



Avaliação da favorabilidade das águas subterrâneas nos aquíferos da Bacia Sergipe-Alagoas, Sergipe, Brasil

Assessment of Groundwater Favorability in the Aquifers of the Sergipe-Alagoas Basin, Sergipe, Brazil

C. F. V. Martins¹; R. D. Gonçalves^{2*}

¹Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos/Grupo de Pesquisas Hidrogeológicas e Ambientais, Universidade Federal de Sergipe, 49107-230, São Cristóvão-Sergipe, Brasil

²Departamento de Geologia/Grupo de Pesquisas Hidrogeológicas e Ambientais/Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Sergipe, 49107-230, São Cristóvão-Sergipe, Brasil

*roger.dias@academico.ufs.br

(Recebido em 05 de maio de 2024; aceito em 08 de agosto de 2024)

Há décadas, os recursos hídricos têm sido elementos indutores no desenvolvimento dos centros urbanos e industriais ao redor do mundo. Contudo, essa dependência levou à degradação indiscriminada, tornando muitos rios inacessíveis em qualidade e quantidade. Em resposta, a Organização das Nações Unidas lançou a Agenda Mundial 2030, que inclui o acesso à água potável e cidades sustentáveis como metas centrais. Este estudo, alinhado ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6, foca na identificação dos aquíferos mais favoráveis à exploração de água subterrânea no município de Nossa Senhora do Socorro, Sergipe, Brasil. Utilizando Sistema de Informação Geográfica, foram processados dados vetoriais e matriciais com os softwares QGIS, ENVI, OpenStereo e CorelDraw. Identificaram-se 296 recursos hídricos superficiais, totalizando 698.330 metros lineares, com padrão variando de dendrítico a retangular e direção preferencial de escoamento nordeste-sudoeste (0-15°), ocupando o relevo dissecado das formações geológicas Tercio-Quaternárias. A partir do Modelo Digital de Elevação, foram extraídos 230 lineamentos, somando 244.902 metros lineares, com direção preferencial nordeste-sudoeste (60°-75°). Correlacionando os lineamentos com dados hidrográficos, litoestratigráficos e vazões obtidas em poços tubulares, determinou-se que as camadas de calcário fraturado, quando associadas aos aquíferos sedimentares livres, são as áreas de maior favorabilidade, destacando-se as formações Cotinguiba (K2cs) e Calumbi (K2ca). A identificação de áreas com maior favorabilidade hidrogeológica pode orientar políticas públicas e investimentos, promovendo o uso sustentável da água subterrânea, enfatizando assim a importância da integração de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento em estudos hidrogeológicos para aprimorar a compreensão e a gestão dos recursos hídricos.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, extração de lineamentos, águas subterrâneas.

For decades, water resources have been driving elements in the development of urban and industrial centers worldwide. However, this dependency has led to indiscriminate degradation, rendering many rivers inaccessible in terms of quality and quantity. In response, the United Nations launched the 2030 Agenda, which includes access to potable water and sustainable cities as central goals. This study, aligned with Sustainable Development Goal 6, focuses on identifying the most favorable aquifers for groundwater exploitation in the municipality of Nossa Senhora do Socorro, Sergipe, Brazil. Using a Geographic Information System, vector and raster data were processed with QGIS, ENVI, OpenStereo, and CorelDraw. The study identified 296 surface water resources, totaling 698,330 linear meters, with patterns ranging from dendritic to rectangular and a preferred flow direction of northeast-southwest (0-15°), occupying the dissected relief of Tertiary to Quaternary geological formations. From the Digital Elevation Model, 230 lineaments were extracted, totaling 244,902 linear meters, with a preferred northeast-southwest direction (60°-75°). By correlating the lineaments with hydrographic, lithostratigraphic, and yield data obtained from tubular wells, it was determined that fractured limestone layers, when associated with unconfined sedimentary aquifers, are the most favorable areas, highlighting the Cotinguiba (K2cs) and Calumbi (K2ca) formations. Identifying areas with higher hydrogeological favorability can guide public policies and investments, promoting sustainable groundwater use. This underscores the importance of integrating remote sensing and geoprocessing techniques in hydrogeological studies to enhance the understanding and management of water resources.

Keywords: remote sensing, lineament extraction, groundwater.

1. INTRODUÇÃO

A água, enquanto recurso vital, é um catalisador essencial para o desenvolvimento sustentável global. A Agenda Mundial 2030, por meio de seus Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), enfatiza a necessidade de uma gestão hídrica eficaz e sustentável, correlacionando-a diretamente com o ODS 6, que visa garantir a disponibilidade de água potável e saneamento para todos. Indiretamente, a gestão da água também se conecta com outros objetivos, como a erradicação da pobreza (ODS 1), a promoção da agricultura sustentável (ODS 2) e o desenvolvimento de cidades e comunidades sustentáveis (ODS 11) [1].

A crescente demanda global por água potável tem sido enfrentada, predominantemente, por meio da exploração de recursos hídricos superficiais, que representam apenas uma pequena fração (0,3%) do volume hídrico global disponível. Esta prática intensifica a necessidade de explorar fontes alternativas de água, como os aquíferos subterrâneos, especialmente em regiões onde a disponibilidade superficial é limitada ou está em declínio devido ao uso excessivo e à poluição [2].

Em regiões caracterizadas por rochas com porosidade secundária, como fraturas e condutos, que apresentam boa conectividade com as águas superficiais, a exploração dos recursos hídricos subterrâneos tende a ser mais viável [3]. Contudo, em locais onde a conectividade hidrogeológica é restrita, a disponibilidade de água pode ser severamente limitada, exigindo estratégias robustas de gestão hídrica e políticas mais restritivas de outorga para o uso da água [2].

A complexidade dos sistemas hídricos subterrâneos é frequentemente aumentada por processos geológicos, como as reativações das zonas de cisalhamento durante o Cretáceo-Quaternário na Bacia de Sergipe, que criam conexões entre o embasamento cristalino e a bacia sedimentar por meio de falhas reativas. Essas falhas podem funcionar como condutos para o movimento de água subterrânea, aumentando a potencialidade hidrogeológica da região [4].

Técnicas de sensoriamento remoto (SR) têm sido amplamente utilizadas para avaliação em subsuperfície e para a identificação de áreas potencialmente favoráveis ao armazenamento de água subterrânea, devido à sua eficácia em revelar características não visíveis ao nível do solo [3, 5-6]. Em particular, o Modelo Digital de Elevação (MDE) e imagens de satélite provenientes de plataformas como Landsat 8 e Sentinel-1 são cruciais para a análise espacial de alinhamentos geológicos, geomorfológicos e da rede de drenagem. Essas ferramentas geram direções preferenciais do sistema hídrico e permitem calcular o grau de densidade de lineamento de Kernel, essenciais para mapear as dinâmicas subterrâneas de água [7-8].

Além disso, esses métodos podem ser aplicados de forma isolada, através de mapeamento estrutural, ou em uma abordagem combinada, onde são integrados outros elementos críticos como declividade, pluviosidade, litologia, pedologia e cobertura do solo, proporcionando uma análise mais robusta e abrangente das características hidrogeológicas [9]. A determinação do grau de fraturamento dos aquíferos, realizada através de filtros direcionais, é uma técnica que, quando combinada com dados provenientes de poços tubulares, permite uma avaliação aprimorada do potencial produtivo dos sistemas aquíferos [10].

Entretanto, a falta de informações detalhadas sobre a distribuição espacial das áreas potenciais para armazenamento de água subterrânea, juntamente com a carência de dados qualitativos, contribui significativamente para a estagnação de atividades econômicas e para a degradação ambiental. Este déficit informacional é um obstáculo para a implementação de políticas eficazes de gestão hídrica e para o desenvolvimento sustentável da região [11].

Este trabalho tem como principal objetivo mapear áreas alvo de maior favorabilidade para a exploração das águas subterrâneas nos aquíferos situados no baixo curso do rio Sergipe. A metodologia empregada inclui técnicas avançadas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e análise de dados de poços tubulares. A escolha dessa região é estratégica, visto que o abastecimento local depende significativamente de apenas dois sistemas produtores principais: o sistema Ibura I, que explora água subterrânea com uma vazão nominal de 194 L/s, e o sistema São Francisco-Aracaju, que se baseia na captação de água superficial, com uma vazão equivalente de 192 L/s [12]. A dependência dessas duas fontes, praticamente em igual medida, sublinha a necessidade crítica de identificar novas áreas potenciais que possam sustentar o crescimento e a sustentabilidade da região no longo prazo.

2. ÁREA DE ESTUDO

O município de Nossa Senhora do Socorro está situado na região de divisão geopolítica conhecida como "Grande Aracaju", no estado de Sergipe, ocupando uma área de 155 km² (Figura 1). Faz fronteira com a capital, Aracaju, e com os municípios de Laranjeiras, Santo Amaro das Brotas, São Cristóvão e Areia Branca, todos integrantes, total ou parcialmente, da bacia hidrográfica do rio Sergipe.

Devido à sua proximidade com a capital sergipana, Nossa Senhora do Socorro tornou-se um polo atrativo para diversos tipos de empreendimentos abrangendo os três setores da economia. Notavelmente, a região é sede de atividades como piscicultura, carcinicultura, e indústrias diversas, incluindo tecelagem e montadoras de peças veiculares. O comércio varejista também é vigoroso na área. Este dinamismo econômico levou Nossa Senhora do Socorro a alcançar o segundo maior Produto Interno Bruto (PIB) do estado, registrando R\$ 2.433.831 milhões e um crescimento econômico médio de 20% entre 2010 e 2020 [13].

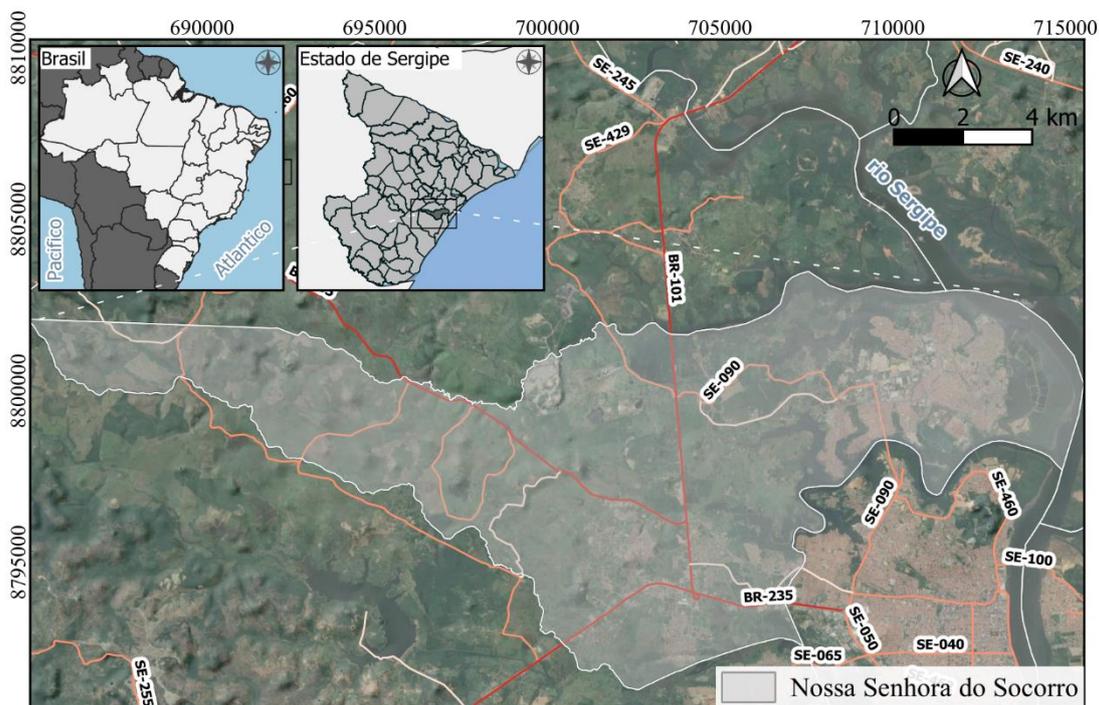


Figura 1: Mapa de localização, município de Nossa Senhora do Socorro, estado de Sergipe, Brasil.

3. CONTEXTO GEOLÓGICO

Como resultado da evolução tectono-estrutural, a área de estudo engloba componentes geológicos da bacia sedimentar Sergipe-Alagoas (Figura 2), que é subdividida em três domínios distintos: o Pré-Cambriano, o Cretáceo Superior e Inferior, e as Coberturas Recentes. A Bacia Sedimentar Cenozóica é representada pelo Grupo Piaçabuçu, pela Formação Calumbi (K2ca), e pelo Grupo Sergipe, Formação Cotinguiba (K2cs) e Formação Riachuelo, este último caracterizado pelos membros Taquari e Maruim (K1r-tm). As formações continentais superficiais incluem Aluviões Fluviolacustres Holocênicos (Q2fl), Depósitos Litorâneos Holocênicos (Q2li) e Grupo Barreiras (Enb). Devido à sua evolução tectônica, este município tornou-se suscetível a eventos pré-rifte, sin-rifte e de margem passiva, que originaram os principais lineamentos extensionais com orientações NE-SW e NNE-SSW [14].

Para representar a área neste estudo, foi realizada a unificação do banco de dados vetoriais da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Mudanças Climáticas (SEMAM) com o mapeamento

geológico em escala 1:250.000 executado pelo Serviço Geológico do Brasil [15]. A Tabela 1 apresenta a padronização das siglas e a mescla das camadas.

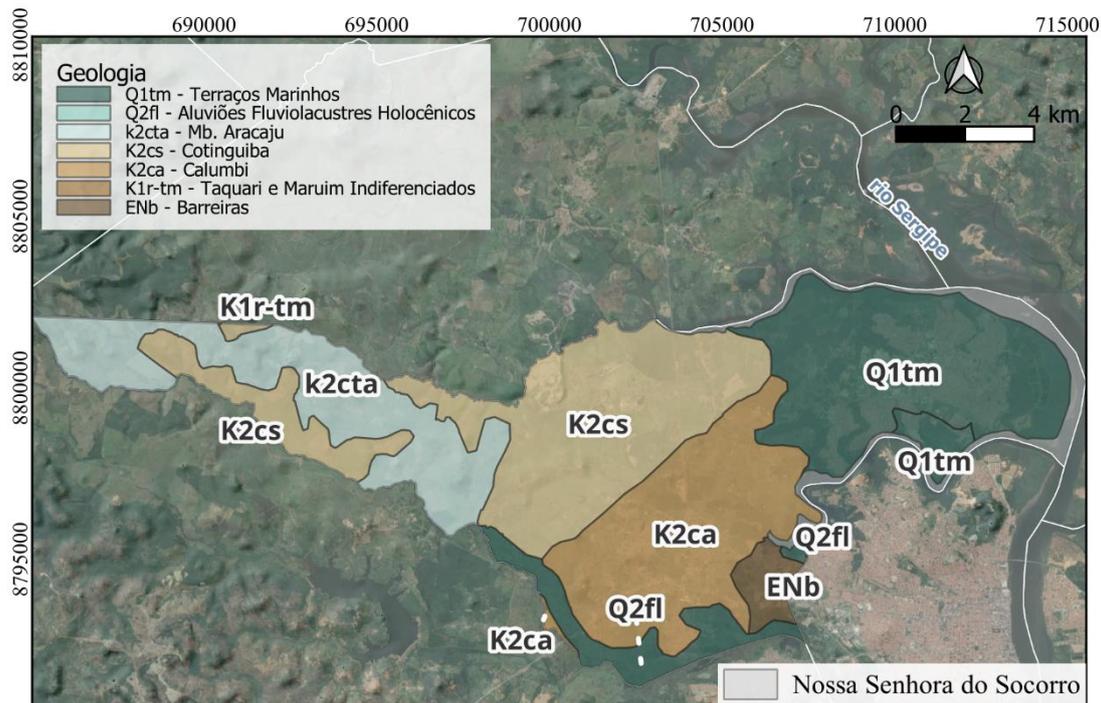


Figura 2: Compartimentação geológica do município de Nossa Senhora do Socorro (SE).

Tabela 1: Padronização das unidades geológicas presentes em Nossa Senhora do Socorro (SE).

Padronização unidades geológicas			
Autor	SEMAC, 2024 [16]	Teixeira, 2014 [15]	Unidades geológicas
Q1tm	Q1tm Q2li	Q1tm Q2pm	Q1tm: Terraços marinhos Depósitos litorâneos e de pântanos e mangues Q2li: Depósitos litorâneos Q2pm: Depósitos de pântanos e mangues
Q2fl	Q2fl	Q2fl	Q2fl: Depósitos flúvio-lacustres
Enb	Enb	Enb	Enb: Grupo Barreiras
K2ca	K2ca	K2ca	K2ca: Fm. Calumbi
K1rtm	K1rtm	K1rt K1rm	K1rtm: Fm. Riachuelo Mb. Taquari e Mb. Maruim K1rt: Fm. Riachuelo Mb. Taquari K1rm: Fm. Riachuelo Mb. Maruim
K2cta	K2cta	K2cta	K2cta: Fm. Cotinguiba Mb. Aracaju
K2cs	K2cs	K2cts	K2cs e K2cts: Fm. Cotinguiba Mb. Sapucari

3. MATERIAL E MÉTODOS

Os materiais necessários para o desenvolvimento deste estudo foram categorizados em dados vetoriais e matriciais. Na categoria de dados vetoriais, incluem-se: dados de vazão específica de 18 poços tubulares fornecidos pela Companhia de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Irrigação de Sergipe (CODERSE) e pelo Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), além de dados de drenagem e geologia obtidos através da integração de informações disponibilizadas pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Mudanças Climáticas (SEMAC)

e pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB) na escala 1:250.000 [15]. Esses dados foram essenciais para avaliar a favorabilidade da água subterrânea na área de estudo. Complementarmente, utilizaram-se dados vetoriais para geolocalização na área de pesquisa, incluindo curvas de nível, rodovias e polígonos delimitando os municípios de Sergipe, do Brasil e da América Latina.

Quanto aos dados matriciais, destacam-se o Modelo Digital de Elevação (MDE), que representa a altimetria do terreno e é utilizado em estudos para determinação de lineamentos estruturais [7, 8, 17], escoamento superficial do terreno [19] e definição de áreas de inundação em bacias hidrográficas [18]. Na fase de aquisição de dados, selecionou-se um MDE que cobrisse adequadamente a área de estudo, consultando o Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil, camada altitude, folha 10_375 [20]. Esta imagem está no sistema de coordenadas cartesianas bidimensionais UTM (Universal Transversa de Mercator), Datum Sirgas 2000, Fuso 24S, com resolução espacial de 30 metros.

Os programas computacionais empregados incluíram: *Environment for Visualizing Images* (ENVI) para o processamento digital das imagens do MDE; *Quantum GIS* (QGIS), da *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo), para o geoprocessamento dos dados [21]; *OpenStereo* 2.0 para geração dos diagramas de rosetas [22] e *CorelDraw* para o design dos perfis geológicos.

Como primeiro procedimento metodológico, padronizou-se a projeção cartográfica no software QGIS, definindo-se o Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum SIRGAS 2000, Fuso 24 Sul, como projeção cartográfica. Após configurar o ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), catalogaram-se todas as informações relevantes da área de estudo disponíveis em plataformas oficiais, criando um Banco de Dados Geográficos (BDG) com arquivos vetoriais e matriciais. Esta etapa foi crucial, pois nem todos os dados estavam disponíveis em formatos vetoriais (*shapefile*) ou matriciais (*raster*), como os dados de 18 poços tubulares, cujos perfis litoestratigráficos, coordenadas geográficas e vazão específica estavam em formato de imagem.

Após esta etapa, o BDG foi integrado com a área de estudo, que faz parte integral da bacia hidrográfica do rio Sergipe, com uma drenagem superficial de padrão dendrítico a retangular e um fluxo superficial preferencial de oeste para leste, dentro dos limites da sub-bacia hidrográfica dos rios Poxim, Sal e Continguiba. A geologia é marcada pela presença de terrenos com idade Terciária a Quaternária integrantes da bacia sedimentar de Sergipe. Após uma avaliação cruzada entre os dados bidimensionais do SGB, identificou-se que os 18 poços tubulares estão localizados nas unidades geológicas aflorantes da formação Cotinguiba, membros Sapucari e Aracaju, bem como no Grupo Barreiras.

Uma avaliação preliminar da área de pesquisa foi seguida pelo geoprocessamento da imagem matricial do MDE. Inicialmente, para facilitar o processamento da imagem, realizou-se um recorte do *raster* pela camada vetorial de máscara do município de Nossa Senhora do Socorro no software QGIS 3.4.12 *with Grass* 7.6.1. Este produto foi carregado no software de processamento digital de imagem (PDI) ENVI 4.7, e por meio de processamento semiautomático, utilizando a ferramenta *filter* rotina *Convolutions and Morphology*, foi possível identificar mudanças de altimetria no relevo e gerar os lineamentos da área de estudo. A abordagem semiautomática é assim classificada porque, de modo automático, o ENVI realiza o processamento da imagem por meio de filtros direcionais (*convolutions and morphology*), induzindo a iluminação a um ângulo de azimute entre 0° e 360°, a ser definido pelo usuário; neste estudo, foram aplicados três azimutes distintos (0°, 270° e 315°), produzindo conseqüentemente três imagens de relevo sombreado. Este processamento gera sombreamentos que permitem, com maior clareza, identificar variações no modelado do terreno e, conseqüentemente, lineamentos. O termo “semi” é utilizado porque a geração dos lineamentos é realizada de forma manual por meio da rotina “*create new vector layer*”.

Os lineamentos foram exportados para o software QGIS, onde foi acrescido à tabela de atributos das camadas de lineamento e hidrografia um novo campo para cálculo do azimute e subsequente avaliação das direções preferenciais a partir da frequência absoluta, dentro do ambiente OpenStereo. Para o cálculo do azimute, foi utilizada a ferramenta calculadora de campo. No ambiente do OpenStereo, foram realizadas avaliações das direções preferenciais (*trends*) das camadas de drenagem e lineamento, por meio de diagramas de roseta. Os resultados das direções preferenciais (*trends*) foram obtidos por meio do diagrama de roseta estruturado com 8 caixas (*number of bins*), ou seja, intervalos regulares de 22,5° para cada direção. Análise espacial

comparativa entre os lineamentos, vazão específica dos poços tubulares, drenagem superficial, litologia geológica e densidade (*Kernel*) de lineamento foi realizada no QGIS. Este último *layer* foi gerado por meio da ferramenta de mapa de calor.

Para a definição do perfil geológico, foram traçadas duas linhas que cobriram os poços tubulares com os maiores valores de vazão específica, utilizando a ferramenta *terrain profile* para extração do perfil topográfico por meio do MDE, e aliado ao programa de design gráfico *CorelDraw* junto ao BDG (perfil litostratigráfico dos poços produtores, geologia da SBG, lineamentos extraídos do presente estudo e rede de drenagem para ratificar baixos topográficos marcados pela dissecação do relevo).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A rede de drenagem, delineada pelos dados adquiridos da SEMAC e SBG, revelou na área de estudo um total de 296 recursos hídricos superficiais, totalizando 698.330 metros lineares. Esta drenagem apresenta um padrão predominantemente dendrítico a retangular, estendendo-se pelo relevo dissecado das formações geológicas Terciárias a Quaternárias. A direção predominante do escoamento dessas águas é nordeste-sudoeste entre 0 e 15° (NNE-SSW). A comparação entre as direções preferenciais da hidrografia e os lineamentos (67,5° e 72,5° NE) sugere uma integração direta da rede de drenagem ao modelo de elevação do terreno, que geomorfologicamente funciona como um divisor de águas, orientando o escoamento superficial de forma perpendicular aos cumes (Figuras 3 e 4a). Existe uma correlação diretamente proporcional entre estes parâmetros, indicando que a maior frequência de drenagem está alinhada com as vertentes das colinas presentes na região, contribuindo para a dissecação do relevo.

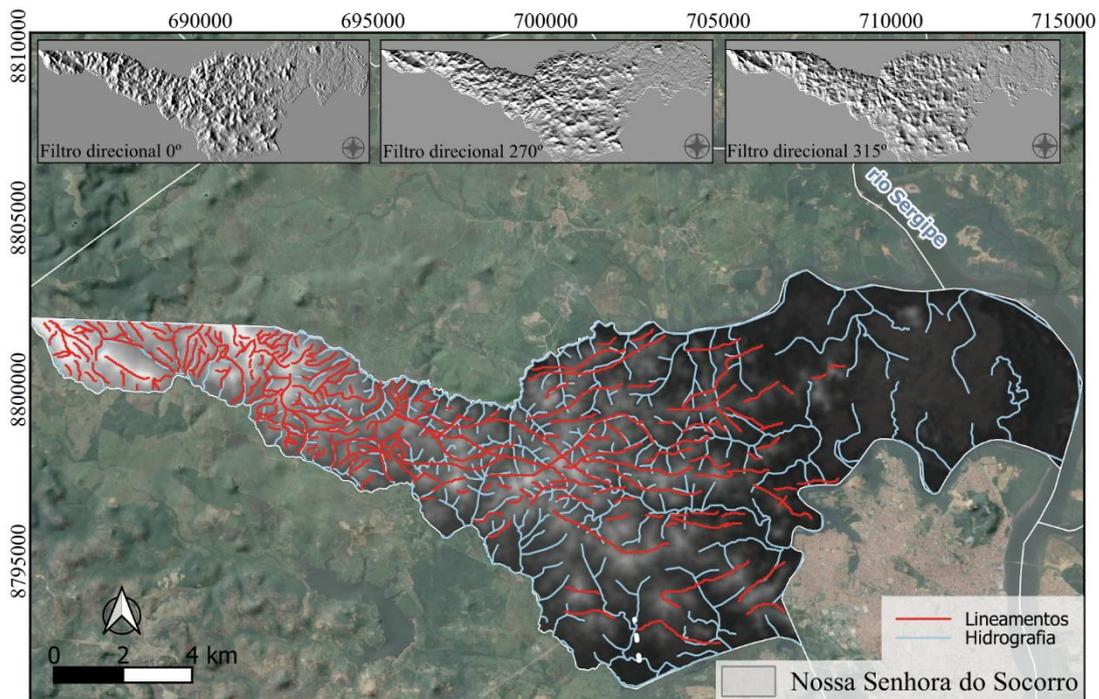


Figura 3 – Mapa de lineamentos extraídos do Modelo Digital de Elevação (MDE), relevo sombreado e Geologia sobrepondo a imagem do Google Satellite disponibilizado pelo software QGIS através da ferramenta Quick Map Services.

Os maiores comprimentos da drenagem seguem direções preferenciais que se alinham tanto com as maiores frequências quanto com os maiores comprimentos dos lineamentos, correspondendo também às bacias de segunda ordem da localidade, especificamente as sub-bacias hidrográficas dos rios Poxim, Sal e Continguiça. Além disso, os lineamentos apresentam os

maiores comprimentos entre os azimutes 45° e 135° , com a drenagem superficial encaixada de forma marcante neste *trend* preferencial entre os azimutes $67,5^\circ$ e 90° , e também entre 135° e $157,5^\circ$.

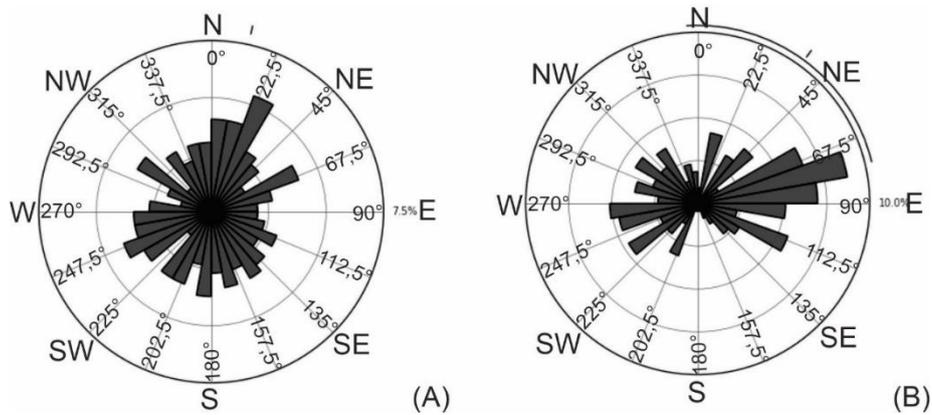


Figura 4 – Diagrama de rosetas com a frequência absoluta. a) da rede de drenagem com sentido preferencial nordeste-sudoeste $0-15^\circ$ (NNE-SSW); b) dos lineamentos com atitude preferencial $67,5^\circ-72,5^\circ$ (NE).

Estes achados são consistentes com os resultados de Lima (2020) [8], que demonstrou a correlação entre lineamentos, topos topográficos e padrões de drenagem utilizando dados matriciais de elevação. Conforme Hobbs (1904) [23], o mapeamento de lineamentos ou feições superficiais pode revelar a estrutura subjacente das rochas. Na área estudada, identificaram-se 230 lineamentos totalizando 244.902 metros lineares, com uma direção predominante de nordeste-sudoeste entre $60^\circ-75^\circ$ (ENE-WSW) (Figuras 3 e 4b). Esses lineamentos podem estar relacionados aos processos extensionais pós-rift e de margem passiva descritos por Santos et al. (1998) [24]. Além dos trends preferenciais demonstrados pelo diagrama de rosetas (Figura 4), obteve-se a densidade de lineamentos (Kernel) (Figura 5).

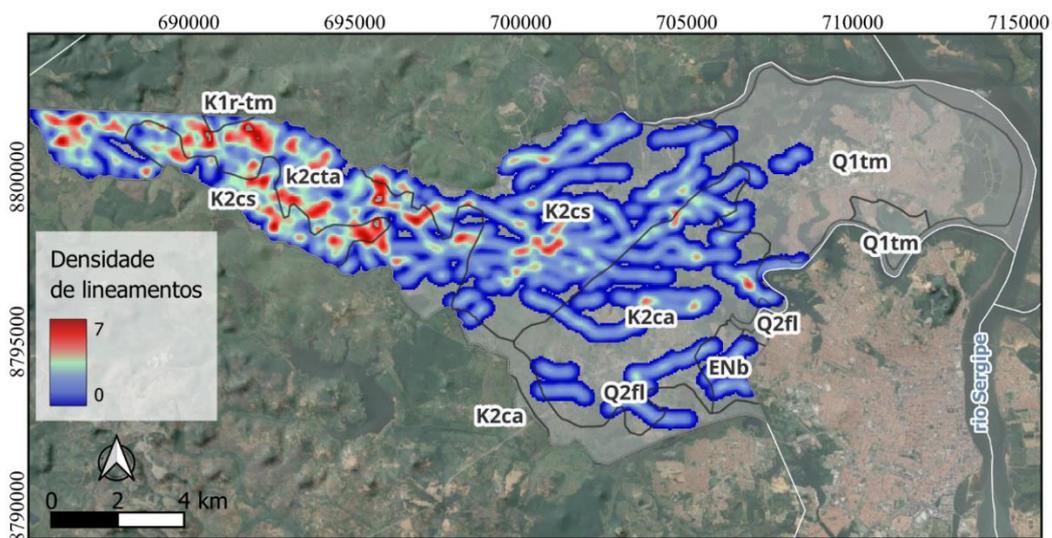


Figura 5 – Modelagem Kernel demonstrando a densidade de lineamentos nas áreas em estudo. Os hotspots (em vermelho) estão vinculados a maior sobreposição e densidade de dados; menor densidade de dados são definidos em coloração azul.

Os diagramas de roseta revelaram padrões preferenciais de drenagem e lineamentos, apontando para uma densidade significativa de lineamentos na parte central e oeste do município

(Figuras 4 e 5), o que pode estar associado aos eventos tectônicos extensionais da bacia sedimentar Sergipe/Alagoas [4]. Esta observação sugere uma ativa reativação tectônica nessas áreas, contrastando com a menor incidência de deformações na região leste, onde o limite entre a Bacia Sedimentar Cenozóica e as Formações Superficiais Quaternárias predomina, com a última sobrepondo-se estratigraficamente à bacia.

O modelo Kernel Quartico ilustra claramente os *hotspots* de alta densidade de lineamentos, correlacionados especialmente com a Formação Cotinguiba e os Membros Aracaju e Sapucari. Estes hotspots indicam áreas potenciais para a exploração de recursos hídricos subterrâneos devido ao maior fraturamento e porosidade do substrato rochoso.

Adicionalmente, a análise dos sistemas de lineamentos mostra que eles fornecem conectividade hidráulica essencial ao aquífero, facilitando o fluxo de água subterrânea. A correlação desses dados com informações de poços produtores identificou a Formação Cotinguiba (K2cs) como a principal área de favorabilidade para água subterrânea, com dados suportados pela CODERSE, SGB e SIAGAS Web, destacando profundidades variáveis onde a vazão específica é maximizada (Figuras 6 e 7). Esta Formação, junto com outras camadas sedimentares e o sistema cárstico do Membro Sapucari, demonstrou proporcionar as maiores vazões específicas registradas, ressaltando a importância de estruturas geológicas na determinação dos parâmetros hidrodinâmicos da região.

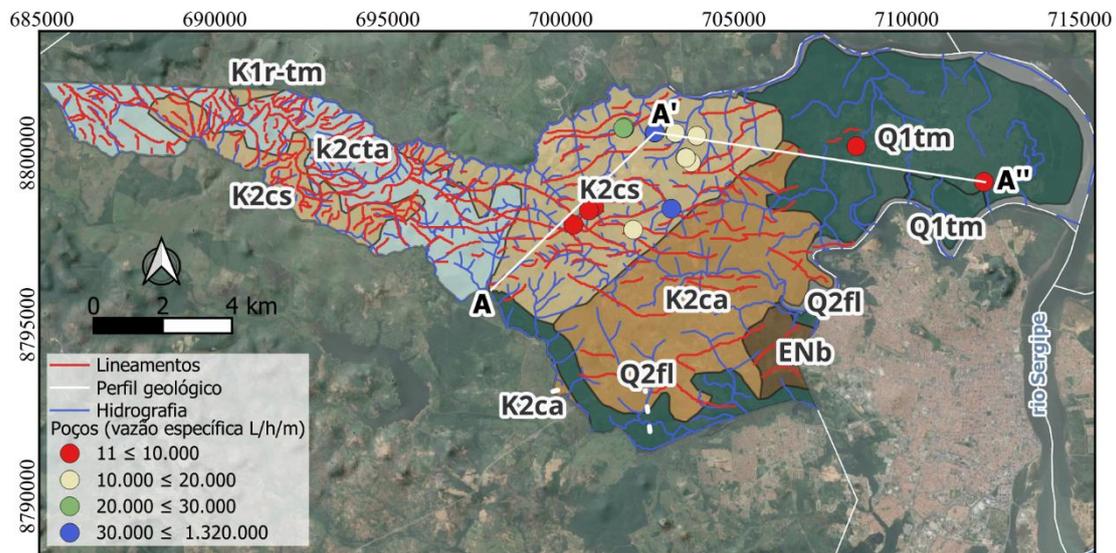


Figura 6 – Mapa de localização dos poços tubulares, respectivas vazões específicas e traçados dos perfis geológicos A-A' e A'-A''.

Os dados obtidos demonstram que, associados aos pacotes sedimentares granulares das Formações Cotinguiba (K2cs) e Calumbi (K2ca) nas profundidades de aproximadamente 30 m (poço 1550) e 100 m (poço 1864), intercalam-se com o sistema cárstico do Membro Sapucari (Figura 7). Essa intercalação resulta em vazões significativamente maiores em comparação com áreas fora das zonas alvo. A análise dos poços tubulares gerenciados pela CODERSE e SIAGAS revelou vazões específicas superiores a 12.180 L/h/m na região, com as maiores vazões específicas sendo registradas no Membro Sapucari, alcançando 99.000 L/h/m, 72.000 L/h/m e 44.000 L/h/m [25]. Ademais, a comparação entre o sistema aquífero cárstico do Aquífero Sapucari e os fraturamentos de idades Uroniana e Cenomaniana, que estão associados à distensão do terreno em um ambiente de margem passiva, revela as maiores vazões específicas da região.

Considerando as formações rochosas e sedimentos com capacidade anual de exploração superior a 4 milhões de metros cúbicos, a Formação Cotinguiba destaca-se significativamente. Com aproximadamente cinco milhões de metros cúbicos por ano de reserva explotável, ela ocupa o quinto lugar em termos de potencial de exploração, precedida apenas pela Formação Riachuelo,

Depósitos Aluvionares, Depósitos Marinhos e pelo Grupo Barreiras [26]. Esta posição enfatiza a importância estratégica da Formação Cotinguiba como um recurso hídrico subterrâneo vital para o desenvolvimento sustentável e planejamento de recursos hídricos na região.

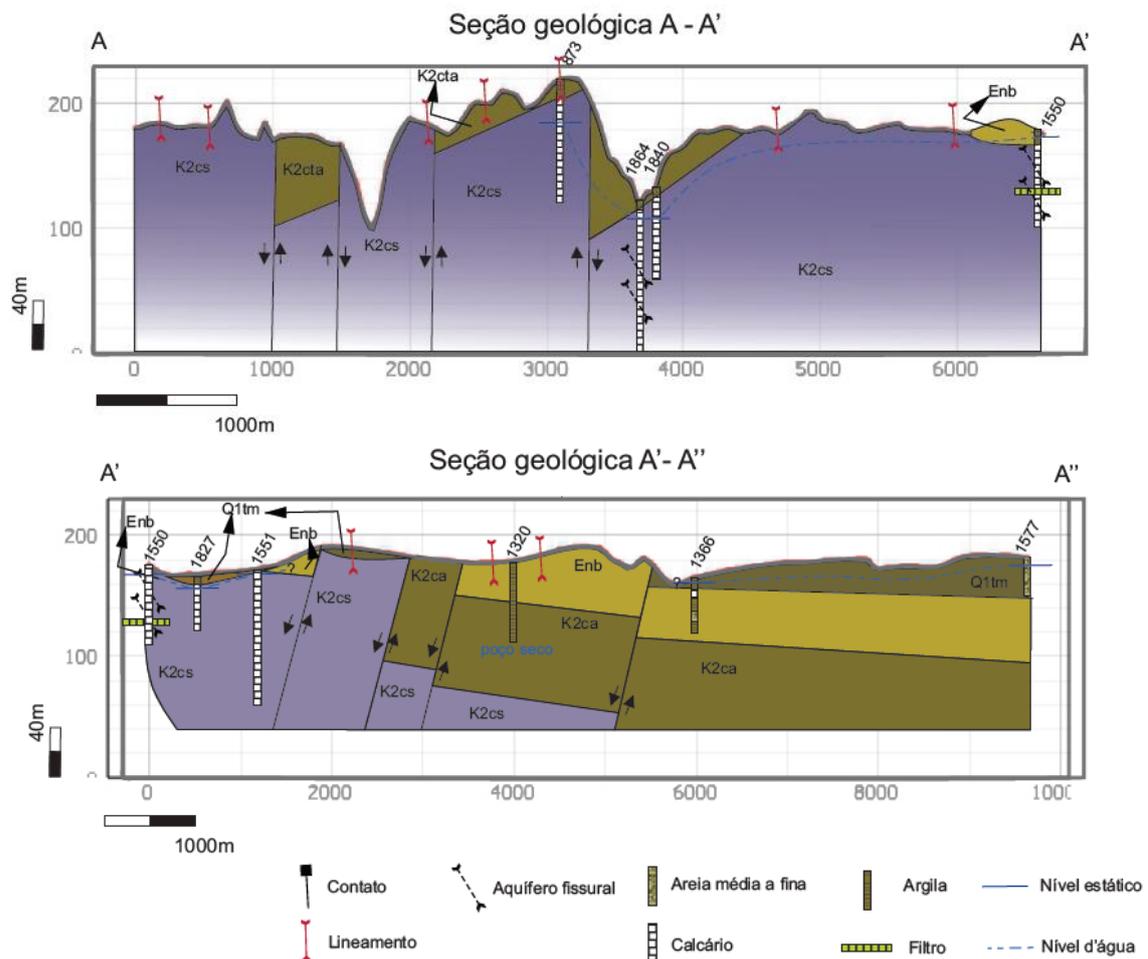


Figura 7 – Seções geológicas A-A' e A'-A''. Traçados na Figura 6. Fontes: Poços (CODERSE); elevação do terreno e Geologia de Sergipe [16].

Por fim, observa-se na Formação Cotinguiba: i) maior densidade de lineamentos; ii) a incorporação frequente da rede de drenagem nestes lineamentos; iii) registro de maiores vazões específicas, expressas por meio de melhores parâmetros hidrodinâmicos desta unidade aliado a, secundariamente, o papel das estruturas no arcabouço tridimensional.

5. CONCLUSÃO

O Modelo Digital de Elevação provou ser uma ferramenta eficaz para a extração de lineamentos, destacando com precisão o modelado do terreno e permitindo a geração de arquivos vetoriais de lineamentos. A integração de ferramentas computacionais de processamento digital de imagens e geoprocessamento, incluindo QGIS, OpenStereo, ENVI e CorelDraw, foi essencial para analisar o MDE, melhorando a textura da imagem e a visualização dos sistemas lineares. Este estudo alinha-se com os resultados de Vasconcelos et al. (2016) [

27] e Ribeiro et al. (2017) [4], indicando que os padrões mapeados refletem as inter-relações entre geomorfologia, geologia, recursos hídricos superficiais e tectônica distensiva da área.

A análise do comprimento e da frequência absoluta das drenagens e dos lineamentos sugere que a maior frequência da drenagem está associada à dissecação do relevo. Além disso, os maiores

comprimentos da hidrografia coincidem com os maiores comprimentos e frequências dos lineamentos, que definem as bacias de drenagem de segunda ordem desta região. A análise integrada da densidade de lineamentos e dos dados de poços produtores permitiu correlacionar a formação Cotinguiba (K2cs) com a maior favorabilidade hidrogeológica da área, enfatizando uma conexão entre modelos conceituais hidrogeológicos e o passado tectônico da bacia. Estratigraficamente, a unidade mais produtiva do sistema foi elevada à superfície.

Esses resultados oferecem subsídios valiosos para o ordenamento territorial e o planejamento sustentável da exploração de recursos hídricos subterrâneos na região da Grande Aracaju, contribuindo para a gestão eficiente e responsável destes recursos vitais. A identificação de áreas com maior favorabilidade hidrogeológica pode direcionar políticas públicas e investimentos, promovendo o uso sustentável da água subterrânea.

Recomenda-se que futuras pesquisas explorem técnicas de modelagem tridimensional para prever a disponibilidade de recursos hídricos em diferentes cenários climáticos. Além disso, a implementação de estudos de monitoramento contínuo pode fornecer dados essenciais para ajustar as estratégias de gestão de água subterrânea em tempo real.

6. AGRADECIMENTOS

Ao geólogo José Albuquerque, ao geólogo Jorge Assis, a geóloga Maria Auxiliadora e à Companhia de Desenvolvimento Regional de Sergipe - CODERSE pela disponibilização de banco de dados dos poços tubulares perfurados no município de Nossa Senhora do Socorro. A empresa Econsult - Environmental Consulting® pela disponibilização de recursos tecnológicos para o desenvolvimento do trabalho.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). AGENDA 2030: Objetivos de desenvolvimento sustentável: Avaliação do progresso das principais metas globais para o Brasil: ODS 6: assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e do saneamento para todas e todos. Brasília (DF): IPEA; 2024. (Cadernos ODS, 6). doi: <http://dx.doi.org/10.38116/ri2024ODS6>
2. Pereira SY, de Abreu AES, Murillo-Bermudez LF. Groundwater security: A review of national and international studies. *Derbyana*. 2024;45. doi: 10.14295/derb.v45.807
3. Ikirri M, Boutaleb S, Ibraheem IM, Abioui M, Echogdali FZ, Abdelrahman K, et al. Delineation of groundwater potential area using an AHP, remote sensing, and GIS techniques in the Ifni Basin, Western Anti-Atlas, Morocco. *Water (Switzerland)*. 2023 Apr;15(7):1436. doi: 10.3390/w15071436
4. Ribeiro DDM, Nascimento SAM, Garcia AJV. Caracterização hidrogeológica dos aquíferos cárticos Sapucari e Maruim, Bacia Sedimentar de Sergipe-Alagoas, Nordeste do Brasil. *Águas Subterrâneas*. 2017;31(3):207-21. doi: 10.14295/ras.v31i3.28805
5. Krysik J. A structural analysis of the fracture sets in Gothenburg, Sweden: A remote sensing and manual lineament approach. 7 ed. Gothenburg: University of Gothenburg; 2023.
6. Nouradine H, Schamper C, Valdes D, Moussa I, Ramel D, Plagnes V. Integrating geological, hydrogeological and geophysical data to identify groundwater resources in granitic basement areas (Guéra Massif, Chad). *Hydrogeol J*. 2024;32:759-84. doi: 10.1007/s10040-024-02766-2
7. Adaviruku PE, Oyatayo KT. Extraction, mapping, and analysis of structural lineaments using geospatial azimuth-altitude ratio technique on a DEM of a sub-catchment of the upper benue River Basin, Nigeria. *European Journal of Theoretical and Applied Sciences*. 2023 Nov;1(6):939-46. doi: 10.59324/ejtas.2023.1(6).90
8. Lima SS. Levantamento de drenagem e de feições estruturais lineares através de técnicas de geoprocessamento na microrregião de Boquim, Sergipe. *Braz J Dev*. 2020;6(10):81908-22. doi: 10.34117/bjdv6n10-572
9. Nascimento PSR, do Nascimento Filho JCB. Combinação linear ponderada na determinação da capacidade de armazenamento de água subterrânea. *Revista Internacional de Ciências*. 2022 Apr;12(1):6-25. doi: 10.12957/ric.2022.57525
10. Stefano PHP, de Cristo SA, Gomes IP, Lenz C. Avaliação Hidrogeológica do aquífero fraturado no município de Itabaiana SE. *Rev Geol*. 2018 Dec;31(2):169-78.

11. Cruz MAS, Resende RS, Amorim JRA. Análise da distribuição espacial de parâmetros de qualidade das águas subterrâneas para irrigação no semi-árido do estado de Sergipe. *Rev Bras Rec Hidr.* 2010 Apr;15(2):105-13.
12. Atlas águas; Atlas Brasil de abastecimento urbano de água. Agência Nacional de Águas [Internet]; [acesso em 1 jul 2024]. Disponível em: <https://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/storymaps/stories/1d27ae7adb7f4baeb224d5893cc21730>
13. Censo município de Nossa Senhora do Socorro, estado de Sergipe. IBGE [Internet]; 2022 [acesso em 13 abr 2024]. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/se/nossa-senhora-do-socorro/panorama>
14. Campos Neto OPA, Lima WS, Cruz FEG. Bacia de Sergipe–Alagoas: Boletim de Geociências da Petrobrás. 2007;15(2):405-15.
15. Teixeira LR. Mapa geológico e de recursos minerais do estado de Sergipe, escala 1:250.000 [Internet]. 2014 [acesso em 13 abr 2024]. Disponível em: http://dspace.cprm.gov.br/bitstream/doc/21619/1/mapa_geologico_se.pdf
16. Atlas digital de recursos hídricos. Portal de Recursos Hídricos de Sergipe [Internet]; 2024 [acesso em 13 abr 2024]. Disponível em: <https://portais.semec.se.gov.br/portalrecursoshidricos/#>
17. Saadi N, Elkoul O, Sadeg SA. Integrating remote sensing and aeromagnetic data for lithological and structural lineaments mapping in Abu Ghaylan - Kiklah - Tighrinna, northwest Libya. *Visnyk of VN Karazin Kharkiv National University, series Geology Geography Ecology.* 2023 Jun;(58):97-110. doi: 10.26565/2410-7360-2023-58-08
18. Martins CFV, Bahia DSG, Doll KM, da Silva DT. Análise morfométrica da sub-bacia hidrográfica do rio Piauitinga, SE. *J Environm Anal Progr.* 2022 Jun;7(2):117-26. doi: 10.24221/jeap.7.2.2022.4247.117-126
19. Farr TG, Rosen PA, Caro E, Crippen R, Duren R, Hensley S, et al. The shuttle radar topography mission. *Reviews of Geophysics.* 2007 Jun;45(2):1-33. doi: 10.1029/2005RG000183
20. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Topodata [Internet]; 2024 [acesso em 13 abr 2024]. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>
21. Open Source Geospatial Foundation. QGIS - Quantum Gis [Internet]; [acesso em 4 jul 2024]. Disponível em: <https://qgis.org/en/site/getinvolved/faq/index.html>
22. Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências. OpenStereo [Internet]. [cited 2024 Jul 4]. Available from: <https://igc.usp.br/openstereo/download/>
23. Hobbs WH. Lineaments of the Atlantic border region. *Bull Geol Soc Am.* 1904 Nov;15:483-506. doi: 10.1130/GSAB-15-483
24. Por O, Alves R, Adriano S, Martins AM, Pedreira J, Rômulo N, et al. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB. Geologia e recursos minerais do Estado de Sergipe. Escala 1:250.000. Texto explicativo do Mapa geológico do Estado de Sergipe. Brasília: Divisão de Editoração Geral – DIEDIG. Departamento de Apoio Técnico – DEPAT; 1998.
25. Peixinho F, Castilho A. SIAGASWeb - Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. Serviço Geológico do Brasil [Internet]; 2024 [acesso em 13 abr 2024]. Disponível em: <https://siagasweb.sgb.gov.br/layout/>
26. da Rocha AF. Sergipe: A água nossa de cada dia [e-book]. Aracaju (SE); 2024.