise do conjunto amostral P4A apontou baixa presença de sais sobre os solos, e os valores encontrados não classificam esta microbacia como tendo potencial de contribuição para a salinização da sub-bacia do Riacho do Pontal.

O conjunto amostral P4C, extraído sobre um Neossolo Flúvico, foi o único classificado como salino. Tal amostra foi retirada de uma área onde são cultivados milho (*Zea mays L.*) e capim Tangola (*Brachiaria arrecta x Brachiaria mutica*) (Figura 7A). Quanto ao solo, em campo, foram observadas camadas compactadas a partir dos 15 cm de profundidade, o que contribui para problemas relacionados à drenagem da água, favorecendo a salinização. Na mesma área, foi possível observar também manchas de sais sobre o solo, indicando problemas de salinização (Figura 7B).

Figura 7: área sobre plantação de capim Tangola (*Brachiaria arrecta x Brachiaria mutica*) (A) e Neossolo Flúvico salinizado (superfície esbranquiçada) no conjunto amostral P4C (B)



Fonte: autores, 2023.

Observa-se que esta amostra (P4C) não se encontra no exutório da microbacia 4, o que indica que a presença de sais está restrita a este ambiente devido à deficiência de drenagem do solo. As demais amostras, classificadas como normais, apresentam características que indicam a ausência de indícios de salinização, como a presença de sais cristalizados na superfície, além dos valores das análises químicas (Quadro 3).

Outro fator que chama atenção é a comparação entre os conjuntos amostrais P4A e P4C. No primeiro, sobre solo semelhante, não foi aferida a presença de sais e, por estar a jusante do conjunto amostral P4C, é perceptível que os sais presentes nas superfícies da área amostral P4C não atingem o exutório desta microbacia. Isso pode estar relacionado à presença de barragens entre os pontos, além do fato de que, mesmo considerados solos salinos, os valores encontrados não são tão expressivos.

O relevo contribui pouco para o processo de salinização e para o fornecimento de sais deslocados pelos sedimentos dos solos. De acordo com a figura 6C e o gráfico 4C, há predomínio das áreas planas e suave-onduladas, as quais juntas estão presentes em 95,77% da microbacia 4. As demais classes de declividade ocupam apenas 4,42% da microbacia e estão sobre solos com baixo risco de salinização, como os Neossolos Litólicos e os Cambissolos Háplicos, impossibilitando o deslocamento de sais para as demais áreas da microbacia. Isso sinaliza que os sais encontrados no conjunto amostral P4C têm origem nas contribuições do próprio local.

Considerações finais

Das quatro microbacias selecionadas para o estudo, apenas duas (microbacia 1 e microbacia 2) apresentam maior potencial de contribuição para a salinização dos solos na sub-bacia hidrográfica do Riacho do Pontal. Na microbacia 1, o principal fator é a presença de grandes áreas de Planossolos Nátricos, com uso voltado para agricultura de vazante, sequeiro e solo exposto, o que favorece o deslocamento do sódio, presente em grande quantidade nesses solos, para o exutório da microbacia. Na microbacia 2, o problema está relacionado ao barramento das águas, o qual também favorece a concentração de sedimentos e, consequentemente, dos sais que são carregados das áreas a montante.

Nas demais microbacias, a ausência de barramentos, associada aos tipos de solos e, principalmente, ao manejo sem práticas que contribuam para a salinização, resulta em uma menor contribuição dessas unidades para o processo de salinização dos solos em outras partes da sub-bacia do Riacho do Pontal.

A presença de altos níveis de sais em algumas microbacias pode afetar negativamente a produtividade agrícola com o passar do tempo. Dessa forma, o presente estudo pode ser útil para o planejamento e gestão ambiental da área de estudo, além de contribuir para o desenvolvimento de estratégias de manejo que visem reduzir a salinização e melhorar a produtividade agrícola na região.

Embora o número de conjuntos amostrais salinos seja baixo, os resultados obtidos indicam que os objetivos do estudo foram alcançados. No entanto, são necessárias novas investigações para aprofundar o conhecimento sobre a temática e estimular o desenvolvimento de práticas e políticas eficazes que possam reduzir e evitar os problemas de salinização na sub-bacia do Riacho do Pontal.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE) pela Bolsa de Incentivo Acadêmico ao primeiro autor, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de Mestrado do primeiro autor e ao Laboratório de Solos do IF Sertão Petrolina campus Zona Rural.

Referências

ALMENBERGAS, M. C. P. C. **Salinização das águas do reservatório da microbacia e Cruz de Salinas: análise a partir da dinâmica das unidades de paisagens**. 2023. 75 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Pernambuco, Petrolina, 2023.

AMORIM, L. A.; SANTOS, A. M. Reflexos do último ciclo de estiagem na produção agropecuária em municípios susceptíveis à desertificação no semiárido de Pernambuco. **Geografia** (Londrina), v.33, n. 1, p.249 – 263, 2024.

AMORIM, R. R. Um novo olhar na geografia para os conceitos e aplicações de geossistemas, sistemas antrópicos e sistemas ambientais. **Caminhos de Geografia**, v.13, n.41, p.80 – 101, 2012.

AQUINO, J. W. C.; SANTOS, A. M. Análise da estrutura e distribuição da cobertura vegetal das caatingas em diferentes áreas de sequeiro no Vale do São Francisco (Bahia e Pernambuco) nas últimas três décadas. **Geografia, Ensino e Pesquisa**, v.24, p.1-32, 2020.

BOHN, H. L.; MCNEAL, B. L.; O'CONNOR, G. A. **Soil chemistry**. 2ed. New York: J. Wiley & Sons, 1985.

CASTRO, F. C.; SANTOS, A. M. Susceptibilidade ambiental a salinização das terras em municípios da microrregião de Petrolina – Pernambuco – Brasil. **Caminhos de Geografia**, v.16, n.56, p.160-172, 2015.

CASTRO, F. C.; ARAÚJO, 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.

CASTRO, F. C.; SANTOS, A. M. Salinity of the soil and the risk of desertification in the semiarid region. **Mercator**, v.19, p.e19002, 2020.

CODEVASF. Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco e Parnaíba. **Salinização no Vale do São Francisco**. Petrolina: CODEVASF, 2017. Disponível em: <https://www.codevasf.gov.br/linhas-de-negocio/irrigacao/impactos-ambientais/salinizacao-do-solo>. Acesso: 12 dez. 2022.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Súmula 10. **Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1979.

EMBRAPA. **Zoneamento Agroecológico de Pernambuco** - ZAPE. Recife: EMBRAPA Solos, 2006.

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

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5ed. Brasília: EMBRAPA, 2018.

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

FAO. **A importância da conservação dos solos para a produção de alimentos no mundo**. Brasília: FAO Brasil, 2018. Disponível em: <http://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/pt/c/1116677/>. Acesso em: 10 out. 2021.

FERREIRA, P. S.; SANTOS, A. M.; FERREIRA, J. M. S.; FERREIRA, H. S.; GALVINCIO, J. D. Análise da suscetibilidade a desertificação na bacia hidrográfica do rio Pontal - Pernambuco - Brasil. **Investigaciones Geográficas**, v.53, p.37-50, 2017.

FERREIRA, P. A.; SILVA, J. B. L.; RUIZ, H. A. Aspectos físicos e químicos de solos em regiões áridas e semiáridas. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (Orgs.) **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2016, p. 17-34.

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.

IVUSHKIN, K.; BARTHOLOMEUS, H.; BREGT, A. K.; PULATOV, A.; KEMPEN, B.; SOUSA, L. Global mapping of soil salinity change. **Remote sensing of environment**, v. 231, p. 111260, 2019.

LEPSCH, I.F. **19 lições de Pedologia**. Oficina de textos, São Paulo, 2011.

LIRA, D. R. **Evolução geomorfológica e paleoambiental das bacias do riacho do pontal e GI-8 no Sub-Médio São Francisco**. 2014. 234f. Tese. (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife: UFPE, 2014.

MIRANDA, E. E. **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa>>. Acesso: 24 mai. 2022.

MISHRA, A. K. et al. Promising management strategies to improve crop sustainability and to amend soil salinity. **Frontiers in Environmental Science**, v.10, p. 962581, 2023.

NEVES, B. B. B.; SCHMUS, W. R. V.; ANGELIM, L. A. A. Contribuição ao conhecimento da evolução geológica do Sistema Riacho do Pontal - PE, BA, PI. **Revista do Instituto de Geociências - USP**, v.15, n.1, p. 57-93, 2015.

ÖZALP, M.; YILDIRIMER, S.; YÜKSEL, E. E. The impacts of human-induced disturbances on spatial and temporal stream water quality variations in mountainous terrain: A case study of Borcka Dam Watershed. **Heliyon**, v.9, n.8, p. e188272023, 2023.

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.

POTT, C. M.; ESTRELA, C. C. Histórico ambiental: desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento. **Estudos Avançados**, v. 31, n. 89, p. 271-283, 2017.

QUINTANA, A. C.; HACON, V. O desenvolvimento e a crise ambiental. **O Social em Questão**, n.25/26. p. 427-444, 2011.

RIBEIRO, M. R.; RIBEIRO FILHO, R. 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.

SÁ, C. S. B.; SHIOSAKI, R. S.; SANTOS, A. M.; CAMPOS, M. A. S. Salinization causes abrupt reduction in soil nematode abundance in the Caatinga area of the Submedio San Francisco Valley, Brazilian semiarid region. **Pedobiologia**, v.85, p.150729, 2021.

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**, p.01-11, 2021.

SILVA, F. H. B. B.; SILVA, A. B.; BARROS, A. H. C. **Principais classes de solos do Estado de Pernambuco**. Recife: EMBRAPA, 2010.

SILVA, M. T.; SILVA, V. P. R.; SOUSA, E. P.; OLIVEIRA, S. D. Análise de Risco de Degradação na Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal - PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 3, p.646-660, 2012.

SOUZA, F. G.; FARIAS, S. A. R.; FILHO, J. G. A. F.; BRITO, K. Q. D. Comportamento dos teores de sais em perfil de solo com vegetação nativa e cultura irrigadas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 11, n.2, p. 60-65, 2016.

SOUZA, P. B.; FARIAS, P. L. C.; XAVIER, J. P. S.; FIGUEIREDO, V. P.; TEIXEIRA, A. F. M. Análise Fisiográfica da Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal - PE. In: LISTO, F. L. R.; MUTZENBERG, D.; TAVARES, B. A. C. **I Workshop de Geomorfologia e Geoarqueologia do Nordeste**. 1ed., Recife: GEQUA, 2016, p.145-152.

WANG, Y.; DENG, C.; LIU, Yan; NIU, Z. LI, Y. Identifying change in spatial accumulation of soil salinity in an inland river watershed, China. **Science of the Total Environment**, v. 621, p. 177-185, 2018.

Recebido em: 02/04/2024.
Aprovado para publicação em: 27/02/2025.