Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.06,2024
ISSN 2178-6925

ESTIMATIVA DAS RESERVAS HÍDRICAS FISSURAIS EM CAMPINA GRANDE, PARAÍBA, BRASIL

ESTIMATION OF FISSURAL WATER RESERVES IN CAMPINA GRANDE, PARAÍBA, BRAZIL

Lanusse Salim Rocha Tuma
https://orcid.org/0009-0009-4627-9194
Doutor, Universidade Estadual da Paraíba, Brasil
E-mail: lanussetuma@servidor.uepb.edu.br

Santiago García-López
https://orcid.org/0000-0002-1245-7169
PhD., Universidade de Cádiz, Espanha
E-mail: santiago.garcia@uca.es

Emanuel Santos de Oliveira
http://lattes.cnpq.br/1835512059528800
Mestrado pela Universidade Federal da Paraíba, Brasil
E-mail: emanuel.santos.10@hotmail.com

Ramon Santos Souza
https://orcid.org/0000-0002-9501-8435
Doutor, Universidade Estadual da Paraíba, Brasil
E-mail: ramonss93@servidor.uepb.edu.br

Resumo

As premissas centrais deste trabalho baseiam-se em análises comparativas das reservas subterrâneas do município de Campina Grande – estado da Paraíba (Nordeste do Brasil no Continente Sulamericano). De início, houve a coleta dos índices dos poços previamente perfurados por órgãos governamentais, entre os quais: 484 dados sobre as profundidades de perfurações, 216 dados sobre as vazões específicas, 262 dados sobre as vazões (estabilizadas), 279 dados sobre as profundidades dos níveis estáticos e 218 dados referentes aos declínios dinâmicos. No entanto, devido a pontos duplicados e/ou valores extremos, houve a eliminação de algumas amostras brutas, visando o refinamento dos resultados gerados, a partir do manuseio controlado de programas computacionais de domínio público. Os gráficos geoestatísticos foram elaborados de acordo com as direções 0º, 45º, 90º e 135º, com o propósito de detectar as características das estruturas variográficas satisfatórias. Na sequência, foram ajustados os modelos teóricos sobre os modelos experimentais, para encontrar um modelo padrão para a representação da estrutura direcional para

cada variável regionalizada. Admite-se que o conjunto amostral envolvido apresenta um comportamento de distribuição do tipo lognormal. Já a característica predominante das variáveis se apresenta no campo do fenômeno anisotrópico. Por fim, a análise da validação dos resultados através da krigagem ordinária esboçaram valores baixos quanto a variância do erro, trazendo inferências sobre as favorabilidades para a captação hídrica, ou mesmo, sendo um instrumento de predição das tendências espaciais específicas de cada parâmetro em subsuperfície através de interpoladores.
Palavras-chave: Geoestatística; Hidrogeologia; Modelagem.

Abstract

The central premises of this work are based on comparative analyses of the underground reserves in the municipality of Campina Grande - state of Paraíba (Northeast of Brazil in the South American continent). Initially, the indices of wells previously drilled by government agencies were collected, including: 484 data on drilling depths, 216 data on specific flows, 262 data on flows (stabilized), 279 data on static level depths, and 218 data on dynamic declines. However, due to duplicated points and/or extreme values, some raw samples were eliminated, aiming at refining the generated results through controlled use of public domain computer programs. The geostatistical graphs were prepared in accordance with the 0°, 45°, 90°, and 135° directions in order to detect satisfactory characteristics of the variographic structures. Next, theoretical models were fitted to the experimental models to find a standard model for the representation of the directional structure for each regionalized variable. It is assumed that the involved sample set presents a lognormal distribution behavior. The predominant characteristic of the variables, on the other hand, appears in the field of the anisotropic phenomenon. Finally, the analysis of the validation of the results through ordinary kriging showed low values regarding the variance of the error, providing inferences about the favorabilities for water capture, or even being an instrument for predicting the specific spatial trends of each subsurface parameter through interpolators.
Keywords: Geostatistics; Hydrogeology; Modeling.

Resumen

Las premisas centrales de este trabajo se basan en análisis comparativos de las reservas subterráneas en el municipio de Campina Grande - estado de Paraíba (noreste de Brasil en el continente sudamericano). Inicialmente, se recopiló una base de datos de variables hidrogeológicas relativos a pozos perforados previamente por agencias gubernamentales, que incluyen: 484 datos acerca de profundidades de perforación, 216 datos acerca de caudal específico, 262 datos acerca de caudal (estabilizado), 279 datos acerca de profundidad de nivel estático y 218 datos acerca de descenso dinámico. Sin embargo, debido a la duplicación de puntos y/o existencia de valores extremos, se eliminaron algunos datos brutos, con el objetivo de afinar los resultados generados, a partir del manejo controlado de programas informáticos de dominio público. Posteriormente se abordó el estudio geoestadístico de la base de datos. Los gráficos geoestadísticos se elaboraron según las direcciones 0º, 45º, 90º y 135º, con el fin de detectar satisfactoriamente las características de las estructuras variográficas. Luego, los modelos teóricos se ajustaron sobre los modelos experimentales, para encontrar un modelo estándar para la representación de la estructura direccional para cada variable regionalizada. Se supone que el conjunto de muestreo involucrado tiene un comportamiento de distribución lognormal. La característica predominante de las variables, por otra parte, aparece en el campo del fenómeno anisotrópico. Finalmente, el análisis de la validación de los resultados mediante kriging ordinario arrojó valores bajos en cuanto a la varianza del error, aportando inferencias sobre los favores para la captación de agua, o incluso, ser un instrumento de predicción de las tendencias espaciales específicas de cada parámetro en el subsuelo a través de interpoladores.
Palabras clave: Geoestadística; Hidrogeología; Modelización.

1. INTRODUÇÃO

Certas áreas territoriais do semiárido nordestino brasileiro dependem dos reservatórios superficiais abastecidos de acordo com as condições climáticas, que por fatores intrínsecos de sazonalidade geram tensões na sociedade. Dentro deste contexto, buscam-se por soluções alternativas, como a captação em reservatórios subterrâneos, que quando devidamente controlados e monitorados minimizam a insegurança hídrica, as incertezas nas tomadas de decisão e os riscos socioambientais.

A pesquisa se baseia em uma análise comparativa dos mananciais subterrâneos do município de Campina Grande – estado da Paraíba (NE do Brasil no Continente Sulamericano), utilizando-se algumas variáveis hidrogeológicas dos poços previamente cadastrados e aplicando as ferramentas geoestatísticas de modelagem variográfica e interpolações, com o objetivo central da estimação das múltiplas potencialidades, e assim contribuir com o gerenciamento sustentável desse recurso estratégico.

Este território já vivenciou episódios críticos de racionamento e desabastecimento. A questão que enfatiza a justificativa ou motivação da sua realização necessariamente passa pelo (re)ordenamento e planejamento das fontes subsuperficiais de uma urbe em crescimento, pois representam um suprimento diante da escassez de água, além de garantir a segurança hídrica das cadeias produtivas, mediante a ação conjunta das demais obras de engenharia, tais como: redes de distribuição (adutoras), barragens (subterrâneas e de assoreamento) e integração de bacias hidrográficas (transposição).

Nesse sentido, este trabalho leva em consideração os preceitos contidos em Kitanidis (1997).

> Os modelos geoestatísticos podem descrever a estrutura espacial de uma variável de uma forma que não é tão restritiva e pode considerar a variabilidade em várias escalas. Estes modelos incluem superfícies de tendência com base no uso das funções variograma e co-variância. O número de variáveis independentes descrevendo o aquífero pode ser drasticamente reduzido usando conceitos geoestatísticos. A estrutura geoestatística é definida a partir de informações pontuais, e então, os parâmetros hidrogeológicos em qualquer ponto são encontrados usando a mais adequada teoria de estimativa (KITANIDIS, 1997 apud VASCONCELOS e SOUSA, 2009).

Do ponto de vista da análise dos parâmetros hidrogeológicos investigados com abordagens semelhantes, destacam-se os trabalhos de Gomes et al. (2018),

Wolff (2017), Gonçalves et al. (2015), Andrade et al. (2012), Oda et al. (2012); Azevedo et al. (2009), Nanni et al. (2008) e Castro (2017) entre tantos outros.

Com base no enfoque voltado para a área de estudo, registra-se os levantamentos preconizados por Bomfim (2010) e Lima et al. (2007). Segundo o primeiro autor, esta área está inserida no domínio Hidrogeológico relacionado com terrenos cristalinos (aquíferos fissurais), cujos mananciais são considerados como baixa a muita baixa favorabilidade, em termos de reservas hídricas. Para os demais autores na sequência, os reservatórios subsuperficiais em Campina Grande, apresentam classificação química da água do tipo cloretada sódica, de potabilidade momentânea, com salinidade alta a extremamente alta, mediamente a extremamente sódica, consideradas impróprias para uso na irrigação.

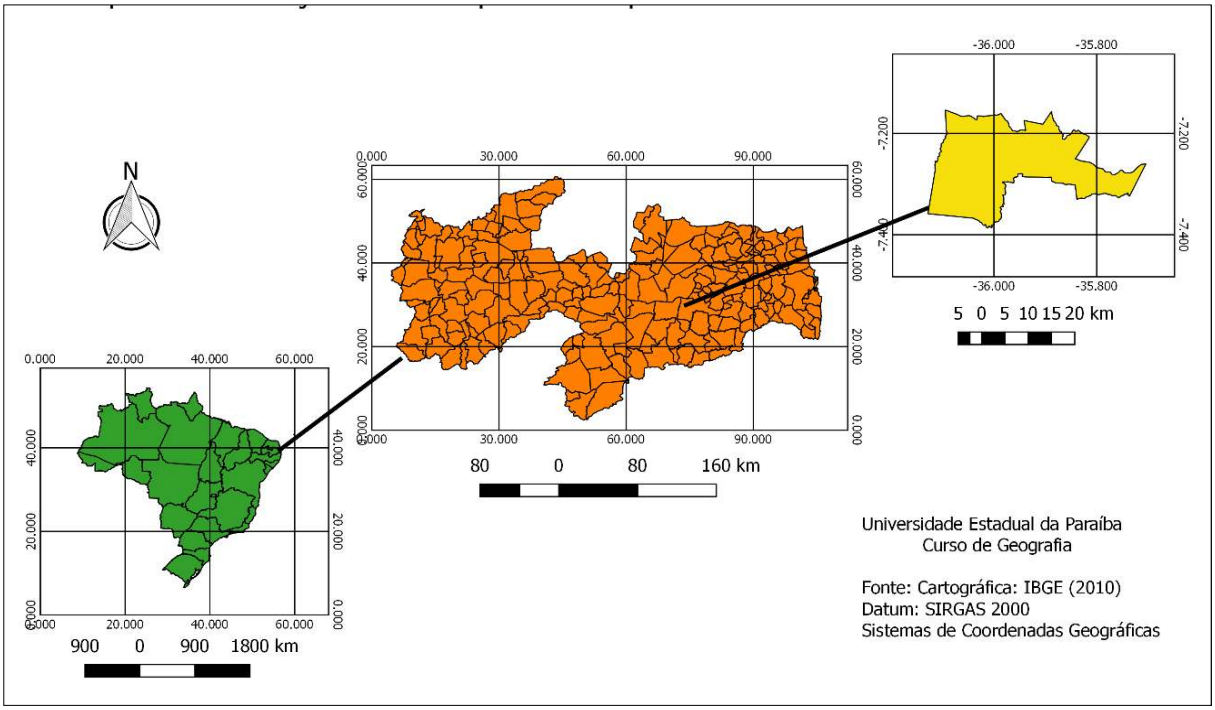
Em contrapartida, as pesquisas que retratam os modelos combinados no âmbito da Geoestatística (baseada na Teoria das Variáveis Regionalizadas, fundamentada por Matheron em 1963 e 1971, a partir das observações de Krige em 1951) na perspectiva de estimar padrões de regimes hidrológicos, visam o ordenamento do solo e processos de decisão governamental. Nessa mesma direção, podem ser citadas as contribuições de Mata Lima (2005), Manzione et al. (2012), Aubin et al. (2016), Catanha et al. (2016) e muitos outros.

As características dos aquíferos fissurais associados às rochas cristalinas, alvos dessa investigação, denotam estrita relação com a arcabouço geológico existente e das estruturas tectônicas associadas em superfície e subsuperfície (falhamentos e fraturamentos), cujos armazenamentos e produtividades dos poços dependem diretamente da presença aleatória dos condicionantes geomecânicos rúpteis nos maciços rochosos, bem como da disponibilidade na região de regimes pluviométricos sazonais, infiltração e dentre outros aspectos.

2. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA NA ÁREA DE ESTUDO

O município de Campina Grande, no estado da Paraíba (região central do Agreste no Estado), está localizado nas coordenadas geográficas 07º13’50” de latitude sul e 35º52’52” de longitude oeste do meridiano de Greenwich, a cerca de 120 km da capital paraibana. Esta região apresenta uma abrangência de aproximadamente 594 km^2, porém a mancha urbana compreende 79,5 km^2 desse total, com altitudes variando em torno de 551 metros. A rede de abastecimento de

água, que presta serviço para a Região Metropolitana de Campina Grande composta por 19 municípios, provêm do reservatório Epitácio Pessoa (açude público de Boqueirão) distante da sede municipal em torno de 60 km. Esse reservatório hídrico apresenta oscilações volumétricas de capacidade durante os ciclos (pluri)anuais de estiagem. Segundo os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE em 2020, a população campinense está estimada em mais de 410 mil habitantes (BRASIL, 2010). Os limites territoriais alcançam ao norte, os municípios de Lagoa Seca, Massaranduba, Pocinhos e Puxinanã; ao sul, com os municípios de Boqueirão, Caturité, Fagundes e Queimadas; a leste, com o município de Riachão de Bacamarte; e a oeste, com o município de Boa Vista (Fig. 1).



Fonte: Adaptado de Oliveira (2019).

Figura 1 - Mapa de localização da área da pesquisa.

A área se enquadrada na Região Geográfica Imediata e Intermediária (BRASIL, 2017[a]), bem como está compreendida pela cobertura do chamado Polígono das Secas (BRASIL, 2017[b]), também conhecido como espaços semiáridos do nordeste brasileiro.

De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, o clima da microrregião é do tipo *As* (trópico semiárido a subúmido seco), com o período de estiagem no verão e chuvas concentradas no outono e inverno, posicionada na transição entre

microrregiões úmidas e mais secas do interior, com precipitação média em torno de 800 mm/ano e temperaturas variando entre 20 ºC a 30 ºC (INMET, 2020).

Em níveis regionais, o balanço hídrico do semiárido é deficitário, onde em média, tem-se uma evapotranspiração potencial (ETP) de 1302 mm/ano (LEITE et al., 2011 apud FERNANDES NETO et al., 2015). Os volumes de precipitações irregulares ao longo do ano registram a estatística de escoamento de fluidos em apenas um dia de 21% de tudo o que se precipita (CARNEIRO, 1998).

A situação fica mais crítica, segundo dados do IBGE de 2000, relacionados a vegetação do semiárido, os quais apontam que 54% do Bioma Caatinga encontra-se em elevado estágio de antropização, o que causa impactos significativos sobre os recursos hídricos em escala regional (BARROS JÚNIOR, 2008). Além disso, o avanço das áreas brasileiras susceptíveis à desertificação, afetadas pelas secas, decorrente do processo de degradação dos solos, conflitos no uso dos recursos hídricos, impactos sobre a vegetação, implicam na redução da qualidade de vida das populações afetadas (SILVA, 2003; BRASIL, 2007).

Em termos pedológicos, nas superfícies de ondulações suaves a onduladas ocorrem os planossolos, medianamente profundos a profundos, fortemente drenados, além dos argissolos, de textura argilosa. Nas elevações ocorrem solos neossolos rasos, de textura argilosa. Nos vales dos rios e riachos ocorrem os planossolos, medianamente profundos, imperfeitamente drenados e textura médio-argilosa (RODRIGUES e SILVA et al., 2000). Através de reconhecimento, os solos apresentam perfis imaturos a pouco desenvolvidos, muito pedregosos, mal drenados, essencialmente areno-siltosos sobrepostos aos materiais consolidados levemente alterados, cujas feições colaboram para o escoamento superficial, em períodos pluviais irregulares, com atuação das infiltrações ocasionais durante os regimes pluviométricos concentrados.

A hidrografia, no setor, apresenta a configuração de sistemas de microdrenagens do tipo córregos e riachos, com o caráter temporário e de baixos fluxos, dispostos em uma topografia de moderada elevação, que serve com um divisor de águas fluviais para outros afluentes e/ou infiltra em calhas ou fendas de zonas de fraturas nos trechos da drenagem.

Com base na Agência Executiva de Gestão das Águas entre os anos de 2008 a 2009, a quantidade de água outorgada em termos volumétricos pelo tipo de uso, foram os seguintes: abastecimento humano (43,87%), irrigação (32,17%),

aquicultura (13,54%), industrial (7,11%), lançamento de efluentes (3,01%), comercial (0,22%) e lazer (0,09%). Em termos de licenças expedidas por tipo de captação, o número de outorgas concedidas, representadas por mananciais superficiais somaram 64%, enquanto para os mananciais subterrâneos corresponderam a 36% (PARAÍBA, 2009).

A paisagem está inserida na parte oriental da Província da Borborema (BRITO NEVES et al., 2001; ALMEIDA et al.,1981). O relevo, no geral, está compartimentado nas partes mais elevadas por colinas e morros, sendo íngremes a ondulados, entalhados por vales e riachos contendo sulcos e ravinas, e nas áreas mais aplainadas estão presentes as coberturas elúvio-coluvionares formando rampas onduladas a suavemente onduladas (Fig. 2).



Figura 2 - Aspectos da topografia e uso da terra na área por setores norte, acima, e sul, parte inferior.

As informações contidas em Santos et al. (2002), descrevem os terrenos que constituem a Zona Transversal da Província Borborema (porção nordeste da Plataforma Sul Americana) como sendo caracterizadas por uma série de zonas de cisalhamento verticais, de direção NW destrais, e direção NE sinistrais, que formam um sistema conjugado situado no segmento oriental do Lineamento Patos.

Segundo Rodrigues (2008), Rodrigues et al. (2011b), Lages e Marinho (2012) e complementos de Santos e Moura (2015), a geologia da Folha Topográfica Campina Grande (SB.25-Y-C-I) abrange principalmente os Terrenos Alto Moxotó e Alto Pajeú, a saber de norte para sul, destacando-se: Terreno Rio Grande do Norte (RGN), constituído principalmente por rochas paleoproterozóicas que preservaram os núcleos arqueanos (domínio setentrional da Borborema), Terreno Alto Pajeú (TAP), composto por ortognaisses (Cariris Velhos) e supracrustais (Complexo São Caetano) de idades Eo-neoproterozóicas; Terreno Alto Moxotó (TAM) estruturado por ortognaisses bastante variados, migmatitos e rochas máficas-ultramáficas; Terreno Rio Capibaribe (TRC) composto basicamente por supracrustais xistosas, quartzitos, com intercalações cálcio-silicáticas e cabonáticas. As três últimas são parte integrante do Domínio da Zona Transversal. Em todos os terrenos citados ocorrem intrusões graníticas associadas ao Evento Brasiliano (Fig. 3).

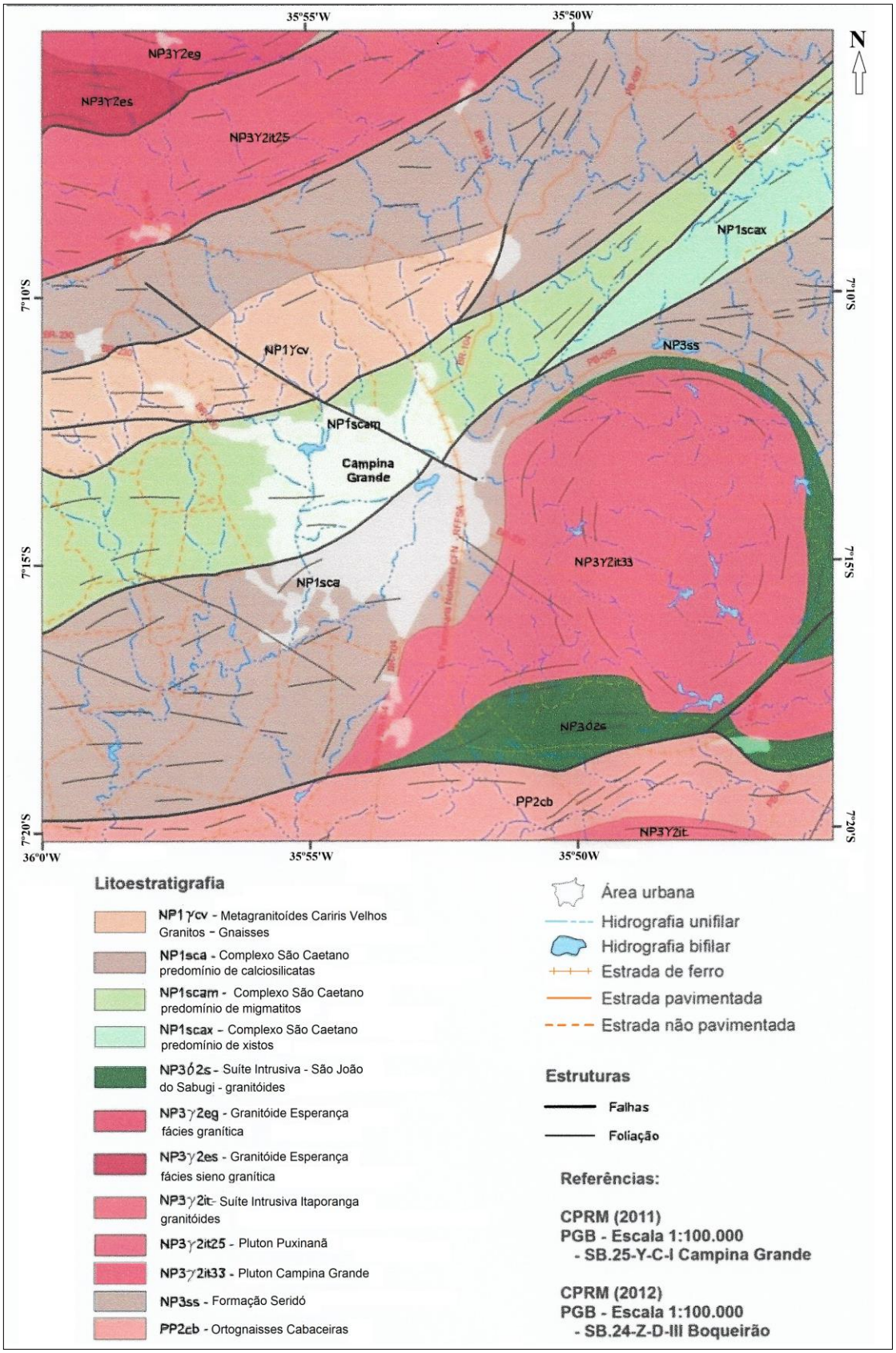


Figura 3 – Geologia da Folha Campina Grande e do seu entorno (modificado de RODRIGUES et al., 2011a; GALVÃO, et al., 2017).

Galvão et al. (2017) identificaram em algumas comunidades do entorno da área pesquisada, a partir de caminhamentos eletromagnéticos, anomalias compatíveis com estruturas planares, subjacentes a aluviões e a sistemas de drenagens (orientadas a NW-SE e segmentadas a lineamentos NNW-SSE, E-W e NE-SW.), favoráveis a explotação. Já para Feitosa e Diniz (2011), no cristalino as águas subterrâneas estão interconectadas por fendas, fraturas e descontinuidades, esboçando uma formação de reservatórios descontínuos e com extensão limitada.

A Hidrogeologia regional da área foi estabelecida como unidade hidroestratigráfica denominada de embasamento fraturado indiferenciado de produtividade geralmente muito baixa (*5 Fr*), porém localmente baixa, com fornecimentos contínuos dificilmente garantidos e expectativas de vazões em poços tubulares variando entre 1 e 10 m^3/h (DINIZ et al., 2014). A condutividade elétrica de alguns poços, estão no intervalo acima de 150 mS/m, que em termos de salinidade, é superior ao limite de potabilidade sem um apropriado tratamento (SOUZA JÚNIOR et al., 2016).

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A diretriz metodológica deste trabalho foi aprimorada e adaptada, com o propósito de se obter produtos cartográficos de predição confiáveis e mais precisos, seguindo determinados critérios estabelecidos para selecionar o melhor modelo hidrogeológico e geoestatístico para uma série de dados interpolados comparam-se valores teóricos com valores obtidos na amostragem, com análise dos erros de estimação e escolha do melhor modelo (TUMA, 1999; TUMA, 2004; FARACO et al., 2008; BAZZI et al., 2009 apud BIER et al., 2015).

A etapa inicial de aquisição da base de dados constou de levantamentos de informações preexistentes. Iniciou-se com uma vasta consulta bibliográfica, em livros, revistas científicas, projetos executados, relatórios técnicos e ambientais, e demais publicações dos acervos existentes em bancos de dados nacionais e internacionais, além da coleta de dados técnicos disponibilizados pelos órgãos da esfera federal, estadual e municipal.

Realizou-se, ainda, uma ampla pesquisa através dos levantamentos de bases cartográficas existentes de fontes confiáveis, de grande relevância para o posicionamento e representação espacial do setor pesquisado, com base em perfis

estratigráficos, plantas topográficas, mapas geológicos, geomorfológicos, hidrogeológicos, imagens de radar e satélite, que serviram de suporte e embasamento das interpretações finais e conclusivas, mediante visualização do terreno em duas dimensões.

Durante a fase de planejamento, foram coletados dados brutos sobre os poços existentes na sede do município. As fontes foram consultadas em portais dos órgãos públicos, como por exemplo, no banco de dados do SIAGAS/Serviço Geológico do Brasil - CPRM. Após cada coleta, os resultados obtidos foram organizados em planilhas eletrônicas.

Na fase de gabinete, também foram manipulados os dados referentes aos poços profundos de captação de água subterrânea cadastrados pela Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba - CAGEPA/PB e da Diretoria de Recursos Minerais e Hidrogeologia - SEIRHMA/PB. Os dados sobre os poços preexistentes constaram basicamente: a posição georreferenciada (localização geográfica contendo os pares de coordenadas UTM), a profundidade da perfuração de cada poço ou da fratura produtora (h), o nível piezométrico/estático (NP/NE), o nível/declínio dinâmico (ND/DD), bem como a vazão (Q) e a vazão específica (Q_{esp}), além de outros registros dos furos de sondagem, pois são características hidrogeológicas de interesse dessa pesquisa.

A partir da obtenção dos dados existentes nas instituições citadas, foi possível chegar nos seguintes índices acima, entre os quais: 484 valores para *h*, 216 valores de Q_{esp}, 262 valores de *Q*, 279 valores para *NE* e 218 valores para *ND*.

No entanto, devido a pontos duplicados e/ou valores extremos, houve a exclusão de algumas amostras. Desta maneira, a quantidade de informações adotadas foram as seguintes: 281 amostras para *h*, 212 amostras de Q_{esp}, 254 amostras de *Q*, 271 amostras para *NE* e 213 amostras para *ND* (Fig. 4).

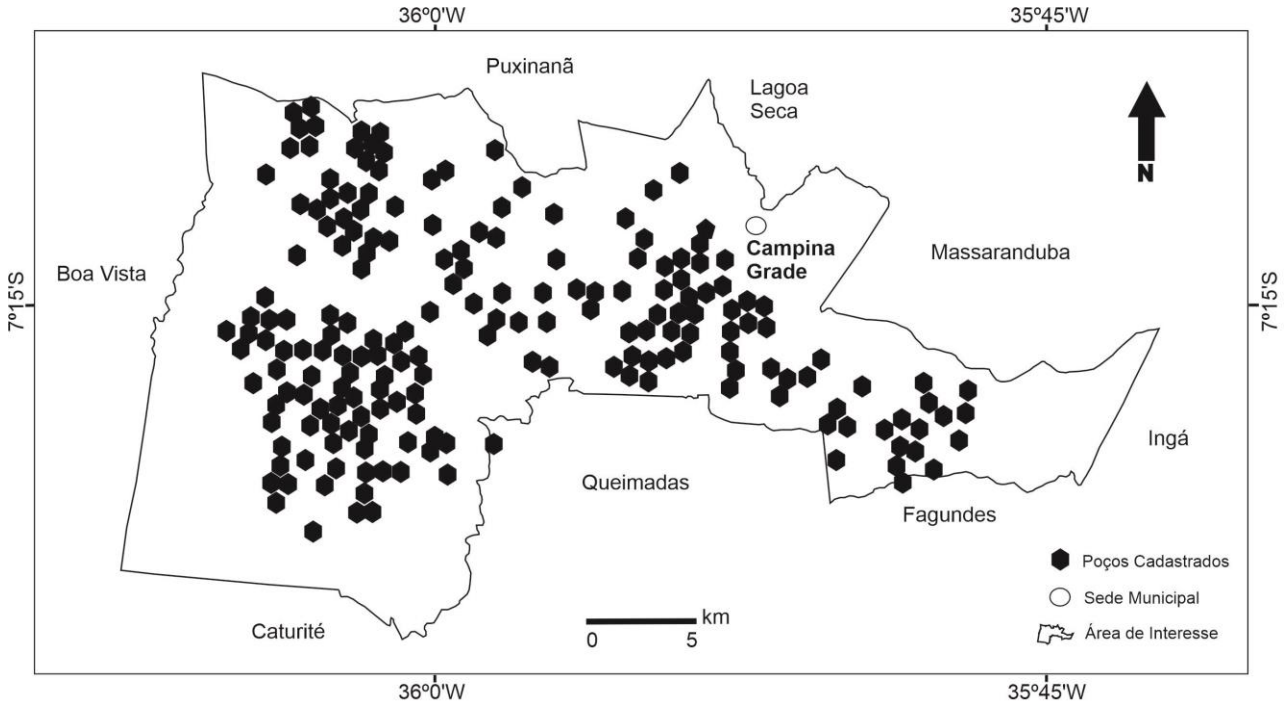


Figura 4 – Representação simplificada da distribuição dos pontos amostrais (base cartográfica de Diniz et al., 2014; Galvão et al, 2017 e imagem de satélite *Google Earth* de 2018).

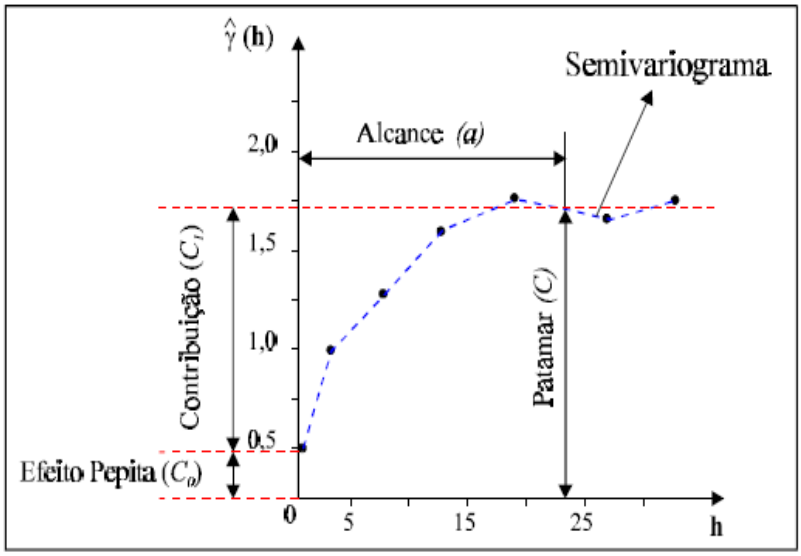
Nas primeiras etapas do manuseio dessas amostras foram extraídos certos parâmetros estatísticos clássicos que possibilitaram inferir certas considerações preliminares sobre os dados experimentais, por facilitar o reconhecimento aparente da natureza da distribuição das observações envolvidas. Nesse tipo de estudo, as conclusões partem da análise do comportamento observado das amostras extraídas de uma população amostral.

Entre as estimativas, da estatística clássica, empregadas para a verificação sobre a natureza da distribuição dos dados disponíveis, podem-se citar em destaque: média, moda, mediana, desvio padrão, variância, curtose, coeficiente de variação, curvas de frequência acumuladas e histogramas. O emprego do programa computacional estatístico, neste caso, auxiliou na manipulação da quantidade das variáveis envolvidas (total e fracionada).

Sobre as características espaciais dos dados, percebe-se que os dados não apresentam tendência, em função dos diferentes pares de coordenadas dos pontos amostrais, pois são isotrópicos, e ainda, sem valores que podem ser considerados *outliers*. Caso uma ou mais dessas características sejam detectadas, essa análise geoestatística tomaria outros rumos, devido à quebra de pressupostos importantes (YAMAMOTO e LANDIM, 2013).

Qualquer que seja o estudo geoestatístico, inicia-se com o cálculo e construção de modelos variográficos. Esses modelos serviram para caracterizar a estrutura espacial, por exemplo, a variação das profundidades do nível piezométrico e/ou do desnível dinâmico dos poços perfurados, entre outras variáveis tratadas, ou em outros casos, a determinação da continuidade ou não de uma determinada feição no modelo gerado.

O semivariograma determina a medida de dependência entre amostras identificadas no espaço geográfico (Fig. 5), onde a distância indica a semelhança dos pontos considerados por intervalos maiores ou menores (LANDIM, 1998).



Fonte: Camargo (1998).

Figura 5 – Modelo esquemático da função semivariograma.

Essa função é caracterizada por três grandezas principais com a seguinte expressão matemática, segundo Journel e Huijbregts (1978):

$$\lambda(\mathrm{r}) = \mathrm{C}_0 + C\left\{\frac{3}{2}\frac{r}{a} - \frac{1}{2}\frac{\mathrm{r}^3}{\mathrm{a}^3}\right\}, \qquad \forall \mathrm{r} \in [0, \mathrm{a}]$$
$$1 = \text{patamar}, \qquad \forall \mathrm{r} \geq \mathrm{a}$$

Onde:

λ(h) função semivariograma para uma distância determinada

(r) número de pares distanciados a uma distância *h*

(C_0 + C) representa o patamar total

(*a)* denominado de alcance ou amplitude

- Alcance ou Amplitude *(a)* que representa a área de influência de cada amostra. Obtém-se esse valor traçando uma perpendicular na região onde o variograma experimental se estabiliza, em seguida, lê-se no eixo *h* o valor da distância.
- Efeito pepita *(C_0)* corresponde ao somatório dos erros humanos cometidos, com os desvios resultantes de estruturas existentes na jazida. Esse parâmetro é obtido pela intercessão da reta inicial com o eixo das ordenadas *$\lambda(h)$*.
- Variância espacial ou Patamar *(C)*. É obtido de $C = (C_0 + C_1) – C_0$.

Segundo Guerra (1988), por definição o variograma de uma variável qualquer tem por expressão:

$$2\lambda(h)=\frac{1}{n(h)}\sum_{i=1}^{n(h)}\left[X(z_i)-X(z_i+h)\right]^2$$

Onde:

$X(z_i)$ é o valor da variável no ponto *z_i*

$X(z_i+h)$ é o valor da variável no ponto *z_i+h*

$n(h)$ é o número de pares distanciados a uma distância *h*

$2\lambda(h)$ é o valor médio do quadrado das diferenças entre todos os pares de pontos existentes no campo geométrico e distanciados por *h*

Seguindo esse entendimento, foi adotado como programa computacional o programa R e RStudio, versão 3.6.1 (R *DEVELOPMENT CORE TEAM*, 2018). O aplicativo contém ferramentas interativas que executam análises geoestatísticas, fornecendo informações sobre as variáveis a serem investigadas. Trata-se de um aplicativo de domínio público, ou seja, distribuído livremente, que pode trazer grandes diferenças no produto final (mapas), cuja análise pode ser melhorada e comprovada quantitativamente (ROSA et al., 2015).

Na etapa seguinte, se realizou o armazenamento, a simulação e a eliminação dos prováveis erros da variação espacial, através da adoção das experimentações determinísticas e estocásticas, adotando os melhores interpoladores (krigagem, co-krigagem etc) e suavizando as distorções aplicando a seleção de interpoladores existentes no aplicativo mencionado.

Em síntese, o método de trabalho adotado constou de um planejamento tradicional que basicamente envolveu as das seguintes etapas: investigação e coleta

de informações fundamentais; caracterização e adaptação da metodologia empregada; trabalhos de campo e levantamentos expeditos com drone; definição dos modelos geoestatísticos; análises dos indicadores hidrogeológicos; elaboração dos produtos derivados temáticos e a sistematização e integração dos resultados produzidos.

4. RESULTADOS ALCANÇADOS E DISCUSSÕES

Considerando o banco de dados disponibilizados pelas instituições citadas, referentes aos poços existentes, apresenta-se o comportamento da população amostral após o tratamento estatístico, esboçando os parâmetros contendo extremos (Tab. 1).

Tabela 1 – Resultados da estatística descritiva obtidos dos poços com extremos.

Índices Hidrodinâmicos	Profundidade dos Poços (m)	Nível Piezométrico (m)	Declínio Dinâmico (m)	Vazão Específica (m^3/h)	Vazão (Estabilizada) (m^3/h)
Número de Amostras					
	281	271	213	212	254
Medidas de Posição					
Mínimo	1,5	0,2	0,0	0,0	0,0
Máximo	181	46,2	84	26	38,2
Média	41,8	7,5	17,2	2,4	7,5
Moda	20	4	20	0,0	1
1º Quartil (25%)	31,5	1,6	0,1	0,0	1
Mediana	43,5	4,7	14,5	0,2	2
3º Quartil (75%)	50	12	27	3,0	10,8
Medidas de Dispersão					
Variância	263,3	56,8	304,3	18,7	101,4
Desvio padrão	16,2	7,5	17,4	4,3	10,1
Medidas de Distribuição					
Coeficiente variação (%)	38,8	101	101,6	183	134,1
Coeficiente de assimetria	2,1	1,8	1,0	2,8	1,5
Curtose	18,7	5,4	0,8	8,9	1,1

Fonte: Tuma e Oliveira (2020).

O número empregado de amostras, para os índices tratados, está satisfatório e com certo nível de confiança para o avanço das etapas sequenciais, levando-se em consideração o patamar da quantidade total de poços em relação a dimensão da área, de acordo com Guimarães (2004) e Landim (2006).

Apresenta-se, ainda, a síntese dos resultados estatísticos retirando-se os dados extremos, ou seja, aquelas discrepâncias acima e abaixo dos parâmetros médios (Tab. 2). Nota-se, no geral, um incremento significativo nas medidas amostrais, reduzindo a margem de erro da representatividade, obtendo-se melhores estruturas variográficas e interpolações.

Tabela 2 – Síntese dos resultados da estatística descritiva dos poços sem extremos.

Índices Hidrodinâmicos	**Profundidade dos Poços (m)**	**Nível Piezométrico (m)**	**Declínio Dinâmico (m)**	**Vazão Específica (m^3/h)**	**Vazão (Estabilizada) (m^3/h)**
Número de Amostras					
	445	263	103	105	232
Medidas de Posição					
Mínimo	9	0,2	15,2	0,0	0,03
Máximo	70	22	29	0,06	4,9
Média	42,6	8,1	22,3	0,02	1,2
Mediana	45	6	22,3	0,02	1
Medidas de Dispersão					
Variância	132,3	33,2	14,5	0,0	1,2
Desvio padrão	11,5	5,7	3,8	0,01	1,1
Medida de Distribuição					
Coeficiente variação (%)	0,2	0,7	0,1	0,59	0,8

Fonte: Adaptado de Oliveira (2019).

A variável profundidade dos poços ou fendas produtoras, descriminada nas tabelas anteriores, será tratada apenas como um referencial estatístico, logo não será objeto de maiores análises.

O nível estático deve ser compreendido como a profundidade do nível d'água, medida da superfície do poço para baixo, antes do teste de bombeamento, levando-se em conta a elevação freática. Os valores do nível piezométrico da área, que devem ser medidos através de equipamento específico, não foram coletados em campo e nem constam nos bancos de dados disponíveis.

O nível dinâmico se refere à profundidade em relação a superfície do poço, quando o regime permanente é atingido durante o funcionamento das bombas, ou seja, quando os volumes d'água estabilizam.

A vazão (estabilizada) corresponde a medida obtida no final do teste de bombeamento contínuo, pois representa o volume de água por unidade de tempo extraído do poço por um equipamento apropriado. O índice tratado como vazão específica refere-se ao parâmetro utilizado para definir a capacidade produtiva dos poços, também denominada de capacidade específica, sendo a razão entre a vazão estabilizada e o rebaixamento (Sw = DD - NP) produzido no poço, para um determinado tempo (BRASIL, 1998). Sob esta condição, em um local fixo, ocorre com o tempo o aumento do rebaixamento e a diminuição da carga ou do potencial da água fora de equilíbrio estático (CLEARY, 1989).

Para dimensionar os diferentes grupos amostrais com a finalidade de classificar uma dada ordem de frequência, apresenta-se o problema observado em várias classes, empregando-se os valores extremos (Fig. 6) e sem extremos (Fig. 7).

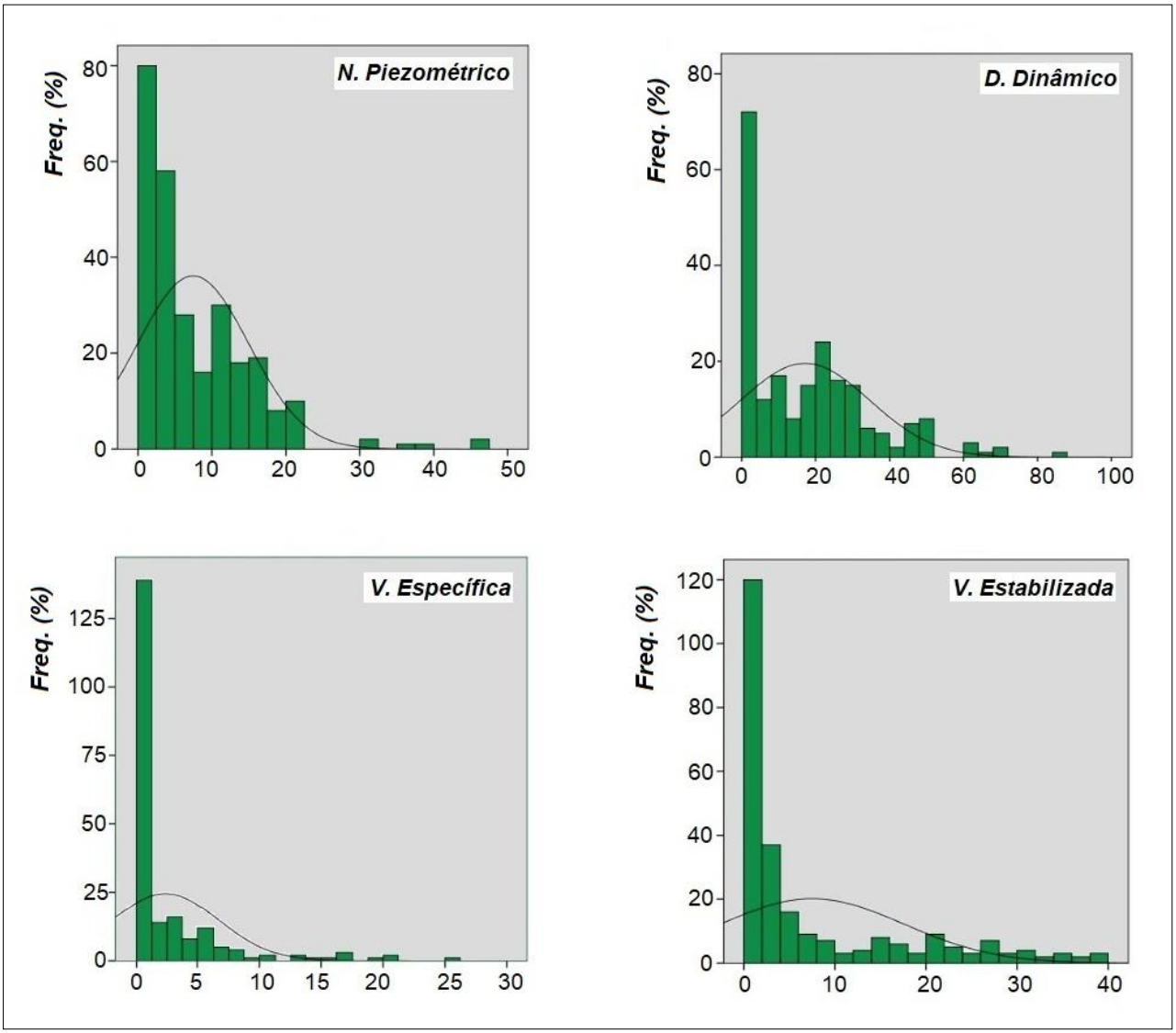


Figura 6 – Histogramas e curvas de frequência das classes com valores extremos.

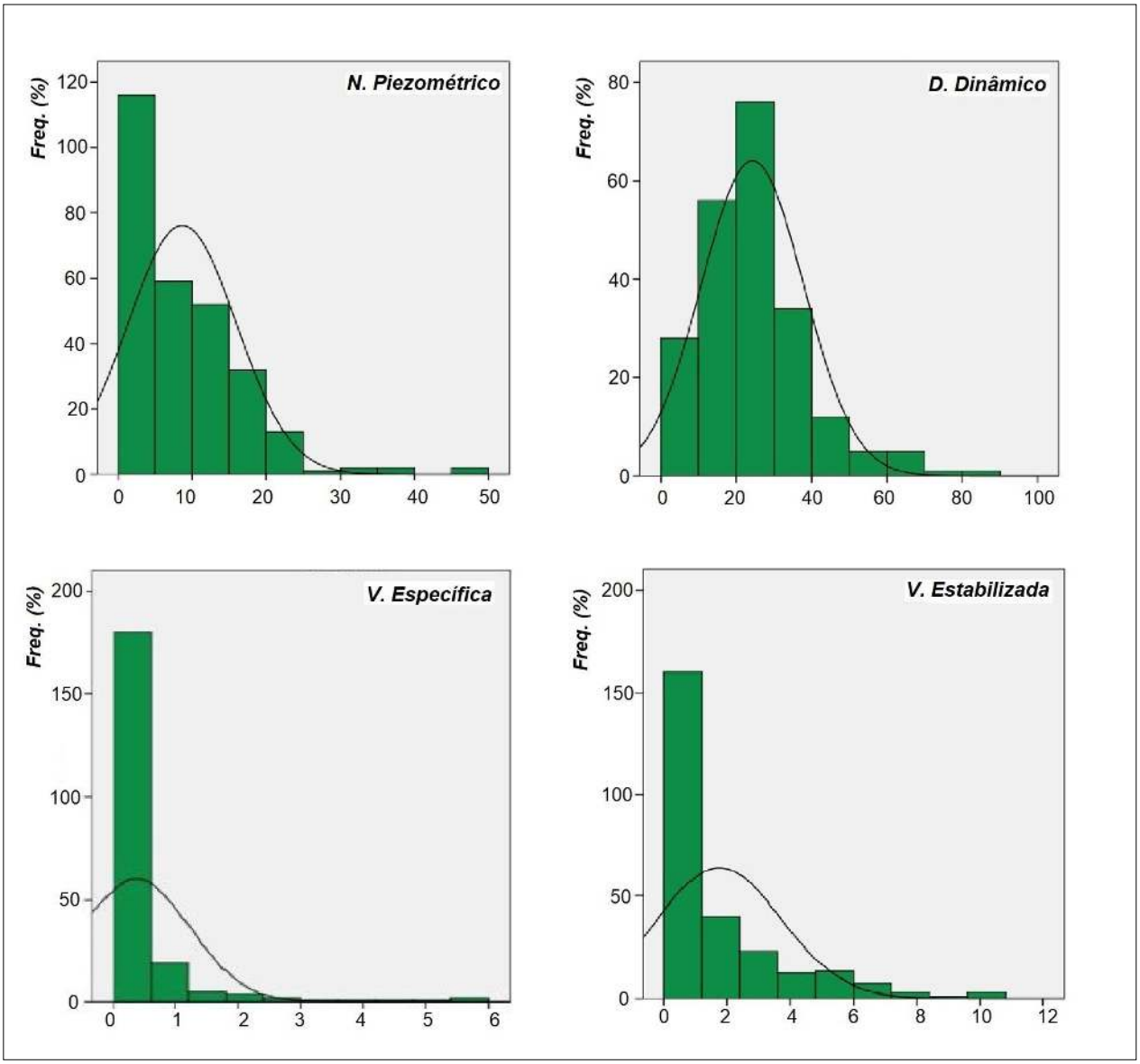
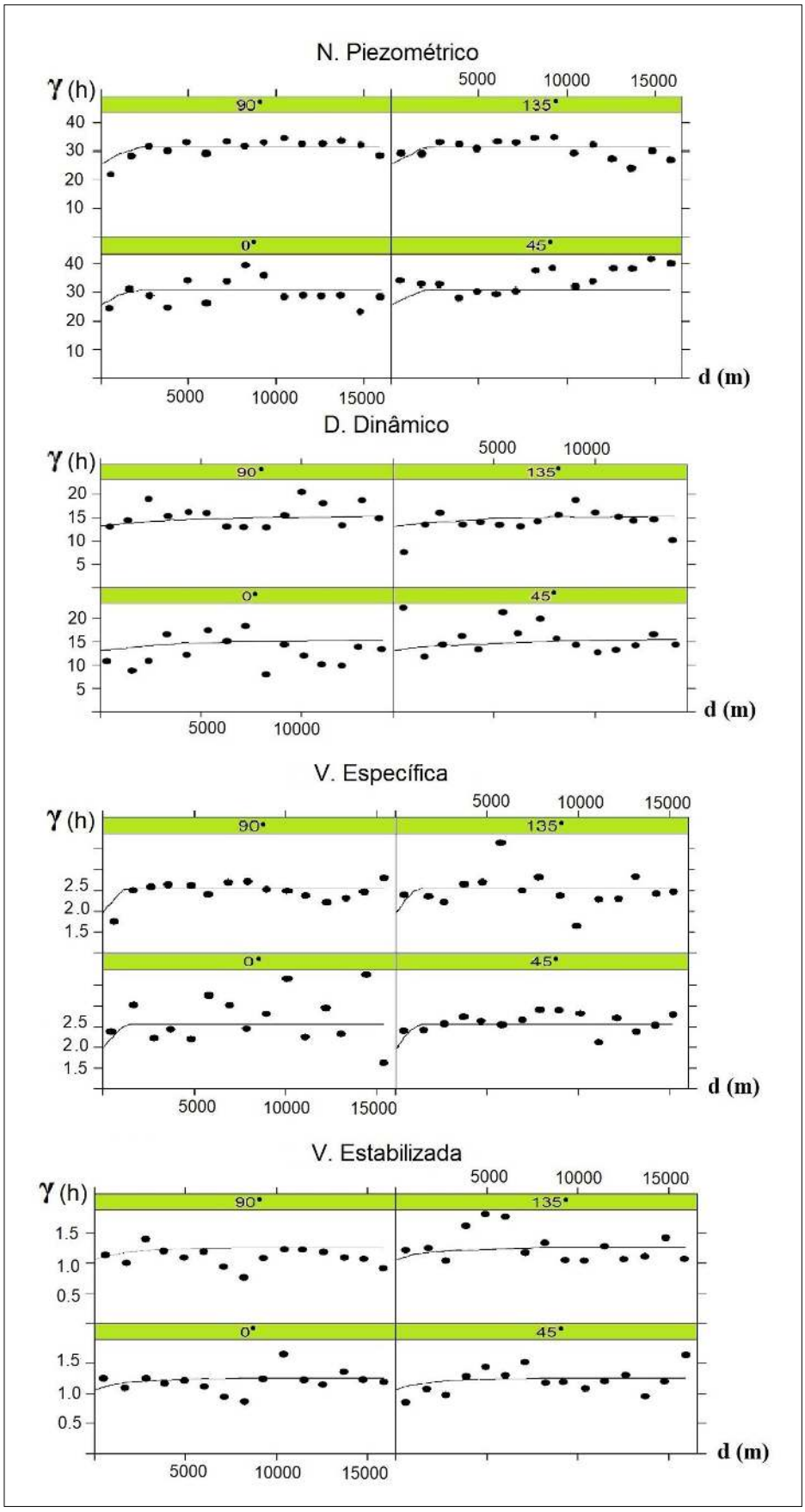


Figura 7 - Histogramas e curvas de frequência das classes sem valores extremos.

Nas figuras anteriores, fica evidente que a retirada dos dados discrepantes reduziu as medidas de dispersão e de distribuição, o que implica diretamente em menor variabilidade ou espalhamento, e consequentemente, em maior representatividade do universo amostral.

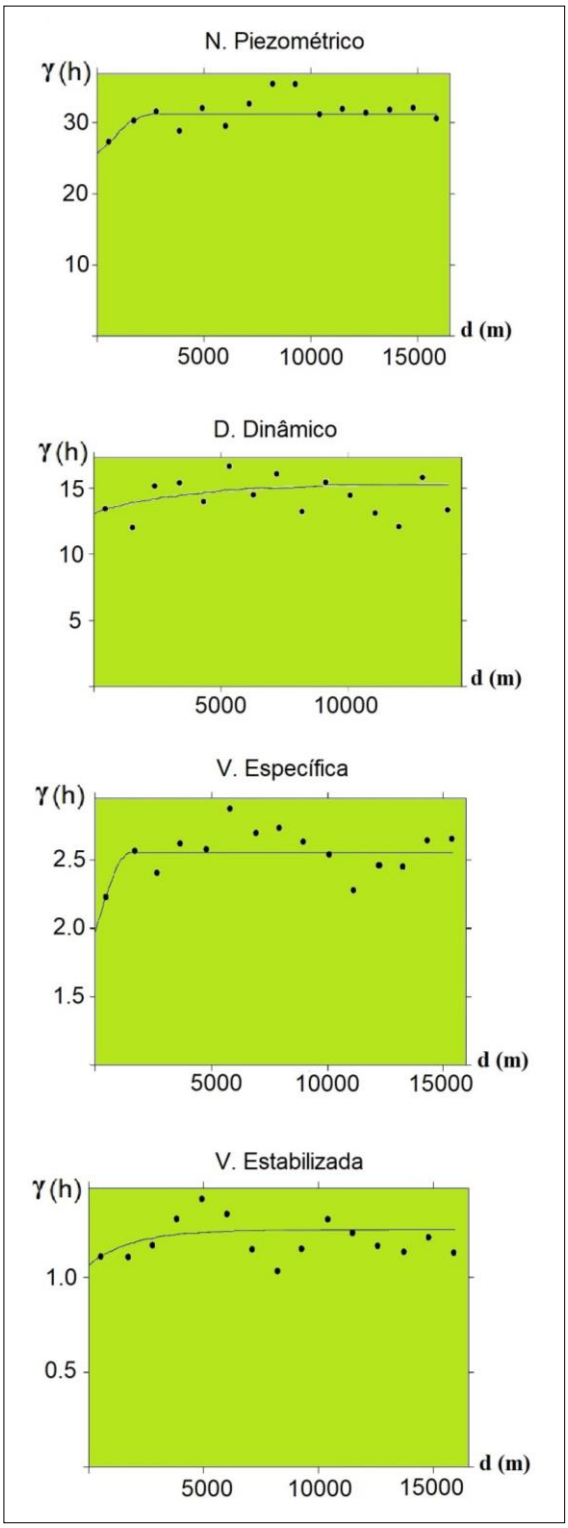
Os gráficos geoestatísticos foram elaborados de acordo com as direções convencionais 0º, 45º, 90º e 135º, com o propósito de detectar as características das estruturas variográficas e seleção dos modelos representativos. Com a definição dos variogramas experimentais, ajustam-se por aproximação os variogramas teóricos, dos quais se faz inferências relacionadas aos variogramas verdadeiros para o caso analisado (Fig. 8).



Fonte: Modificado de Tuma e Oliveira (2020).

Figura 8 – Características dos semivariogramas experimentais com base nas direções convencionais.

Na sequência, foram ajustados os modelos teóricos sobre os modelos experimentais. O modelo satisfatório para a representação da estrutura, de cada índice em específico, seguiu a melhor estrutura direcional com o maior número de pares de pontos possíveis para o campo geométrico definido (Fig. 9).



Fonte: Adaptado de Tuma e Oliveira (2020).

Figura 9 – Modelos dos semivariogramas teóricos usados a partir das melhores continuidades.

Os parâmetros utilizados para cada modelo teórico estão demonstrados na tabela a seguir (Tab. 3).

Tabela 3 – Parâmetros ajustados para os modelos variográficos teóricos.

Parâmetros dos Semivariogramas	Modelo Variográfico	Quartis Usados	Efeito Pepita (m)	Patamar (m)	Alcance (m)
Índices					
Nível Piezométrico	Esférico	Mín-Máx	25.658	5.604	2.673,12
Declínio Dinâmico	Exponencial	Q2-Máx	13.145	2.228	3.814,77
Vazão Específica	Esférico	Mín-Q3	1.937	1.173	1.538,23
Vazão Estabilizada	Exponencial	Mín-Máx	1.065	0.187	1.984,79

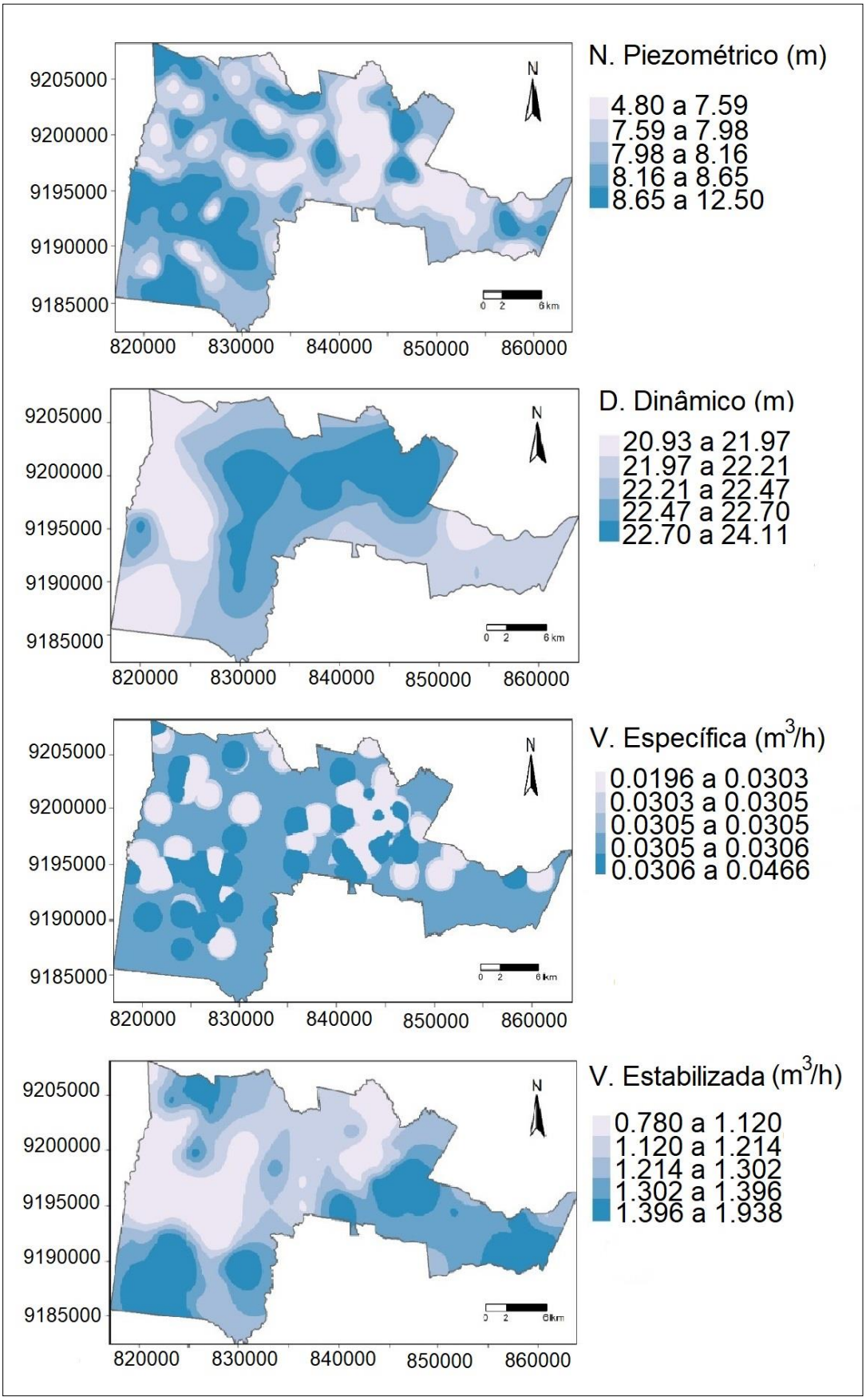
Fonte: arquivo pessoal do autor (2020).

Na tabela acima, fica constatado que a escolha dos variogramas com direções satisfatórias refletem de forma significativa nos valores de efeito pepita e do alcance, como resposta a uma menor variância estrutural. Destaca-se, então, a dependência espacial dos dados que definem as características necessárias para estimar os locais não amostrados, que de acordo com o índice analisado varia de 1500 m até 3800 m.

Como mecanismos de gestão de água subterrânea e avaliação de todos os riscos de poluição possíveis em relação à sua vulnerabilidade, certos parâmetros devem ser considerados, entre os quais: profundidade da água subterrânea; taxa de recarga líquida; meio aquífero; topografia; zona vadosa; condutividade hidráulica; espessura do aquífero; e taxa de densidade de bombeamento em caso de bombeamento excessivo (ABU-BAKR, 2020).

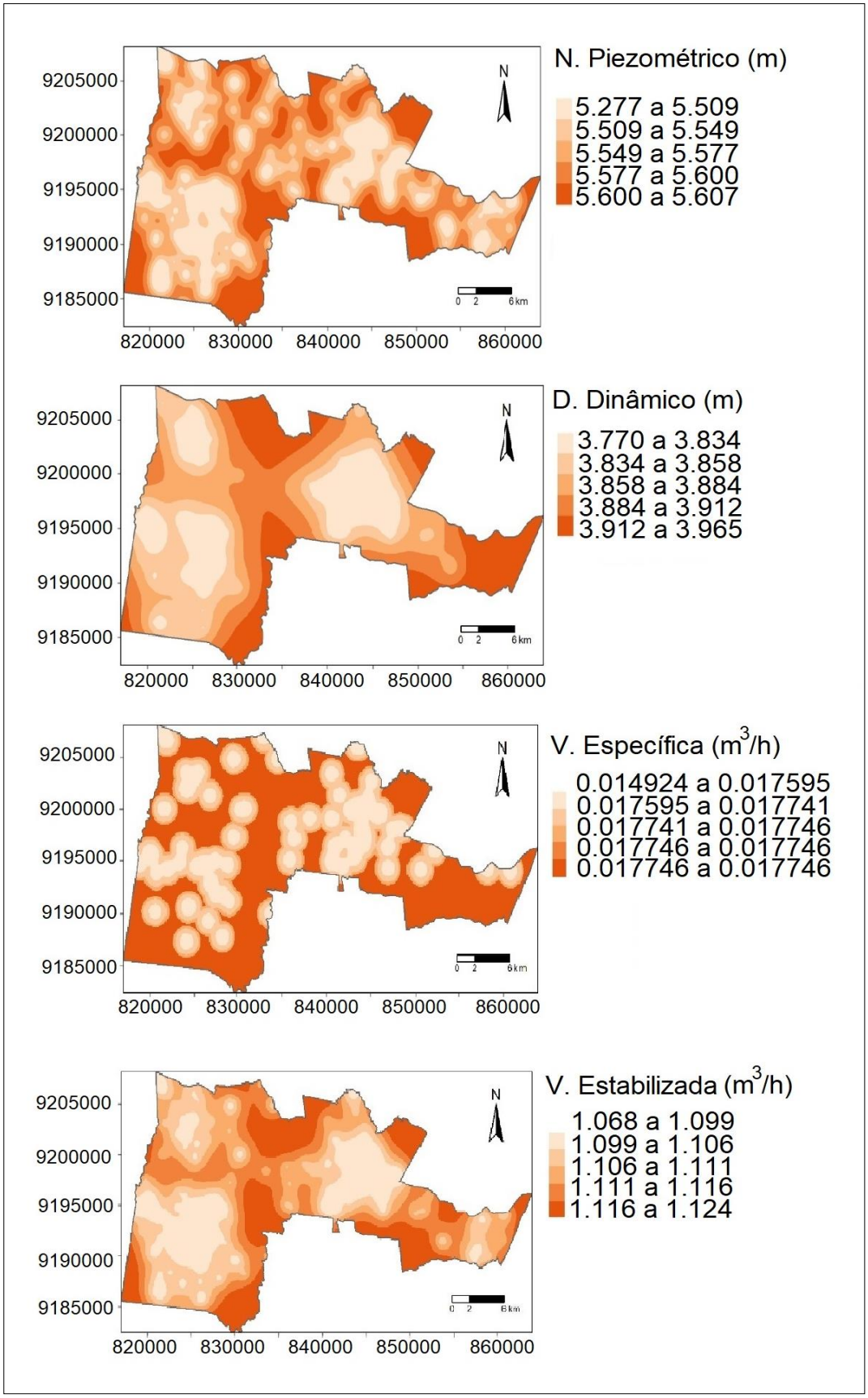
Seguindo o mesmo entendimento, após as análises variográficas, realizou-se as estimativas de krigagem (interpolações), ou seja, a reprodução das tendências espaciais em relação as distâncias ou variabilidades espaciais com base nas observações amostrais (Fig. 10). Este tipo procedimento foi validado anteriormente, como por exemplo, nos experimentos de Povoa et al. (2011).

Na tentativa de reduzir os erros entre os valores observados e estimados, para uma adequada distribuição espacial e suas respectivas abrangências, refletindo diretamente em menores desvios na variância da krigagem, optou-se pela técnica da krigagem ordinária do desvio padrão (Fig. 11).



Fonte: Tuma e Oliveira (2020).

Figura 10 – Estimação por krigagem ordinária indicando o comportamento de cada variável.



Fonte: Tuma e Oliveira (2020).

Figura 11 – Modelagem obtida por krigagem ordinária do desvio padrão para cada caso em detalhe.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conjunto amostral envolvido apresenta um comportamento de distribuição do tipo lognormal. Já a característica predominante das variáveis regionalizadas apresenta-se no campo do fenômeno anisotrópico.

Os variogramas médios obtidos demonstram estruturas muito satisfatórias, a partir da eliminação de pontos amostrais com valores extremos, indicado no comportamento dos gráficos, haja vista a dificuldade da análise concreta dos contrastes das anomalias presentes no estudo.

Da análise variográfica observa-se a predominância de efeito buraco com oscilação na vertical, que demonstram padrões irregulares no comportamento das variáveis regionalizadas. Estas estruturas de oscilação podem significar reservatórios confinados com padrões distintos de heterogeneidade.

Os valores alcançados após os devidos ajustes e as áreas de influência (alcance) das malhas de amostragem indicam um adequado espaçamento, conveniente para gerar produtos diagnósticos aproximados da realidade.

A aplicação da validação dos resultados por krigagem esboçam valores baixos de variância do erro, trazendo inferências sobre as eventuais favorabilidades para a captação hídrica, ou mesmo, sendo um instrumento de predição das tendências espaciais específicas de cada índice hidrodinâmico em subsuperfície através de interpoladores. Ressalta-se, ainda que, cada cartograma esboça na prática a representação de superfícies descontínuas de abrangência, tendo em vista a inexistência de continuidade da zona saturada em sistemas fraturados.

O pacote computacional empregado atendeu ao propósito exploratório e investigativo de forma abrangente e expedita, porém apresenta certas desvantagens relacionadas com a saída das interfaces gráficas e rotinas de operação.

Os resultados obtidos a partir do procedimento metodológico empregado estão próximos dos parâmetros físicos, correspondendo a dados limitados e irregulares, e dos indicadores de produção, sendo baixos e inconstantes, quando comparados com outros métodos e técnicas utilizados em levantamentos geológicos prévios.

A água subterrânea representa mais uma estratégia de resiliência diante das intempéries. Contudo, essa fonte vital está superestimada de acordo com os registros disponíveis, cujos resultados em mais de sete décadas de escavações

indicam uma média de 2 a 4 poços/km^2 executados na área, embora, deva-se admitir algum quantitativo sem cadastro em órgãos oficiais.

AGRADECIMENTOS

A Fundação Carolina pelo suporte a esta pesquisa, compromisso com o avanço do conhecimento e estímulo para a cooperação científica entre a Europa e a América Latina.

Ao quadro docente do Departamento de Ciencias de La Tierra-UCA (Cádiz-ES) pelas trocas de experiências acadêmicas e profissionais.

A Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) pelo aporte administrativo fundamental para a concretização desta pesquisa.

Aos pesquisadores Dr. Ramon Santos Souza e Dr. Ivanildo Costa da Silva, ambos do Departamento de Geografia (Centro de Humanidades/UEPB), pelos melhoramentos necessários no trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABU-BAKR, H.A.E.A. Groundwater vulnerability assessment in different types of aquifers. Agricultural Water Management, Vol. 240, Oct. 2020, 106275. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037837742030305X#abs0005> Acesso em out. de 2020.

ALMEIDA, F.F.M., HASUI, Y., BRITO NEVES, B.B., FUCK, R.A. Brazilian Structural Provinces: An introduction. Earth Sci. Rev., 1981, 18: p.1-29.

ANDRADE, T.S.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; MONTENEGRO, A.A.A.; RODRIGUES, D.F.B. Variabilidade espaço-temporal da condutividade elétrica da água subterrânea na região semiárida de Pernambuco. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2012, Vol. 16(5), p.496(9).

AUBIN, G.S.; MARACHE, A.; LASTENNET, R.; BREYSSE, D. Geostatistical investigations for sustable mapping of the water table: the Bordeaux case (France). Hidrogeology Journal, 2016, Vol. 24(1), p. 231-248.

AZEVEDO, J. dos S.; OLIVEIRA, S.P.; LIMA, O.A.L. de. Métodos estocásticos para modelagem de escoamento estacionário e transiente em meios porosos. Rev. Bras. de Geofísica, São Paulo, Vol. 27(2), apr./june 2009.

BARROS JÚNIOR, G. Disponibilidade e retenção de água em comunidades rurais do semiárido brasileiro. In: Água, solo e educação ambiental: história e memória, planejamento e gestão. AGRA, J.T.N. e AGUIAR, J.O. (Org.). Campina Grande, EDUFCG, 2008, p. 107-117.

BIER, V.A.; SOUZA, E.G.; SCHENATO, K.; BETZEK, N.M.; NÓBREGA, L.H.P. Índice de seleção de interpoladores determinísticos e estocásticos. In: IV Simpósio de Geoestatística aplicada em Ciências Agrárias – SGeA, Anais, 2015, Botucatu-SP, 6p. Disponível em: <http://www.fca.unesp.br/#!/instituicao/departamentos/solos-recursos-ambientais/sra/grupos-de-estudos/gepag/anais-sgea/sgea-2015/>. Acesso em: 24/7/2018.

BOMFIM, L.F.C. Mapa de Domínios/Subdomímios Hidrogeológicos do Brasil em ambiente SIG: concepção e metodologia. In: XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, Anais, 2010, São Luís-MA, 18p.

BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 2010. Contagem Populacional referente ao município de Campina Grande. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/campinagrande/panorama>. Acesso em: 27/07/2018.

BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. COORD. DE GEOGRAFIA. Divisão regional do Brasil em regiões geográficas imediatas e regiões geográficas intermediárias. 2017ª, Rio de Janeiro: IBGE, 92p.

BRASIL. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA-INMET/BDMEP. Série Histórica: dados diários sobre precipitação (mm) e temperatura anual (ºC). Campina Grande/PB. Bancos de dados meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível em <https://bdmep.inmet.gov.br>. Acesso em: set. de 2020.

BRASIL. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE – SUDENE. Resolução Nº. 107/2017: Estabelece critérios técnicos e científicos para delimitação do Semiárido Brasileiro e procedimentos para revisão de sua abrangência. Recife: SUDENE, 2017ᵇ, 2p.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE-MMA. SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS/UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA. Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil. SANTANA, M.O. (Org.). Brasília: MMA, 2007. 134p.

BRASIL. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL-CPRM. Programa ações emergenciais de combate aos efeitos das secas: Execução de testes de bombeamento em poços tubulares - Manual prático de orientação. In: FEITOSA, F.A.C., COSTA FILHO, W.D.(Ed.) CPRM/Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente, Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, Ago., 1998. 24p.

BRITO NEVES, B.B., CAMPOS NETO, M.C., VAN SCHMUS., W.R., FERNANDES, T.M.G., SOUZA, S.L.O. 2001. O Terreno Alto Moxotó no Leste da Paraíba (Maciço Caldas Brandão). Revista Brasileira de Geociências., 2001, 31: p.185-194.

CAMARGO, E.C.G. Geoestatística: Fundamentos e Aplicações. In: CÂMARA, G. & MEDEIROS, J.S. eds. Geoprocessamento para projetos ambientais. São José dos Campos:INPE, 1998. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/5geoest.pdf. Acesso em: 20/01/2019.

CARNEIRO, J.O. Recursos do solo e água no Semiárido Nordestino. João Pessoa: A União, 1998. 115p.

CASTRO, K.B. de. Segurança hídrica urbana: morfologia urbana e indicadores de serviços ecossistêmicos, estudo de caso do Distrito Federal, Brasil. 2017 207p. Tese (Doutorado em Geociências Aplicadas). Universidade de Brasília, 2017.

CATANHA, M.; SACASAS-LEON, C.; PEREZ-LAZO, J. Prospeccion de aguas subterraneas mediante logica difusa em Luanda, Angola. Mineria y Geologia, 2016, Vol. 32(3), p. 60(18).

CLEARY, R.W. Águas subterrâneas. São Paulo/SP: Princeton Groundwater, inc./Clean Environment Brasil/Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH). 1989, Cap. II, p.33.

DINIZ, J.A.O.; MONTEIRO, A.B.; SILVA, R.C.; DE PAULA, T.L.F. Mapa Hidrogeológico do Brasil ao Milionésimo, Recife: CPRM-Serviço Geológico do Brasil, 2014, Nota Técnica, 45 p. il, 1 mapa, color., 1,78 cm x 91,00 cm, 1:5.000.000. Programa de Cartografia Hidrogeológica.

FARACO, M. A.; URIBE-OPAZO, M. A.; SILVA, E. A. A.; JOHANN, J. A.; BORSSOI, J. A. Seleção de modelos de variabilidade espacial para elaboração de mapas temáticos de atributos físicos do solo e produtividade da soja. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 463-476, 2008.

FEITOSA, F.A.C.; DINIZ, J.A.O. Água subterrânea no cristalino da região semiárida brasileira. In: II Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo – II CIMAS. 2011. Anais, 2011, ABAS, São Paulo. 4p.

FERNANDES NETO, S.; BARACUHY, J.G. de V.; FERNANDES, P.D.; LIMA, V.L.A. de. Estudo fisiográfico da microbacia hidrográfica Riacho Fundo, Paraíba, Brasil. In: Unidade de tecnologias integradas para conservação de recursos hídricos. BARACUHY, J.G. de V., FURTADO, D.A., FRANCISCO, P.R.M. (Org.). Campina Grande: Epgraf, 2015. Cap. I, p.12-21.

GALVÃO, M. J. da T. G. *et al.* Projeto Campina Grande: alternativas para abastecimento por águas subterrâneas na Região de Campina Grande com indicações de potencial hidrogeológico. Recife: CPRM, 2017.

GOMES, M.A.; RAMOS, E.V. da S.; SANTOS, L.C. dos; BITU, S.G.; GADELHA, A.J.F. Avaliação hidroquímica e parâmetros físico-químicos de qualidade das águas subterrâneas da zona urbana do Município de Sousa-PB. Rev. Águas Subterrâneas, São Paulo, Vol. 32(2), 2018, p. 162-172.

GONÇALVES, T.D.; LOHE, C.; CAMPOS, J.E.G. Hidraulic characterization from porous aquifers of the Brazilian Federal District. Brazilian Journal of Geology, 45(2): 259-271. June, 2015.

GUERRA, P.A.G. Geoestatística Operacional. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. Brasília-DF, 1988. 145p.

GUIMARÃES, E. C. Geoestatística básica e aplicada [Apostila]. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia/MG, 2004. 78p.

IBM SPSS. Statistics Software versão 20 (trial). Disponível em: <https://www.ibm.com/analytics/spss-statistics-software>. Acesso em: 09/07/2020.

JOURNEL, A.G.; HUIJBREGTS, C.J. Mining Geostatistics. New York, Academic Press, 1978. 600p.

KITANIDIS, P.K. 1997. Introduction to Geostatistics Applications in Hydrogeology. Cambridge University Press, 249 p.

LAGES, G.A.; MARINHO, M.S. Programa Geologia do Brasil - PGB. Boqueirão, Folha SB.24-Z-D-I2. Estado da Paraíba, Mapa Geológico, Recife, 2012, 1 mapa, colorido, 94,03 x 70,32 cm, Escala 1:100.000.

LANDIM, P.M.B. Análise estatística de dados geológicos. São Paulo: Fundação Editora da UNESP, 1998. 226p.

LANDIM, P.M.B. Sobre Geoestatística e mapas. Terræ Didatica, 2(1): 19-33, 2006.

LIMA, E.A. de; NASCIMENTO, D.A. do; BRANDÃO, L.C.R.; GUILERA, S.C.; ALVES, W.S. Mapa de hidroquímica dos mananciais subterrâneos do estado da Paraíba. In: XV Encontro Nacional dos Perfuradores de Poços e I Simpósio de Hidrogeologia do Sul-Sudeste, Anais, 2007, Gramado-RS, 7p.

MANZIONE, R.; WENLAND, E.; TANIKAWA, D. Simulação estocástica de modelos de séries temporais combinados com geoestatística para prever cenários de níveis freáticos numa área de afloramento do sistema de aquífero do Guarani, Brasil. Hidrogeology Journal, 2012, Vol. 20(7), p. 1239-49.

MATA LIMA, H. Geostatistic in reservoir characterization: from estimation to simulation methods. Rev. Estudios Geol., Madrid (ES), 2005, 61: 135-145.

NANNI, A.; ROISENBERG, A.; FACHEL, J.M.G.; MESQUITA, G.; DANIELI, C. Fluoride characterization by principal component analysis in the hidrochemical facies of Serra Geral aquifer system in Southern Brazil. Anais da Academia Brasileira de Ciências. Rio de Janeiro, 2008, 80(4): 693-701.

ODA, G.H.; TAKEUCHI, D.M.; EZAKI, S.; IRITAMI, M.A.; VARNIER, C. et al. Geometria do aquífero Tubarão entre os municípios de Indaiatuba e Capivari (SP). Rev. Inst. Geol., São Paulo, Vol. 33, N.º 1, 2012, p. 23-40.

OLIVEIRA, E.S. de. Análise geoestatística voltada para o planejamento dos poços artesianos de Campina Grande-PB. Guarabira/PB. 2019. 65 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia). Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Humanidades. "Orientação: Prof. Dr. Lanusse Salim Rocha Tuma, Coordenação do Curso de Geografia – CH.

PARAÍBA. AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos e da Ciência e Tecnologia. Relatório Anual da Situação dos Recursos Hídricos no Estado da Paraíba. Ano Hidrológico 2008-2009. João Pessoa. 2009. 95p.

POVOA, L.V.; MANZIONE, R.L.; WENDLAND, E.C. Rotinas para análises geoestatísticas utilizando a linguagem R: um exemplo com dados agro-ambientais. In: II Simpósio de Geoestatística aplicada em Ciências Agrárias – SGeA, Anais, 2011, Botucatu-SP, 6p. Disponível em:<https://www.fca.unesp.br/Home/Instituicao/Departamentos/CienciadoSolo/gepag/44.rotinas-para-analises-geoestatisticas-utilizando-a-linguagem-r-um-exemplo-com-dados-agro-ambientais.pdf>. Acesso em: jun./2018.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. Disponível em:<http://www.r-project.org>. Acesso em: 01 ago. de 2018.

RODRIGUES e SILVA et al. Zoneamento Agroecológico do Nordeste do Brasil: diagnóstico e prognóstico. Recife: Embrapa Solos - Petrolina: Semiárido, 2000. Disponível em 1 CD.

RODRIGUES, S.W. de O. Evolução Estrutural Brasiliana da Província Borborema na Região de Campina Grande (PB). São Paulo, 2008, 178p. Mapas e ilustrado. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

RODRIGUES, S.W.O., MEDEIROS, V.C., BRITO NEVES, B.B., MARINHO, M. S., OLIVEIRA, R.G. Programa Geologia do Brasil - PGB. Campina Grande. Folha SB.25-Y-C-1. Estados da Paraíba e

Pernambuco. Carta Geológica. Recife: CPRM, 2011a, 1 mapa, colorido, 90,86 x 72,14cm. Escala 1:100.000.

RODRIGUES, S.W.O.; MEDEIROS, V.C.; MARINHO, M.S.; OLIVEIRA, R.G. 2011b. Geologia e Recursos Minerais da Folha Campina Grande (SB.25-Y-C-I). Programa Geologia do Brasil, Brasília: CPRM/SBG, 101p.

ROSA, L.M.F.; SANTOS, G.R. dos; SANTOS, A.M.R.T.; MEDEIROS, N. das G.; KALEITA, A. Krigagem: estudo comparativo entre duas versões do ARCGIS e o R. In: IV Simpósio de Geoestatística aplicada em Ciências Agrárias – SGeA, Anais, 2015, Botucatu-SP, 5p. Disponível em: <http://www.fca.unesp.br/#!/instituicao/departamentos/solos-recursos-ambientais/sra/grupos-de-estudos/gepag/anais-sgea/sgea-2015/>. Acesso em: 24/7/2018.

SANTOS, E.J., FERREIRA, C.A., SILVA JUNIOR, J.M.F. 2002. Geologia e recursos minerais do Estado da Paraíba: Texto explicativo do Mapa Geológico da Paraíba e Recursos Minerais. Recife: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 142p. 2 mapas. Escala 1:500.00.

SANTOS, L.C.M.L; MOURA, E.N. Seção Geológica Campina Grande – Tambaba (PB): Guia de Excursão de Campo para disciplinas básicas de Geologia no Nordeste do Brasil. Ambiente Mineral – Revista Brasileira de Mineração e Meio Ambiente. Vol. 5, Nº. 2, 2015. 20p.

SILVA, R.M.A. da. Entre dois paradigmas: combate à seca e convivência com o semiárido. In: Sociedade e Estado. Vol.18. n.1-2. Brasília, Jan./Dec. 2003. Disponível em <https://doi.org/10.1590/S0102-69922003000100017>. Acesso em: set. de 2020.

SOUZA JÚNIOR, O.A. de; NITZSCHIA, R.R.D.; OLIVEIRA, R.G. de; GALVÃO, M.J. de T.G.; LAGES, G. de A. Levantamentos eletromagnéticos para água subterrânea em Campina Grande, Paraíba, Brasil. In: VII Simpósio Brasileiro de Geofísica (SimBGF). Ouro Preto (MG), 25 a 27 de outubro de 2016. 6p.

TUMA, L.S.R. Comportamento geoestatístico de ouro em solos e sedimentos de corrente associados às mineralizações auríferas da região de Princesa Isabel-PB. Campina Grande/PB, 1999, 132p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas) – Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba.

TUMA, L.S.R. Mapeamento geotécnico da grande João Pessoa-PB. São Paulo: 2004, 195p. 2v. 13 mapas. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo.

TUMA, L.S.R.; OLIVEIRA, E.S. de. Estudos hidrogeológico e geoestatístico dos poços artesianos de Campina Grande. In: Encontro de Iniciação Científica (26: 2019: Campina Grande, PB). Anais do XXVI ENIC da UEPB, outubro de 2019. SILVA, M.J.L. da. et al. (Org.). Campina Grande/PB: UEPB, 2020. p.127.

VASCONCELOS, S.M.S.; SOUSA, A.J.G. A abordagem geoestatística em estudos hidrogeológicos: um exemplo de aplicação. Revista de Geologia da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Vol. 22, Nº. 1, 2009, p. 61-74.

WOLFF, W. Regionalização hidrogeológica do estado de Santa Catarina: uma abordagem sazonal e Geoestatística baseada em modelos. Piracicaba, 2017. 79p. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo/Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. Geoestatística: conceitos e aplicações. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 215p.