CARACTERIZAÇÃO E INTEGRAÇÃO FISIOGRÁFICA, MORFOMÉTRICA E HIDROCLIMATOLÓGICA DA SUB-BACIA DO RIO DO SAL (SE)

Gabriel Santos Vieira 1 [1] ; Kaique Lima Pinto [2]& Paulo Sérgio de Rezende Nascimento[3]

RESUMO – Este estudo objetiva caracterizar geoambientalmente a Sub-bacia Hidrográfica do rio do Sal, localizada no litoral do estado de Sergipe, por meio da integração de aspectos fisiográficos, morfométricos e do balanço hídrico climatológico. A análise fisiográfica baseou-se na interpretação de dados geológicos, hidrogeológicos, geomorfológicos, pedológicos, de declividade e de uso da terra, permitindo compreender a organização territorial da sub-bacia. A caracterização morfométrica foi realizada em ambiente de Sistema de Informações Geográficas, a partir de parâmetros físicos, hidrológicos e de relevo, possibilitando avaliar a forma da bacia, a organização da rede de drenagem e o escoamento superficial. Os resultados indicam relevo predominantemente plano, condicionado por unidades geológicas e pedológicas que influenciam a dinâmica hidrogeológica. A análise morfométrica revelou uma bacia alongada, de baixa circularidade e drenagem de quarta ordem, favorecendo maior tempo de concentração do escoamento. O balanço hídrico climatológico, calculado pelo método de Thornthwaite e Mather para o período de 2000 a 2023, evidenciou forte sazonalidade, com período chuvoso entre abril e julho, responsável pela recarga hídrica, e período seco prolongado, marcado por deficiência hídrica no solo.

ABSTRACT– This study aimed to geoenvironmentally characterize the Rio do Sal Sub-basin, located on the coast of the state of Sergipe, through the integration of physiographic, morphometric, and climatological water balance aspects. The physiographic analysis was based on the interpretation of geological, hydrogeological, geomorphological, pedological, slope, and land use data, allowing for an understanding of the sub-basin's territorial organization. The morphometric characterization was carried out in a Geographic Information System environment, based on physical, hydrological, and relief parameters, making it possible to evaluate the shape of the basin, the organization of the drainage network, and surface runoff. The results indicate a predominantly flat relief, conditioned by geological and pedological units that influence the hydrogeological dynamics. The morphometric analysis revealed an elongated basin, with low circularity and 4th-order drainage, favoring a longer runoff concentration time. The climatological water balance, calculated by the Thornthwaite and Mather method for the period from 2000 to 2023, showed strong seasonality, with a rainy period between April and July, responsible for water recharge, and a prolonged dry period, marked by soil water deficiency.

Palavras-chave – Balanço hídrico Climatológico. Aspectos geomorfométricos. Geoprocessamento.

[2]) Graduando do Departamento de Engenharia Ambiental – DEAM/UFS, São Cristóvão, Sergipe. E-mail: gabriel.santos.vi@academico.ufs.br
[2]) Graduando do Departamento de Engenharia Ambiental – DEAM/UFS, São Cristóvão, Sergipe. E-mail –. E-mail: kaiquepinto@academico.ufs.br
[3]) Professor do Departamento de Engenharia Ambiental e Programa de Pós-graduação em Geociências e Análise de Bacia - UFS. E-mail: psrn.geologia@gmail.com

INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas são unidades naturais essenciais que integram clima, rocha, relevo, solos e recursos hídricos, refletindo a interação entre esses elementos. Para Tucci (2004), estudar uma bacia envolve analisar a interação entre seus componentes, que influenciam o comportamento da água. Assim, a análise de uma bacia envolve esses aspectos naturais que moldam a circulação e a disponibilidade hídrica, influenciam diretamente as interações socioeconômicas e geopolíticas.

O clima controla a dinâmica hídrica ao regular chuvas e evapotranspiração, definindo períodos de disponibilidade ou escassez (Wang; Liu, 2023) e servindo como base do balanço hídrico para entender a água no solo. A vegetação favorece a infiltração da água, enquanto solos expostos e compactados aumentam o escoamento superficial e reduzem a retenção hídrica (Nascimento Filho; Nascimento, 2022). De acordo com os autores, a composição, textura e estrutura das rochas controlam a permeabilidade, influenciando a infiltração, o fluxo e o armazenamento da água subterrânea. O relevo influencia a velocidade do escoamento superficial, enquanto o solo define a capacidade de retenção hídrica frente à precipitação e à evapotranspiração (Lepsch, 2011). O clima controla a dinâmica hídrica ao regular chuvas e evapotranspiração, definindo períodos de maior disponibilidade ou escassez de água (Wang; Liu, 2023). Esses elementos constituem indicadores do balanço hídrico, permitindo avaliar a disponibilidade e o comportamento da água no solo.

A presença de vegetação propicia melhores condições para a infiltração da água, uma vez que solos expostos e compactados intensificam o escoamento superficial e reduzem o tempo de retenção da água no manto intempérico. Entretanto, há estudos que indicam que a recarga hídrica pode ser maior em áreas com culturas anuais do que em áreas ocupadas por árvores e arbustos, bem como em sistemas de agricultura extensiva quando comparados a áreas florestais. Assim, os efeitos da vegetação sobre a recarga hídrica variam conforme o uso e manejo do solo e as condições ambientais da área analisada.

Nesse contexto, a Sub-bacia do Rio do Sal, situada entre os municípios de Aracaju e Nossa Senhora do Socorro, no estado de Sergipe, apresenta características físicas e climáticas que permitem compreender a sua dinâmica hídrica. Diante disso, este trabalho visa caracterizar geoambientalmente a sub-bacia, integrando a análise de seus aspectos geológicos, geomorfológicos, pedológicos, morfométricos e do balanço hídrico climatológico. Essa abordagem permite explicar como a água se distribui no sistema, em quais períodos ocorrem maiores excedentes ou déficits e de que maneira os elementos naturais contribuem para a dinâmica hidrológica local.

MATERIAL E MÉTODO

A Sub-bacia do rio do Sal, pertencente à Bacia Hidrográfica do rio Sergipe, localiza-se entre as coordenadas geográficas 10°49’48” e 10°55’12” de latitude Sul e 37°02’06” e 37°10’12” de longitude Oeste, abrangendo áreas dos municípios de Nossa Senhora do Socorro e Aracaju (Figura 1). O rio do Sal possui extensão de 9,73 km e drena uma área de 73,6 km².

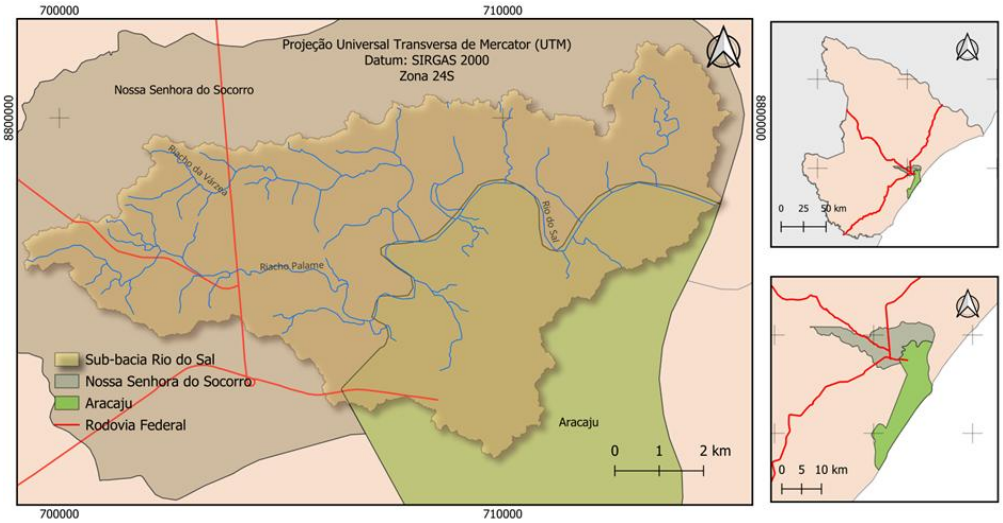


Figura 1 – Mapa de localização da Sub-Bacia do Rio do Sal. Fonte: Autores (2026).

A elaboração deste estudo baseou-se na compilação, confecção e integração de dados cartográficos digitais temáticos de geologia, hidrogeologia, geomorfologia, pedologia e cobertura do solo; declividade; na caracterização morfométrica da rede de drenagem, e em dados climatológicos dos municípios de Aracaju e Nossa Senhora do Socorro e no uso do programa de geoprocessamento QGIS, versão 3.40.12. Os parâmetros morfométricos foram calculados com base nas formulações clássicas da análise morfométrica de bacias hidrográficas, fundamentadas nos trabalhos de Horton (1945) e Strahler (1957), assegurando consistência metodológica e comparabilidade com estudos semelhantes.

O cálculo do balanço hídrico, no período entre 2000 e 2023, a partir de dados dos municípios de Aracaju e Nossa Senhora do Socorro, foi realizado em planilha do Microsoft Excel. As séries temporais longas possibilitam análises mais precisas da variação temporal dos processos hidrológicos, seguindo a metodologia de Thornthwaite (1948) e Thornthwaite e Mather (1955), a qual considera o valor de 100 mm como capacidade de água disponível no solo (CAD).

RESULTADOS

O processo sedimentológico e estrutural da Bacia Sedimentar Sergipe-Alagoas, na área de estudo, originou os carbonatos da Formação Cotinguiba (Grupo Sergipe), os argilitos e folhelhos da Formação Calumbi (Grupo Piaçabuçu), os arenitos do Grupo Barreiras e as Formações Continentais Superficiais, constituídas por depósitos de pântanos, mangues e ambientes litorâneos (Figura 2a). A impermeabilidade das rochas de granulometria muito fina da Formação Calumbi formou um aquiclude, que apresenta capacidade de armazenamento de água, porém sem capacidade de transmiti-la. As rochas carbonáticas da Formação Cotinguiba originaram um aquífero cárstico, enquanto as Formações Continentais Superficiais constituíram um aquífero granular (Figura 2b).

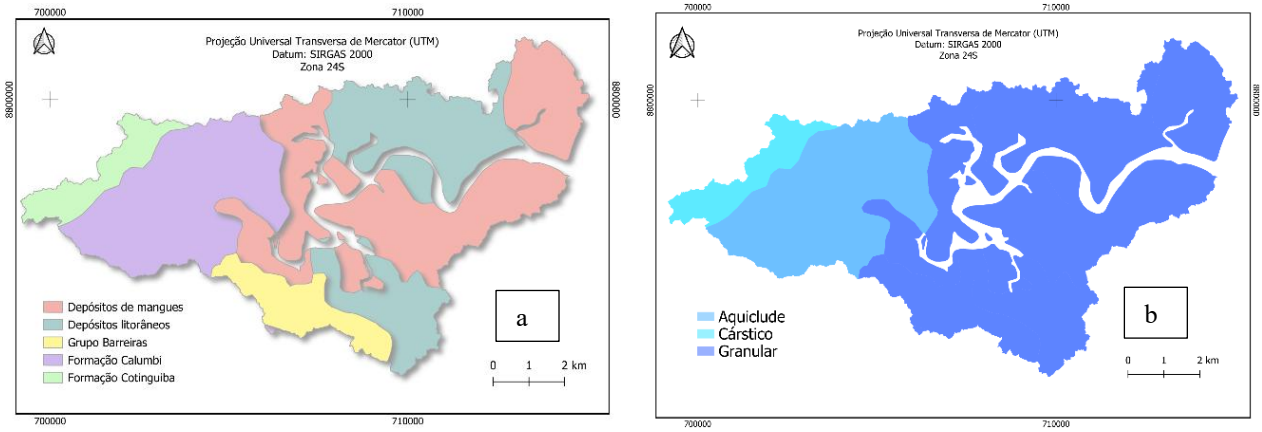


Figura 2 – Mapas simplificados de geologia (a) e hidrogeológico (b). Fonte: Autores (2026).

Sobre as unidades geológicas desenvolveram-se as formas de relevo geradas por processos de erosão, denudação e deposição (Figura 3a). As superfícies dissecadas ocorrem nas formações Cotinguiba e Calumbi e no Grupo Barreiras, enquanto os terraços marinhos e fluviomarinhos, bem como as planícies marinhas, estão associados aos depósitos de mangue e litorâneos. O relevo plano, caracterizado por declividades entre 0% e 3%, corresponde a aproximadamente 45% da área da sub-bacia, predominando nos setores médio e baixo do curso fluvial, enquanto no alto curso, prevalecem declividades mais acentuadas, atingindo até 20% (Figura 3b). Observa-se que os gradientes de declividade acompanham a altimetria, refletindo-se nas feições de relevo existentes na área.

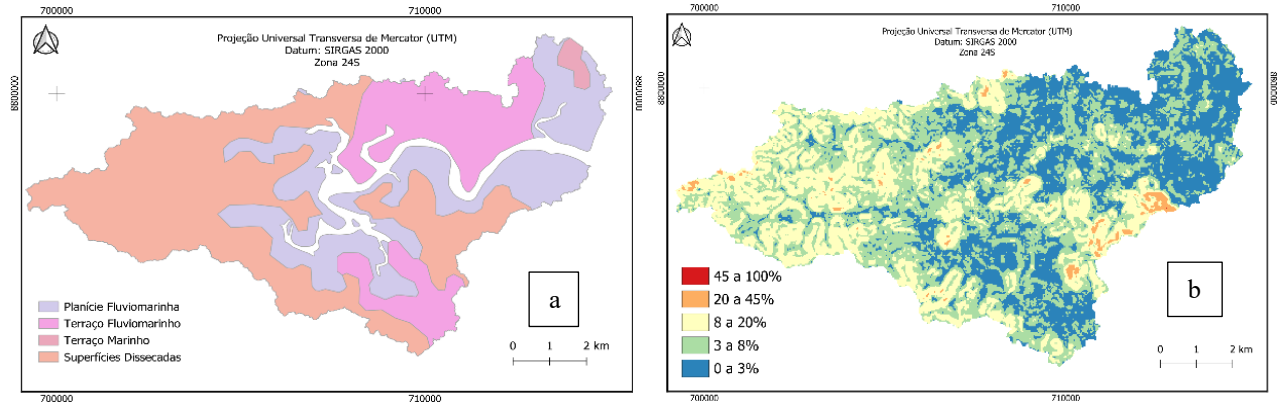


Figura 3 - Mapas simplificados de geologia (a) e declividade (b). Fonte: Autores (2026).

As unidades pedológicas identificadas são o Argissolo Amarelo Distrófico, o Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico e o Espodossolo Ferri-humilúvico Órtico (Figura 6a). Os argissolos correspondem a solos mais profundos e altamente lixiviados, apresentando baixa fertilidade natural, enquanto os espodossolos ocorrem em áreas mais arenosas, caracterizando ambientes frágeis, com reduzida capacidade de retenção de nutrientes. Esses solos apresentam baixas taxas de infiltração, variando entre 1,27 e 3,81 mm/h (Sartori; Lombardi Neto; Genovez, 2005). As principais classes de cobertura e uso do solo são as pastagens, áreas urbanizadas, aquicultura, apicum e mangue (Figura 3b).

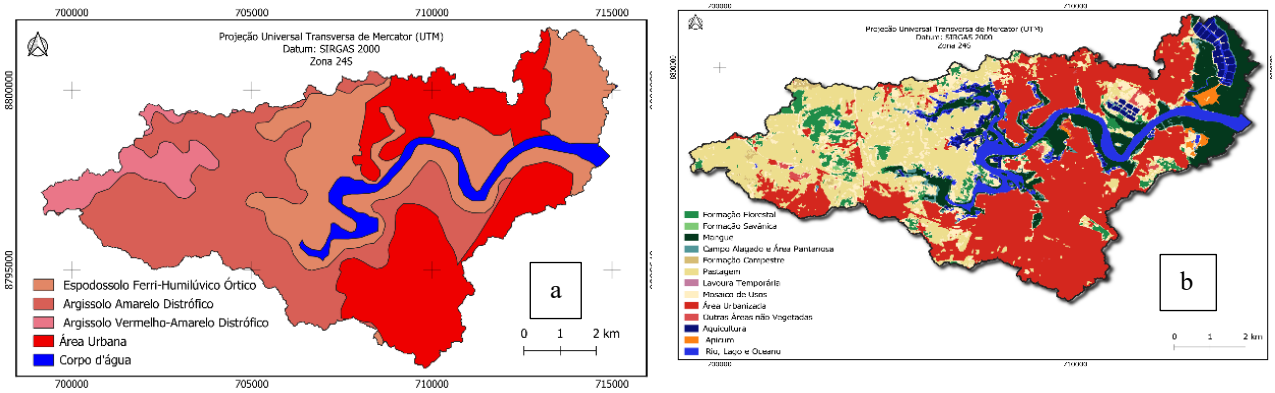


Figura 4 – Mapas simplificados de pedologia (a) e uso da terra (b). Fonte: Autores (2026).

As características morfométricas da Sub-bacia do rio do Sal estão relacionadas na Tabela 1 em três grupos: físicos, hidrológicos e de relevo. Os resultados morfométricos indicam que a sub-bacia apresenta dimensões reduzidas a médias, com área de 62,6 km² e perímetro de 42,8 km, o que, associado ao comprimento relativamente elevado do rio principal (23,4 km), evidencia uma configuração alongada. Essa condição é confirmada pelos baixos valores do fator de forma (Kf = 0,114) e do índice de circularidade (Ic = 0,43), além do coeficiente de compacidade superior à unidade (Kc = 1,514), parâmetros que caracterizam bacias pouco compactas e alongadas.Do ponto de vista hidrológico, essa morfologia tende a favorecer maior tempo de concentração do escoamento superficial, reduzindo a probabilidade de cheias bruscas, uma vez que a água precipitada atinge o exutório de forma mais distribuída no tempo. A drenagem de 4ª ordem revela um sistema relativamente organizado, com rede de drenagem estruturada, compatível com bacias em estágio intermediário de evolução geomorfológica.

A análise dos parâmetros relacionados à dissecação do relevo e à eficiência da drenagem mostra que a sub-bacia possui comprimento total de canais de 89,0 km, densidade de drenagem moderada (Dd = 1,421 km/km²) e densidade hidrográfica elevada (Dh = 20,958 canais/km²), indicando boa

capacidade de geração de canais, possivelmente associada a controles litológicos, pedológicos e climáticos favoráveis ao entalhamento da rede.

Tabela 1: Parâmetros físicos utilizados na análise morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Vaza-Barris em Sergipe, nordeste do Brasil.

Parâmetros Físicos	**Valor**
Área (A)	62,6 km²
Perímetro (P)	42,8 km
Fator de forma (Kf)	0,114
Coeficiente de compacidade (Kc)	1,514
Índice de circularidade (Ic)	0,43
Índice de sinuosidade (IS)	32,514
Parâmetros Hidrológicos	**Valor**
Comprimento do rio principal (L)	23,4 km
Comprimento total dos canais (Lt)	89,0 km
Densidade hidrográfica (Dh)	20,958 canais/km
Densidade de drenagem (Dd)	1,421km/km^2
Parâmetros de Relevo	**Valor**
Amplitude altimétrica (Hm)	70 m
Ordem do rio (N)	4º
Índice de rugosidade (Ir)	99,472
Razão de relevo (Rr)	8,847

A amplitude altimétrica de 70 m, combinada com valores elevados de índice de rugosidade (Ir = 99,472) e razão de relevo (Rr = 8,847), sugere um relevo moderadamente dissecado, com energia suficiente para intensificar processos erosivos, sobretudo ao longo dos canais de menor ordem. O índice de sinuosidade elevado evidencia um canal principal com traçado irregular, condicionado por fatores litoestruturais e pela dinâmica fluvial local. Em conjunto, esses resultados indicam que a sub-bacia do rio do Sal apresenta equilíbrio entre organização da drenagem e condicionantes morfoestruturais, refletindo uma dinâmica geomorfológica controlada tanto pela forma alongada da bacia quanto pela dissecação moderada do relevo.

Os resultados do balanço hídrico climatológico (BHC), referentes à série histórica de 23 anos, são apresentados na Tabela 2. Verifica-se a variabilidade anual dos elementos climatológicos de entrada, temperatura média (T; °C) e precipitação pluvial (P; mm), bem como dos demais componentes do BHC: evapotranspiração potencial (ETP; mm), negativo acumulado (N-AC; mm), armazenamento de água no solo (ARM; mm), alteração do armazenamento de água no solo (ALT; mm), evapotranspiração real (ETR; mm), excedente hídrico (EXC; mm) e deficiência hídrica (DEF; mm).

O balanço hídrico climatológico evidencia um regime com sazonalidade hídrica bem definida. A precipitação média anual (1.179,3 mm) é inferior à evapotranspiração potencial (1.291,7 mm),

gerando déficit de 141,5 mm, concentrado entre setembro e março. Nesse período, os valores negativos de P–ETP indicam retirada de água do solo, com redução do armazenamento (ARM), que atinge mínimos no fim do período seco, especialmente em novembro e dezembro, quando a deficiência mensal supera 40 mm. A evapotranspiração real (ETR) acompanha essa limitação, mantendo-se abaixo da ETP nos meses mais secos.

Tabela 2: Balanço hídrico climatológico pelo método de Thornthwaite e Mather (1955) (CAD=100mm e Latitude = 10,88), no período de 2000 a 2023, Aracaju e Nossa Senhora Socorro (SE)

Mês	T	P	ETP	P-ETP	N-AC	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
J	26,4	68,3	98,1	-29,8	-29,8	74,3	-25,75	94,1	4,0	0,0
F	26,6	71,0	94,2	-23,2	-53,0	58,9	-15,37	86,4	7,8	0,0
M	26,7	90,3	107,2	-16,9	-69,9	49,7	-9,16	99,4	7,7	0,0
A	26,3	120,5	105,4	15,1	-43,3	64,8	15,10	105,4	0,0	0,0
M	25,4	175,2	108,1	67,2	0,0	100,0	35,18	108,1	0,0	32,0
J	24,4	155,9	106,6	49,3	0,0	100,0	0,00	106,6	0,0	49,3
J	23,7	148,7	113,2	35,5	0,0	100,0	0,00	113,2	0,0	35,5
A	23,6	105,7	120,6	-14,8	-14,8	86,3	-13,74	119,5	1,0	0,0
S	24,2	77,0	121,7	-44,7	-59,5	55,2	-31,09	108,0	13,6	0,0
O	25,1	72,2	118,2	-46,0	-105,4	34,8	-20,32	92,5	25,6	0,0
N	25,8	47,9	102,5	-54,6	-160,1	20,2	-14,67	62,5	40,0	0,0
D	26,3	46,5	96,0	-49,5	-209,6	12,3	-7,88	54,4	41,6	0,0
Total	304,6	1179,3	1291,7			756,4		1150,3	141,5	116,8
Med	25,4	98,3	107,6			63,0		95,9	11,8	9,7

Em contrapartida, o período chuvoso, entre abril e agosto, caracteriza-se pela reposição do armazenamento hídrico do solo, com recuperação do ARM até a capacidade máxima (100 mm) em maio, mantendo-se estável nos meses seguintes. Nesse período, a precipitação supera a evapotranspiração potencial, gerando excedente hídrico de 116,8 mm, concentrado entre maio e julho, quando a ETR se aproxima ou iguala à ETP, indicando plena disponibilidade hídrica.

Os gráficos associados ao balanço hídrico permitem visualizar de forma integrada a alternância entre fases de retirada, reposição, excedente e deficiência hídrica, destacando o papel do regime pluviométrico e da demanda evaporativa no controle da dinâmica hidrológica regional e de suas implicações para os recursos hídricos superficiais e subterrâneos.

O comportamento das variáveis climáticas evidencia um padrão típico da porção litorânea do estado de Sergipe, marcado por forte sazonalidade hídrica. De agosto a março, a precipitação mensal mantém-se inferior à evapotranspiração potencial, indicando que a demanda atmosférica por água supera a oferta disponível no sistema (Figura 4a), caracterizando um período de retirada e deficiência hídrica. Em contrapartida, entre abril e julho ocorre o período mais úmido do ano, quando a precipitação passa a superar a ETP, com valores máximos observados entre maio e julho, alcançando totais mensais superiores a 150 mm, compatíveis com o regime pluviométrico regional. Durante esses meses, a evapotranspiração real aproxima-se ou iguala-se à evapotranspiração potencial,

evidenciando condições de plena disponibilidade hídrica no solo, típicas do outono-inverno na faixa costeira do Nordeste oriental.

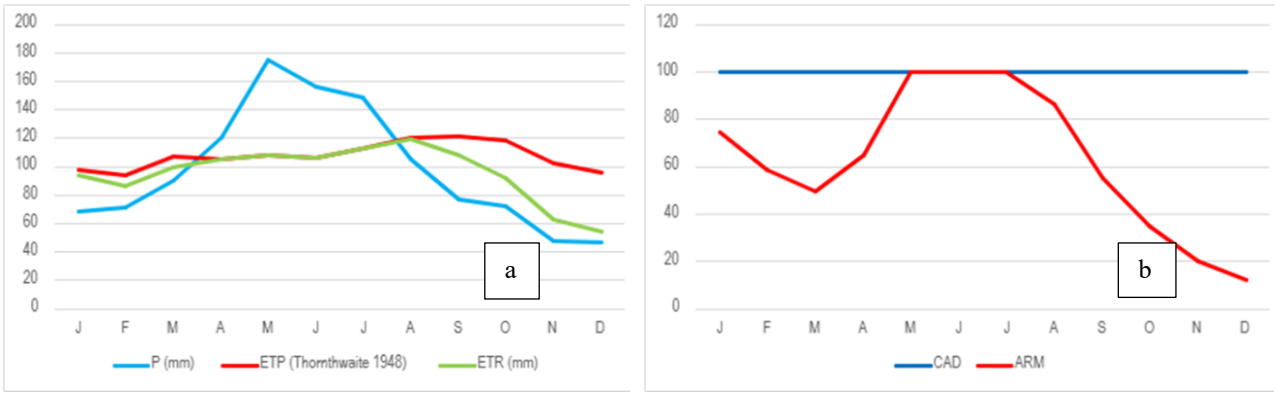


Figura 4 - Variação da média anual de precipitação, evapotranspiração potencial e evapotranspiração real (a), e da capacidade de água disponível e armazenada no solo (b) no período de 2000 a 2023. Fonte: Autores (2026).

A capacidade de água disponível no solo (CAD) foi considerada constante em 100 mm, representando o limite máximo de armazenamento hídrico da área de estudo. O armazenamento de água no solo (ARM) apresenta comportamento diretamente controlado pela distribuição sazonal das chuvas, com redução progressiva entre janeiro e março, período em que o déficit hídrico se intensifica (Figura4b). A reposição do ARM tem início em abril, atingindo a capacidade máxima em maio, permanecendo estável até julho, quando o solo se encontra totalmente recarregado. A partir de agosto, observa-se uma nova fase de depleção contínua, estendendo-se até dezembro, quando os valores de ARM atingem seus mínimos anuais, inferiores a 20 mm. Esse padrão confirma a rápida resposta do solo às variações do regime pluviométrico, acumulando água nos meses úmidos e perdendo-a de forma acelerada durante a estação seca.

A análise dos componentes de excedente (EXC) e deficiência hídrica (DEF) evidencia claramente a sazonalidade do balanço hídrico regional (Figura 5a). O excedente hídrico ocorre de forma concentrada entre maio e julho, período em que o solo já se encontra totalmente recarregado e a precipitação supera a evapotranspiração potencial, resultando em valores mensais de excedente que variam entre aproximadamente 30 e 50 mm. Esses volumes indicam condições favoráveis ao escoamento superficial e à recarga de aquíferos. Em contraste, a deficiência hídrica concentra-se entre janeiro e março e, de forma mais acentuada, entre setembro e dezembro, com valores mensais que ultrapassam 40 mm no final do ano, refletindo um desequilíbrio significativo entre a oferta e a demanda hídrica no sistema.

Os processos de retirada (RET), reposição (REP), deficiência (DEF) e excedente hídrico (EXC) estruturam o ciclo anual de disponibilidade hídrica da área de estudo (Figura 5b). A retirada ocorre

quando a evapotranspiração real supera a precipitação, levando à utilização da água armazenada no solo, situação predominante entre janeiro e março e novamente entre agosto e novembro. A reposição inicia-se em abril, com pico em maio, quando as chuvas promovem rápida recarga do solo. O excedente hídrico manifesta-se após o completo preenchimento do ARM, principalmente entre maio e julho, enquanto a deficiência se intensifica nos meses finais do ano, quando a precipitação é insuficiente para atender à demanda atmosférica, mesmo após o esgotamento do armazenamento. Esse conjunto de processos reflete o forte controle exercido pela sazonalidade climática sobre as condições hidrológicas, ambientais e de uso da água na região estudada.

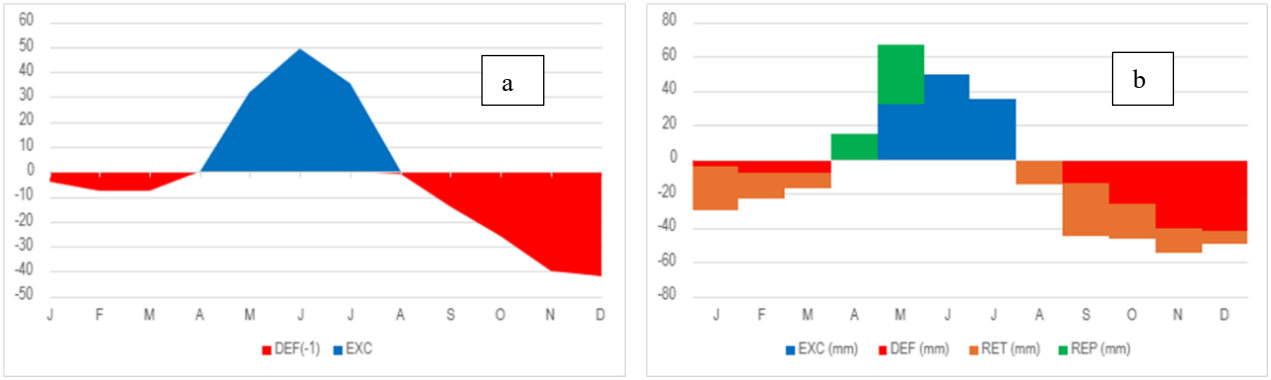


Figura 6. Variação anual do excedente e da deficiência hídrica (a), e retirada, reposição, deficiência e excedente hídrico (b) no período de 2000 a 2023. Fonte: Autores (2026).

A capacidade de água disponível no solo (CAD), fixada em 100 mm, condiciona um regime hídrico e sazonal, no qual o armazenamento de água no solo (ARM) responde diretamente à distribuição das chuvas. Observa-se depleção do ARM entre janeiro e março, seguida de reposição a partir de abril e recarga total entre maio e julho, quando ocorrem excedentes hídricos associados à recarga de aquíferos e ao escoamento superficial. A partir de agosto, o solo entra em nova fase de esgotamento progressivo, atingindo mínimos inferiores a 20 mm em dezembro. A deficiência hídrica concentra-se no início e, sobretudo, no final do ano, refletindo o desequilíbrio entre precipitação e evapotranspiração. Esse comportamento evidencia que os processos de retirada, reposição, excedente e deficiência estruturam o ciclo anual do balanço hídrico, sob controle da sazonalidade climática regional.

CONCLUSÕES

A dinâmica da sub-bacia do rio do Sal é controlada por fatores geológicos, pedológicos e climáticos, que influenciam aquíferos e a circulação da água. O relevo plano regula o escoamento, e os solos pouco permeáveis intensificam o escoamento superficial e a perda hídrica no período seco. Os parâmetros morfométricos indicaram uma sub-bacia alongada, com maior tempo de concentração

e menor propensão a enchentes. A drenagem moderada, de 4ª ordem e sinuosa, reflete relevo, litologia e clima, formando uma rede organizada. O balanço hídrico evidenciou forte sazonalidade no litoral de Sergipe, com chuvas entre abril e julho que promovem reposição e recarga, e um período seco com deficiência hídrica. A relação entre precipitação e evapotranspiração destaca o clima como principal controlador da disponibilidade hídrica anual. Os resultados subsidiam a gestão hídrica ao identificar períodos de excedente e deficiência, orientando o uso da água, a definição áreas de recarga, o controle do escoamento e ações de conservação para reduzir a escassez e otimizar os excedentes.

REFERÊNCIAS

HORTON, R. E. (1945*). "Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology."* Geol. Soc. Am. Bull., 56(3), pp. 275–370.

LEPSCH, I. F. (2011). "Formação e conservação dos solos." Oficina de Textos São Paulo, 216.

NASCIMENTO FILHO, J.C.B.; NASCIMENTO, P.S.R. (2022). *"Combinação linear ponderada na determinação da capacidade de armazenamento de água subterrânea*." RIC, 12(1), pp. 6-25.

SARTORI, A.; LOMBARDI NETO F.; GEONOVEZ, A.B. (2005). "*Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método de Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos - Parte 1: classificação."* RBRH, 10(.4), pp.5-18.

STRAHLER, A. N. (1957). "*Quantitative analysis of watershed geomorphology*." Transactions American Geophysical Union, 38(6), pp. 913–920.

THORNTHWAITE, C.W. (1948). "*An approach towards a rational classification of climate*." Geographical Review, 38(1), pp. 55-94.

THORNTHWAITE C.W.; MATHER, J.R. (1955). "*The water balance. Publications in Climatology."* Drexel Inst. of Tech. New Jersey, 104.

TUCCI, C. E. M. (2004). "*Hidrologia: ciência e aplicação"*. ABRH Porto Alegre, 943p.

WANG, X.; LIU, L. "*The Impacts of climate change on the hydrological cycle and water resource management*." (2023). Water, 15(13), pp. 23-42.