



Alerta: Os artigos publicados nesta seção não são avaliados por pares e não são indexados. A intenção da seção ECNT é prover um espaço para divulgação de dados e estudos de interesse local, sem caráter científico. Sendo assim, a Revista Águas Subterrâneas não se responsabiliza pelo conteúdo publicado.

Disclaimer: Articles published in this section are not peer-reviewed and are not indexed. The intention of the ECNT section is to provide a space for the dissemination of data and studies of local interest, with no scientific character. Therefore, Revista Águas Subterrâneas is not responsible for this content.

Dinâmica hidrogeológica dos aquíferos costeiros da Cidade de Quelimane, Moçambique

Hydrogeological dynamics of the coastal aquifers of the City of Quelimane, Mozambique

Suaraia Abdul Palé¹, Manuel Pedro Tomo Simbe¹, c,d Lucas Lavo A. J. Miguel^{2,3}

¹Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras, Universidade Eduardo Mondlane, Quelimane, Mozambique

²Universidade Joaquim Chissano, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Zimpeto, Maputo, Mozambique

³Universidade Católica de Moçambique, Extensão de Maputo, Av. Romão Fernandes Farinha, n.º. 1499, CP 1104, Alto Maé (Antigo Lar da Munhuana), Maputo, Mozambique

✉ autor1@gmail.com, autor2@gmail.com, autor3@gmail.com

Resumo

Palavras-chave:

Aquíferos costeiros.
Nível estático.
Superfície potenciométrica.

Keywords

Coastal Aquifers.
Static level.
Potentiometric surface.

A dinâmica hidrogeológica dos aquíferos costeiros da Cidade de Quelimane é estudada através de dados históricos provenientes de furos fornecidos pela Direcção Nacional de Águas (DNA). As variáveis hidrogeológicas dos furos foram analisadas e processadas no programa Surf-11, planilha de Excel, e auxiliadas com as técnicas de geoprocessamento em ArcGIS na representação de mapas cartográficos adaptados das cartas explicativas da Direcção Nacional de Geologia de Moçambique. A profundidade média de furos de ~12,27m mostrou uma variação do nível estático entre 1.8m.-sup e 4.0 m.-sup, com vazões de bombeamento variando de 0 a 2.36 m³/h, e o nível dinâmico varia de 0 a 9.0m.-sup. O nível estático mostrou-se menos profundo, inferindo-se mais susceptíveis à contaminação hídrica. A superfície potenciométrica sugeriu uma dinâmica do fluxo subterrâneo, cujo escoamento é predominantemente da direcção Noroeste e também para o Sudeste. Estas informações hidrogeológicas auxiliarão na análise pioneira dos aquíferos localizados nas zonas costeiras susceptíveis efeitos cíclicos das marés, inundações urbanas e ciclones tropicais.

Abstract

The hydrogeological dynamics of coastal aquifers of the City of Quelimane is studied through historical data from cores provided by the National Water Directorate (DNA). The hydrogeological variables were analyzed and processed in the Surf-11 program, Excel spreadsheet, and analyzed with geoprocessing techniques in ArcGIS in cartographic maps adapted from the explanatory Charts of the National Geology Department of Mozambique. At an average depth of ~12.27m, the cores showed a variation of the static level between 1.8m-sup and 4.0m-sup, with pumping rates ranging from 0 to 2.36 m³/h, and the dynamic level ranging from 0 to 9.0 m.-sup. The static level appears shallower, inferring that it is more susceptible to water contamination. The potentiometric surface suggested a dynamic of subterranean flow, whose sediment is predominantly in the Northwest and also in the Southeast direction. This hydrogeological information will help in the pioneering analysis of aquifers located in coastal areas susceptible to cyclical effects of tides, urban floods and tropical cyclones.

DOI: <http://doi.org/10.14295/ras.v37i3.30230>

1. INTRODUÇÃO

Aquífero é um estrato ou formação geológica capaz de armazenar e transmitir água em seus poros, e pode ocorrer com baixa ou alta concentração de sais dissolvidos das rochas (SILVA, 2009; DINIZ, 2014). Geralmente, a água dos aquíferos escoar de forma muito lenta quando comparada aos fluxos dos ambientes superficial e atmosférico. Alguns estudos (SILVA, 2009; DINIZ, 2014; NOGUEIRA *et al.*, 2019; HYDROCONSEIL e WE CONSULT, 2011), têm se concentrado na compreensão da dinâmica hidrogeológica dos aquíferos. Estes trabalhos são consensuais que, as águas subterrâneas são encontradas nos aquíferos costeiros ou continentais como fontes hídricas importantes para a formação de nascentes de rios ou construção de poços.

Um dos grandes desafios durante a pesquisa dos recursos hídricos é identificar as formações geológicas com capacidade de acumulação de águas subterrâneas, para compreender a hidrogeologia numa determinada zona. A pesquisa dos recursos hídricos nas zonas costeiras ou continentais tem sido desafiador identificar aquíferos sujeitos as dinâmicas hidrogeológicas e condições oceânicas complexas. Tentativas e esforços de estudos científicos realizados pela Direção Nacional de Águas (DNA) são notórios, porém há evidências da ausência de estudos sobre a caracterização hidrogeológica dos lençóis freáticos da cidade de Quelimane. Esta ausência de estudos, contribui para o desconhecimento do comportamento das variáveis hídricas e os problemas que podem causar na sociedade. A proposta de soluções de problemas hídricos requer estudos detalhados e aprofundados de várias áreas de conhecimento incluindo a hidrogeológica, objecto deste estudo. Desta abordagem motivadora, entende-se que os resultados deste trabalho, para além de apresentar possíveis alternativas de solução, também irão aumentar o reportório do conhecimento científico sobre a hidrogeologia da água subterrânea através da interpretação de dados de furos localizados nas zonas costeiras.

Geralmente, os parâmetros hidrogeológicos das águas subterrâneas podem ser caracterizados por variáveis potenciométricos incluindo os níveis estáticos, dinâmicos e superfície potenciométrica. Estas variáveis são importantes em estudos hidrogeológicos aprofundados, porém no contexto da Cidade de Quelimane, parece serem apresentados de forma especulativa pelo desconhecimento e falta de estudos específicos do tema. Apesar desta ausência, estudo realizado por SCHOLTEN (1987), mostrou a possibilidade da existência de águas subterrâneas na área de estudo no material sedimentar analisado, de espessura de até metros, de areia fina de origem litorânea. Adicionalmente, MICOA (2012) refere que, em termos de hidrogeologia, as formações aquíferas da área de estudo são relativamente diversificadas em termos de potencial da produtividade dos aquíferos. Trabalhos realizados pelo MICOA (2012) e SCHOLTEN (1987), mostraram que ainda há falta de conhecimento hidrogeológico da Cidade de Quelimane e dos Distritos circunvizinhos, o que cria limitações em responder a seguinte pergunta de pesquisa: Qual é o potencial de saturação e possível distribuição das águas subterrâneas na Cidade de Quelimane?

A caracterização hidrogeológica sobre produtividade dos aquíferos na área de estudo contribuirá razoavelmente na identificação e avaliação do potencial de armazenamento ou acumulação de águas subterrâneas. Os resultados desta avaliação trarão uma visão ampla do sistema hidrogeológico da área de estudo e apoiarão para a gestão consciente ou sustentável de recursos hídricos da cidade de Quelimane.

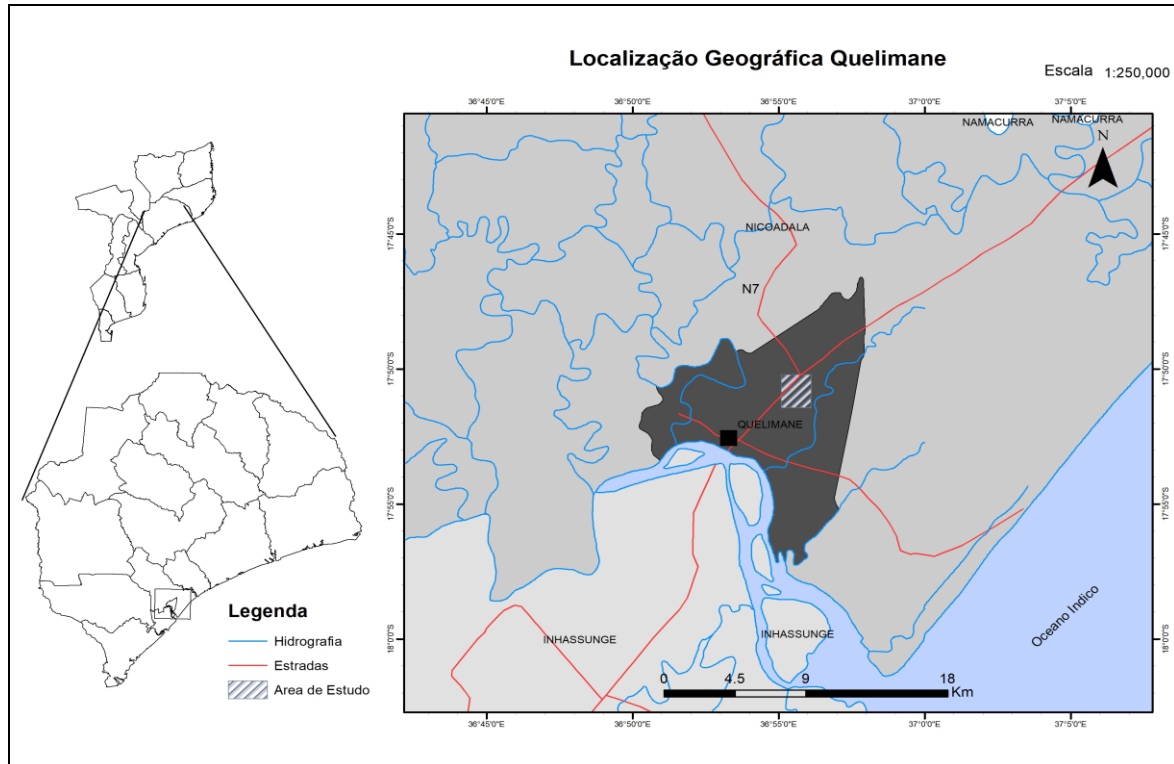
Neste estudo pretende-se alcançar as seguintes metas: a) Descrever as características hidrogeológicas dos bairros dos bairros de Coalane II, Sangarivera, Murropue e Sampene; b) Avaliar a correlação dos níveis estático e dinâmico dos furos em estudo; c) Estimar as potencialidades hidrogeológicas de armazenamento de águas subterrâneas dos bairros de Coalane II, Murropue, Sangarivera, Murropue e Sampene. d) Apresentar a dinâmica hidrogeológica das características potenciométricas dos bairros de Coalane II, Murropue, Sangarivera e Sampene.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

A área de estudo ocupa uma superfície de 4.12 Km², e localiza-se no Norte da Bacia Sedimentar de Moçambique. Localiza-se na Cidade de Quelimane, no Sudeste da Província da Zambézia, entre os paralelos 17° 47' - 17° 57' Sul e 36° 50' - 36° 57' Este (Figura 4). Está limitada pelo distrito de Nicoadala a Norte, Sul e Este. Na zona Oeste limita-se, na maior parte, pelo distrito de Inhassunge e uma parte pelo Distrito de Nicoadala (Figura 1). A área seleccionada para a realização dos ensaios nos quatro bairros de Coalane II, Sangarivera, Murropue e Sampene, ocupa uma superfície de 4.12 Km², dos 117 km² da área do Município.

Figura 1 – Localização geográfica da área de estudo e sua divisão administrativa e hidrográfica



Geologia do local de estudo

A área de estudo enquadra-se na cobertura fanerozoica e encontram-se somente formações quaternárias, nomeadamente aluviões ribeirinhas e formações litorâneas (barreiras costeiras). A origem do material aluvial são as rochas gnaissicas e granitoides do pré-câmbrio do interland. O material sedimentar consiste numa camada de espessura de até metros, de argila pesada, situada em cima de areia fina de origem litorânea. As formações litorâneas são caracterizadas por barras costeiras que consiste em areia fina. O mineral característico é ilmenite que se encontra normalmente em profundidade e também em praia actual. A distribuição dos solos segue a distribuição das unidades fisiográficas em sistema de barras costeiras e baixas, mangais e planície. O sistema de barras é arenoso, excessivamente bem drenados com excepção das partes baixas que tem o lençol freático perto da superfície. O solo das baixas tem uma camada argilosa na superfície, como é o caso, das baixas perto da planície argilosa, ao lado do rio Mucelo. Nos mangais encontram-se solos argilosos, fortemente salgados e inundados durante as marés altas. Os solos da planície de inundação consistem em argila pesada com propriedades de dilatação e contracção, e são mal drenados. Durante a estação das chuvas, grandes partes da planície ficam inundados (SCHOLTEN, 1987).

Condições Climáticas

Segundo MICOA (2012), a precipitação média anual em Quelimane é de cerca de 1350 mm havendo, contudo, uma variação inter anual significativa. A temperatura média anual é de cerca de 27°C, ocorrendo uma semi-amplitude térmica anual relativa, inferior a cerca de 4 °C. Novembro é o mês mais quente (30.7°C). Relativamente aos ventos, predominam ventos de Sul e Sudeste. Segundo SCHOLTEN (1987), A área de estudo apresentada na Figura 4, é constituída por diferentes unidades, sendo, (1) sistema de barras costeiras baixas com florestas medianas, fechadas, sempre verdes, de fâcies húmido e matagais também sempre verdes, (2) nas zonas baixas aparecem vegetação aquática e de áreas influenciadas pelas águas dos rios.

Condições hidrográficas e hidrogeologia

Os principais rios que drenam a área de estudo são, Licuari, Mucelo, Namacurra e rio dos Bons Sinais. A planície, próximo ao rio Mucelo, apresenta-se fortemente dissecada por pequenos riachos, alguns deles com água ao longo de todo ano. Durante a estação seca, o lençol freático aparece geralmente a profundidade entre 1 m a 1.5 m, havendo evidências do mesmo subir a profundidade muito reduzidas na época das chuvas, isto é, os rios que atravessam

sam o distrito apresentam regime sazonal, ou seja, têm água corrente durante a estação das chuvas, com excepção do Licuari. Nas zonas mais próximas ao litoral, é constituída pelo sistema de barras costeiras e baixas, muitas delas com água durante todo o ano, que corre em leitos não muito bem definidos (SCHOLTEN, 1987; MICOA, 2012). Segundo MICOA (2012), em termos de hidrogeologia, as formações aquíferas do Distrito de Nicoadala (zona próxima a área de estudo) são relativamente diversificadas em termos da produtividade dos aquíferos. Na zona litoral, os aquíferos são de produtividade limitada (aquíferos do tipo C1) constituídos a partir de depósitos de materiais finos (argilas incluindo, por vezes, areias, ou de areias médias a muito finas argilosas de origem eólica e/ou marinha). O problema principal diz respeito à salinidade dos aquíferos ou ao alto risco de intrusão de água do mar que pode ocorrer em resultado de sobre exploração dos furos. Na zona central do distrito, nas proximidades do Rio Licuari ocorrem aquíferos do tipo A2 de argilas com inter-estratificações arenosas, aluvial. Na zona interior, logo a seguir, os aquíferos são do tipo C1 de areias finas mais ou menos soltas e argilosas e mais a Norte de eluviões relacionados com a zona de alteração e/ou fracturação de rochas. A produtividade dos aquíferos está descrita na Tabela 2, onde é referida a capacidade de abastecimento de água. No Distrito de Nicoadala (zona próxima a área de estudo) e para os aquíferos que ocorrem no litoral, dos tipos C1, as águas subterrâneas são capazes de satisfazer extracções de pequena escala, com caudais esperados entre 3 e 5 m³ /h, suficientes para pequenas aldeias e pequenas manadas de gado bovino. A mesma produtividade ocorre nos aquíferos do norte do distrito. Na zona central ocorrem aquíferos produtivos do tipo A2 (na Sede) cujas águas subterrâneas são capazes de satisfazer extracções de média e grande escala.

Principais procedimentos

A metodologia do trabalho consistiu na utilização de uma série de informações, entre estas, mapas geológico-morfológicos, informações climático-oceanográficas, complementados por monitoramento e consultas a teses de doutoramento, dissertações de mestrado, monografias, Notícias Explicativas, manuais de hidrogeologia, projectos científicos de extensão de rede de abastecimento de água de Quelimane, entre outros periódicos nacionais e internacionais. Os dados principais deste trabalho foram obtidos através de ensaios de campo realizado nos bairros de Coalane II, Sangarivera, Murropue e Sampene. O trabalho de campo foi realizado pela Direcção Nacional de Águas (DNA), que incluiu nove (09) furos seleccionados de forma intencional nos bairros indicados conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Localização dos furos da área de estudo

Designação do furo	Longitude (Leste)	Latitude (Sul)	Bairro pertencente
F1	36°55'33"	17°50'31"	Sampene
F2	36°55'31"	17°50'27"	Sampene
F3	36°55'42"	17°50'25"	Sampene
F4	36°55'07"	17°51'13"	Coalane II
F5	36°55'25"	17°51'21"	Coalane II
F6	36°55'26"	17°51'03"	Coalane II
F7	36°55'20"	17°50'40"	Sampene
F8	36°55'44"	17°51'04"	Sangarivera
F9	36°56'01"	17°50'37"	Murropue

A selecção dos bairros deveu-se, de forma genérica, ao seu potencial geomorfológico e suas características hidrogeológicas apresentadas. Os furos F1, F2, F3 e F7 pertencem ao bairro Sampene, Os furos F4, F5 e F6 pertencem ao bairro Coalane II. O furo F8 pertence ao bairro Sangarivera e o furo F9 pertence ao bairro Murropue. Os furos foram projectados por forma a obter uma possível correlação do fluxo superficial hortoniano, fluxo Superficial por Saturação, fluxo Subsuperficial, fluxo de Base e que apoiasse análise de hidrograma, da descrição dos parâmetros hidrogeológicos incluindo o coeficiente de armazenamento, a condutividade Hidráulica ou Permeabilidade, e a transmissividade.

Foi feita uma combinação triangulada ou conjugada destes parâmetros para cada furo dos bairros de Coalane II, Sangarivera e Sampene em secções hidrogeológicas numa variação espacial dos nove (9) furos em cinco perfis A-A', B-B', C-C', D-D' e E-E' e posteriormente foram apresentados em mapas cartográficos. Os mapas cartográficos foram adaptados das cartas explicativas da Direcção Nacional de geologia na escala de 1: 25000. As cartas explicativas foram georreferenciadas no ambiente de ArcMap, programa de ArcGIS, versão 10.2.2., projecção geográfica WGS1984 (UTM - Zona Sul -36°). O processo de geoprocessamento aplicou o método de pontos de controlo que incluiu mais o emparelhamento de mais 10 coordenadas geográficas. Esta técnica permitiu a redução do erro estatístico de espaçamento inferior a 7 m no mapa base da Zambézia. O georreferenciamento realizado permitiu o lançamento e fixação das coordenadas dos 09 furos no mapa cartográfico e sua posterior análise. No ambiente de de ArcMap combinado

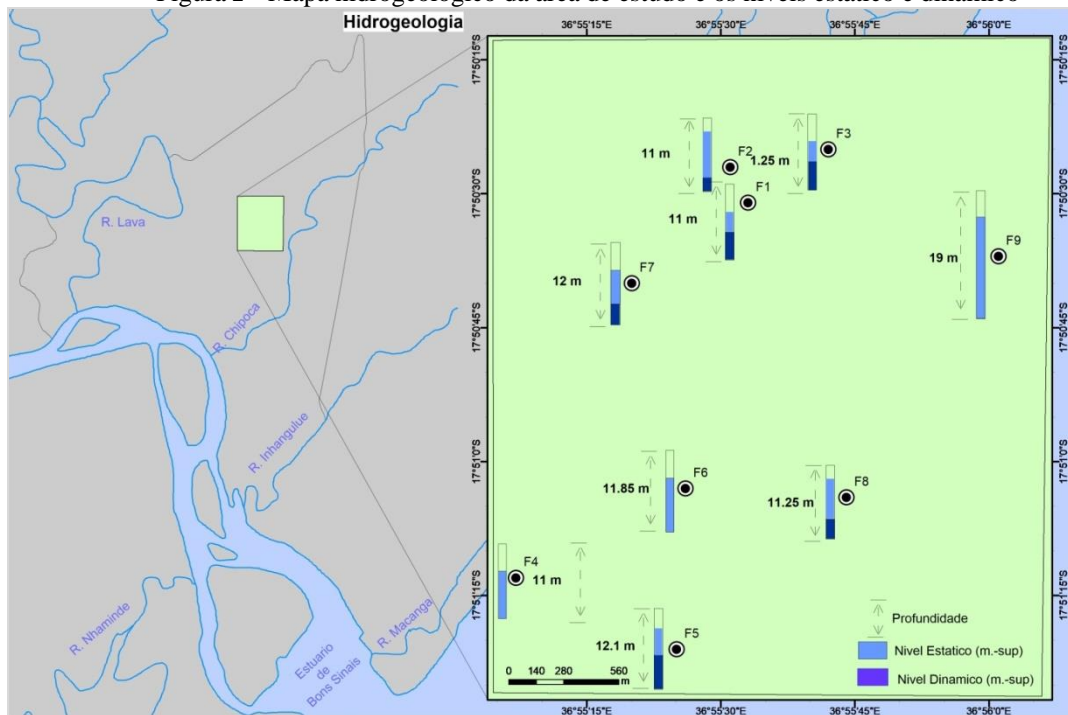
com o Microsoft Excel 10 e Surfer 11 foi possível descrever de forma detalhada a hidrogeologia dos furos incluindo os parâmetros hidrogeológicos, o nível estático, superfície potenciométrica e a profundidade dos furos. Adicionalmente, a análise dos parâmetros obtidos dos furos permitiu a elaboração de secções estratigráficas com recurso ao Microsoft Excel 10 e Surfer 11.

4. RESULTADOS

Hidrogeologia

Os furos não revestidos apresentam uma profundidade mínima de 11m e máxima de 19m. Os dados obtidos nesses furos são: nível estático, vazão, nível dinâmico e caudal específico. A Figura 2 apresenta o mapa hidrogeológico dos quatro bairros de Coalane II, de Sangarivera, Murropue e Sampene com os nove (09) furo não revestidos. Os furos F1, F2, F3 e F7 pertencem ao bairro Sampene, Os furos F4, F5 e P6 pertencem ao bairro Coalane II. O furo F8 pertence ao bairro Sangarivera e o furo P9 pertence ao bairro Murropue. Observa-se que os furos mapeados apresentam uma profundidade variando entre 11m e 19m. É neste intervalo de profundidade dos furos que são descritas as variáveis relacionadas com o nível estático, vazão, nível dinâmico e caudal específico. Os dados indicaram que o nível estático varia de 1.8 a 4.0 m.-sup, enquanto as vazões bombeadas desses furos, variam de 0 a 2.36 m³/h e o nível dinâmico varia de 0 a 9m.-sup.

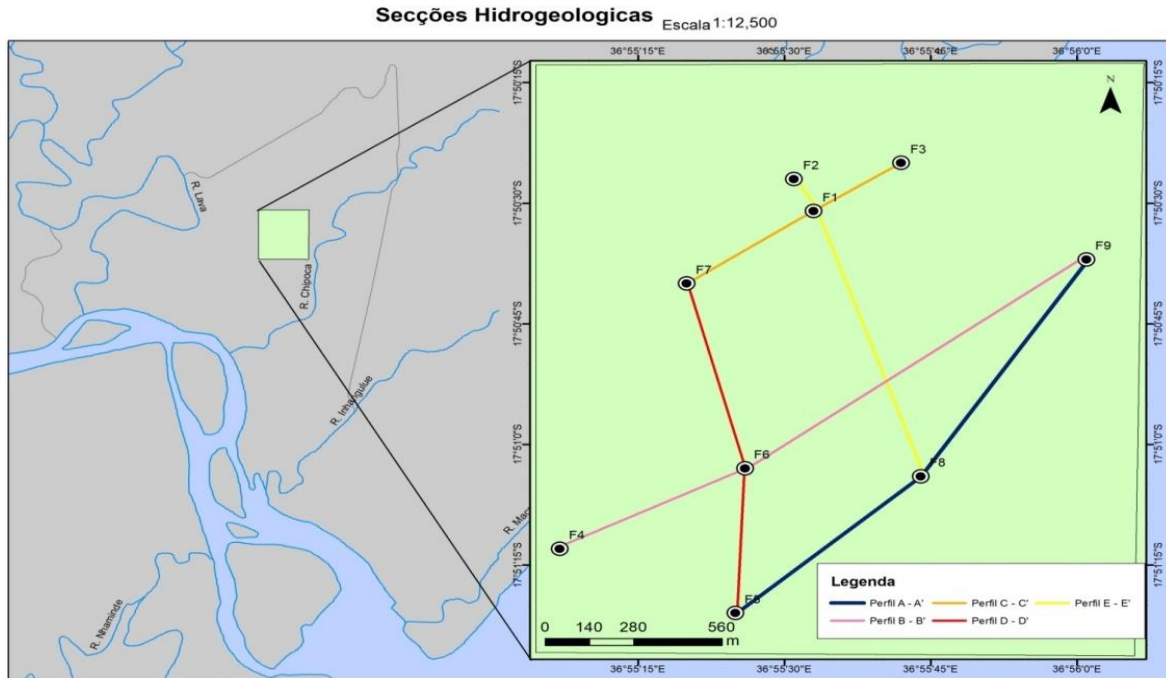
Figura 2 - Mapa hidrogeológico da área de estudo e os níveis estático e dinâmico



Secção Hidrogeológica

As secções hidrogeológicas a serem apresentadas é resultado da variação espacial dos nove (9) furos, como mostra a Figura 3.

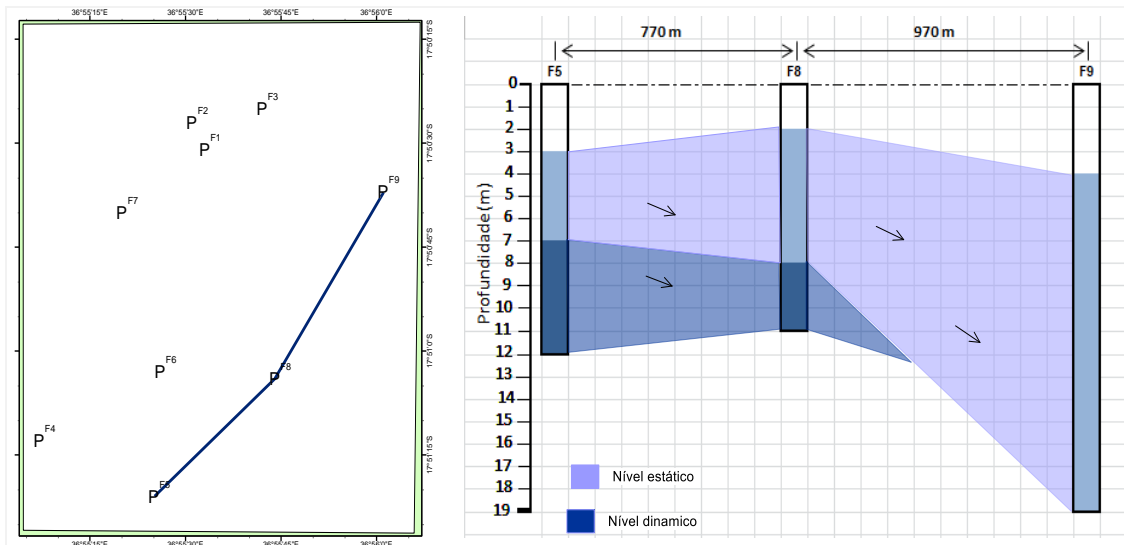
Figura 3 - Seções Hidrogeológicas A-A', B-B', C-C', D-D' e E-E'.



Perfil A - A'

Este segmento (Figura 4) está representado pelos furos F5, F8 e F9, pertencentes aos bairros Coalane II, Sangarivera e Murropue respectivamente. A distância de separação entre F5 e F8 é de 770m, e entre F8 e F9 é de 970m. Em termos de profundidade, os furos têm 12.1m, 11.25m e 19.0m respectivamente. Observa-se que na trajetória do furo F5 para F9 há redução do nível dinâmico e aumento do nível estático.

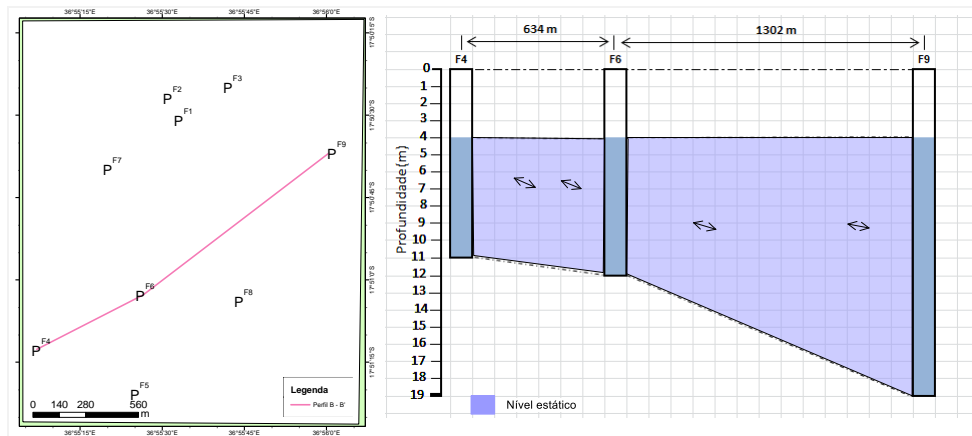
Figura 4 - Seção do perfil A - A'



Perfil B - B'

Este segmento (Figura 5) está representado pelos furos F4, F6 do bairro Coalane II e F9 de Murropue. A distância de separação entre F4 e F6 é de 634m, e entre F6 e F9 é de 1302m. Em termos de profundidade, os furos apresentam 11.0m, 11.85m e 19.0m respectivamente. Neste segmento, apenas existe nível estático.

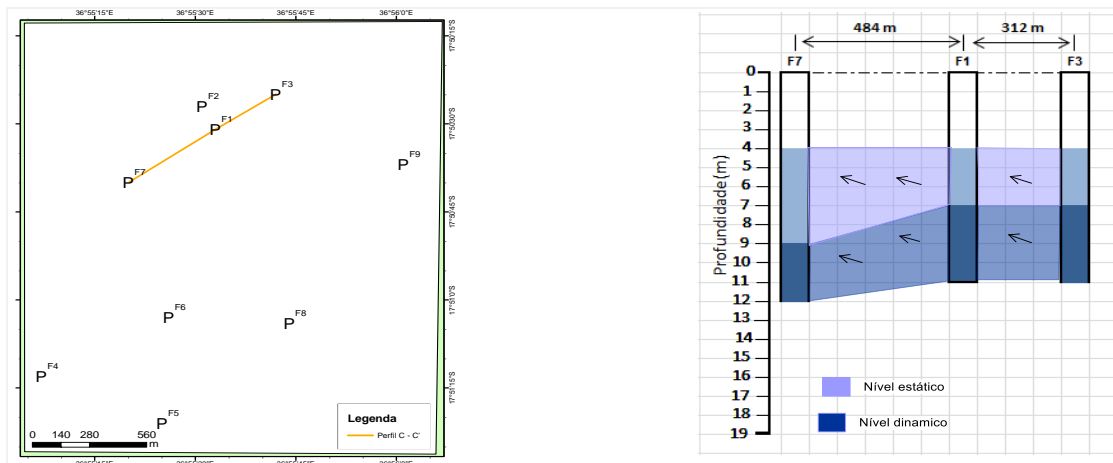
Figura 5 - Secção do perfil B - B'.



Perfil C - C'

Este segmento (Figura 6) está representado pelos furos F7, F1 e F3 que pertencem ao bairro Sampene. A distância de separação entre F7 e F1 é de 484m, e entre F1 e F3 é de 312m. Em termos de profundidade os furos têm 12.0m, 11.0m e 11.25m respectivamente. Do furo F7 para F3 há aumento do nível dinâmico e redução do nível estático.

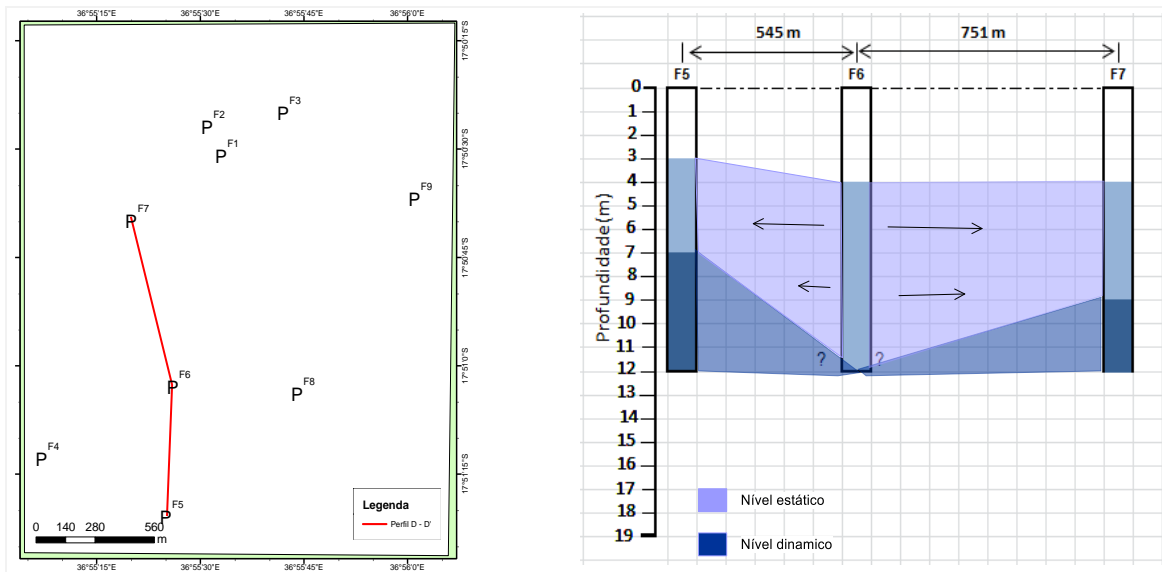
Figura 6 - Secção do perfil C - C'.



Perfil D - D'

Este segmento (Figura 7) está representado pelos furos F5, F6 pertencentes bairro Coalane II e F7 pertence ao bairro Sampene. A distância de separação entre F5 e F7 é de 545m, e entre F6 e F7 é de 751m. Em termos de profundidade o furo tem 12.1m, 11.85m e 12.0m respectivamente. Do furo F5 para F7 o nível dinâmico esta presente nas laterais e o nível estático aumenta para o centro.

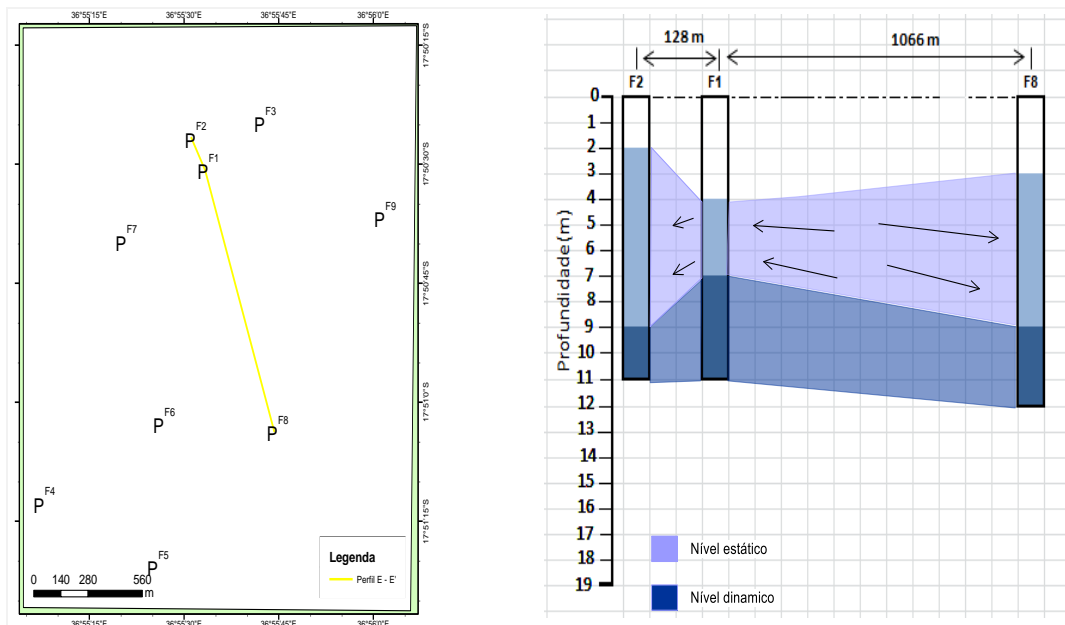
Figura 7 - Secção do perfil D - D'.



Perfil E - E'

Este segmento (Figura 8), está representado pelos furos F2, F1 que fazem cobertura do bairro Sampene e F8 bairro Sangarivera. A distância de separação entre F2 e F1 é de 128m, e entre F1 e F8 é de 1066m. Em termos de profundidade, os furos têm 11.0m, 11.0m e 11.25m respectivamente. Do furo F2 para F8 o nível dinâmico aumenta para centro e o nível estático diminui para o centro.

Figura 8 - Secção do perfil E - E'



Análise dos parâmetros hidrogeológicos

Na Tabela 2 constam da relação dos 9 furos estudados e seus parâmetros hidrogeológicos.

Tabela 2 - Parâmetros hidrogeológicos dos furos dos bairros estudados (DNA)

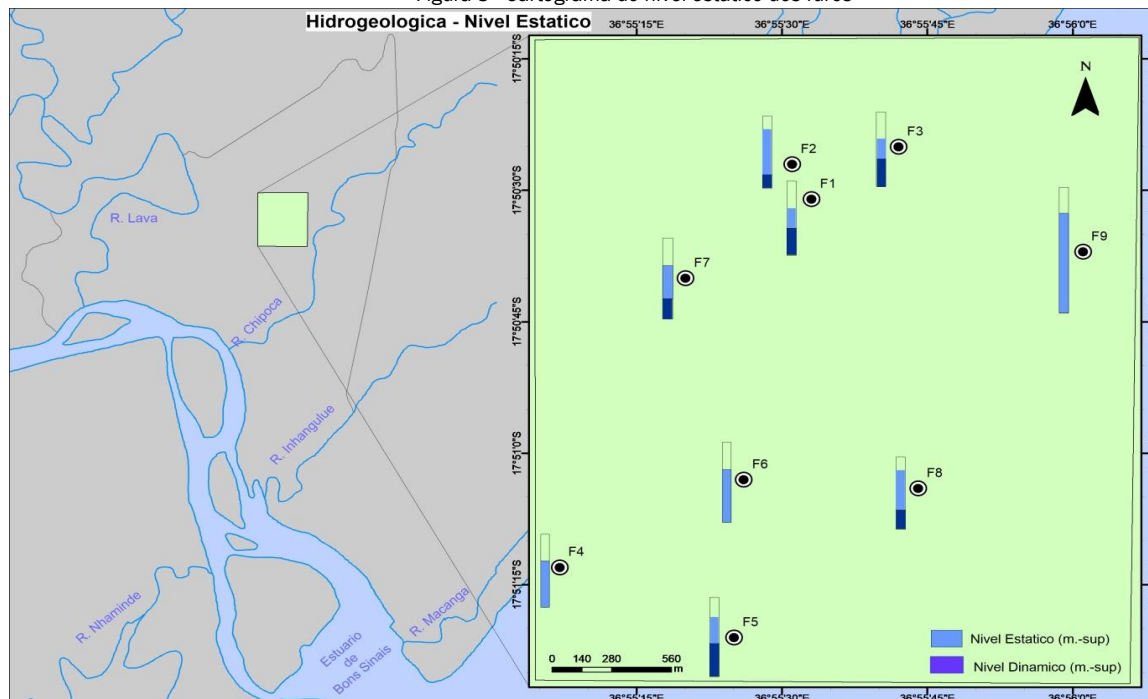
Furo	Profundidade do furo (m)	Nível estático (m.-sup)	Caudal (m ³ /h)	Nível dinâmico (m.-sup.)
F1	11	3.9	1	7
F2	11	1.8	2.36	9
F3	11.25	2.8	1.32	6.5
F4	11	4	0	0
F5	12.1	3.4	1.35	7.5
F6	11.85	3.5	0	0
F7	12	3	1.5	8.5
F8	11.25	2.4	1.55	8.75
F9	19	4	0	0

Conforme Tabela 2, a profundidade de sondagem máxima foi de 19 m do furo F9 pertencente ao bairro Murropue, enquanto a profundidade mínima foi registada nos furos F1, F2 e F4 com cerca de 11m. A profundidade média foi estimada em cerca de 12,27m, e uma variância estimada em 5.83 e um desvio padrão de 2.42. As apreciações dos níveis estáticos indicaram uma variação entre 1.8 e 4.0 m.-sup, com o menor nível registado no furo F2 e o maior nível estático registado nos furos F4 e F9. A média dos níveis estático é de 3.2 m.-sup com um desvio padrão de 0.72. O caudal nos nove furos variou entre 0 e 2.36 m³/h e apresenta uma média de 1.00, um desvio padrão de 0.79. O nível dinâmico variou entre 0 e 8.75 m.-sup, com uma média de 5.25 e um desvio padrão estimado em 3.79.

Nível Estático

O nível estático, na área de estudo, variou entre 1.8m.-sup a 4.0m.-sup. (Figura 9). Segundo Vogel (2007), as áreas com maior nível estático são consideradas menos vulneráveis à contaminação, ao contrário das áreas com menor nível estático. Analisando-se a área em estudo percebe-se que a região mais vulnerável, levando-se em conta o nível estático, é o segmento central do sector sudoeste - noroeste. Esta região abrange os furos F4, F6 e F9, que são as que obtiveram maior nível estático, sendo esta menos vulnerável a contaminação da superfície, com base somente neste parâmetro.

Figura 8 - Cartograma do nível estático dos furos

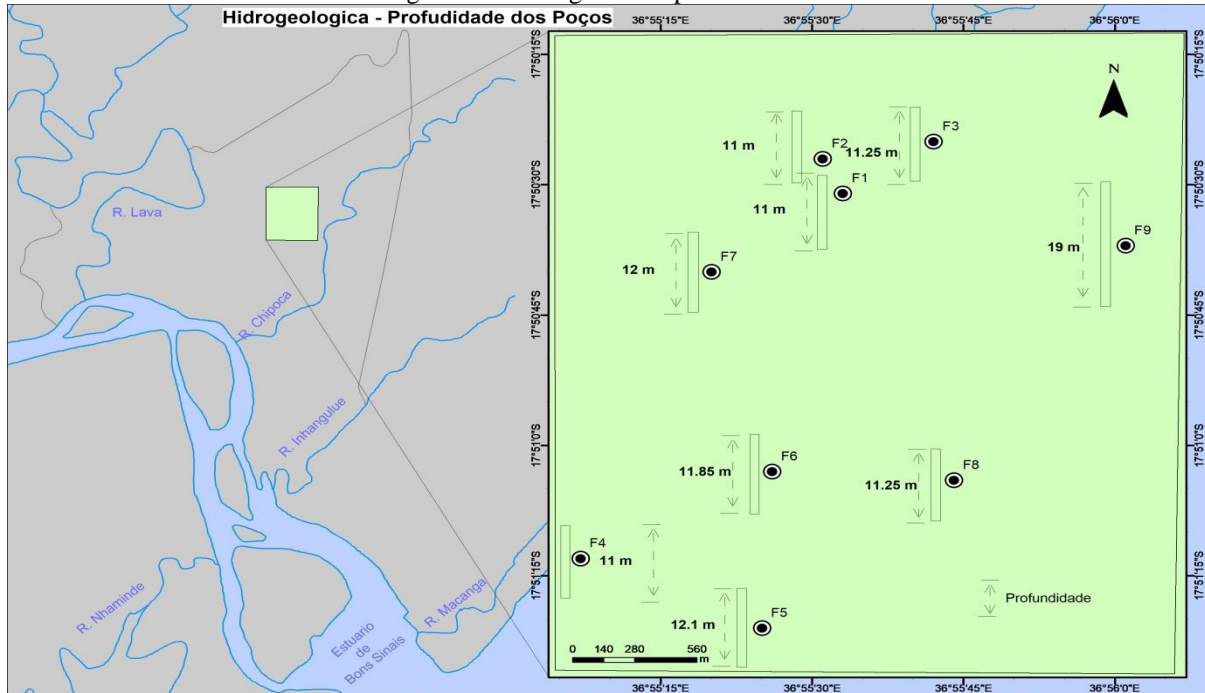


Profundidade dos furos

Dos 9 furos estudados, os dados de profundidade variam entre 11 a 19 m (Figura 10). Analisando-se o mapa de espacialização da profundidade dos furos, observa-se que o furo mais profundo está no sector Nordeste da área de estudo, onde se localizam o furo F9 com profundidade média de 12.27 metros. Os furos com profundidades menores

estão localizados dois (2) no sector Norte, onde se localizam o furo F1 e F2, e um no sector Sudoeste onde se localiza o furo F4, todos com profundidade média de 11 metros.

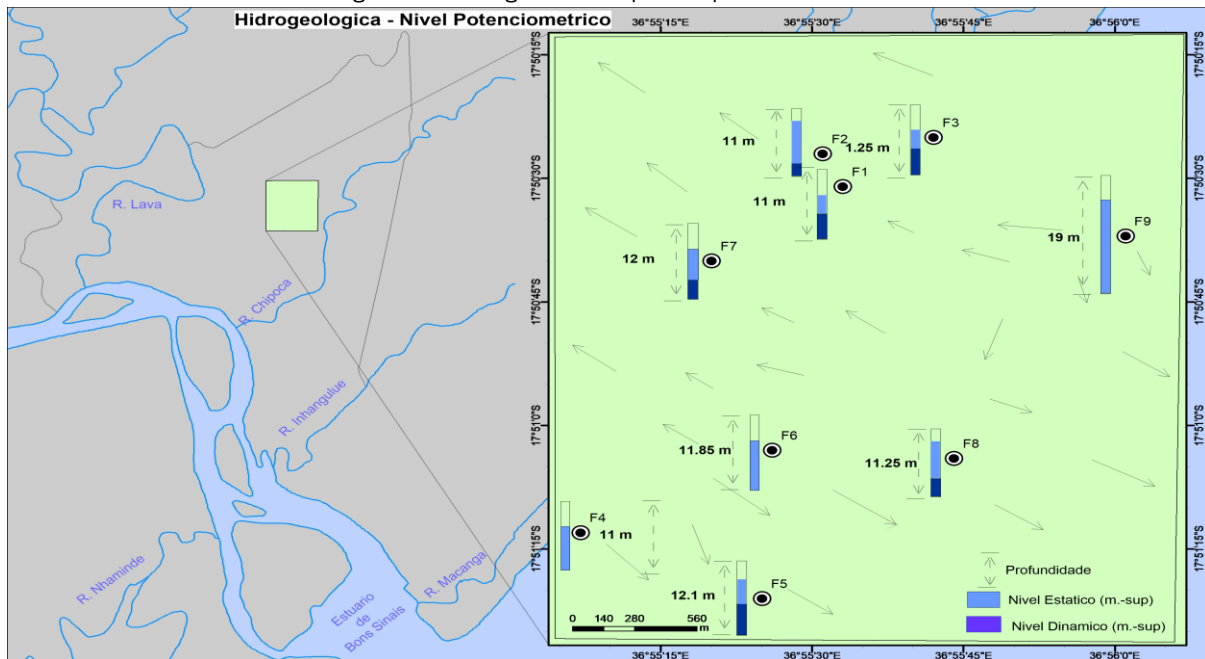
Figura 10 - Cartograma de profundidade dos furos.



Superfície Potenciométrica

O cartograma da superfície potenciométrica (Figura 11) mostra a sua variação hidrogeológica que influencia na direcção do fluxo subterrâneo, a partir de um alto potenciométrico localizado no segmento central do sector Sudoeste - Noroeste. Esta região abrange os furos F4, F6 e F9. Portanto, apresenta uma tendência geral de fluxo subterrâneo, preferencialmente, do segmento central para Noroeste e do segmento central para Sudeste.

Figura 11 - Cartograma de superfície potenciométrica.



5. DISCUSSÃO

Os furos mapeados apresentam uma profundidade variando entre 11m e 19m. Estas profundidades são consensuais com as obtidas pelo HYDROCONSEIL e WE CONSULT (2011, p. 99) nos aquíferos de Maputo com profundidades que variam de 07 a 63 m, e espessuras variando principalmente entre 0 – 10m e até 60 m. Como referenciado, o nível estático dos furos estudados varia até ~4.0 m.-sup, criando um bombeamento de ~ 2.36 m³/h e um nível dinâmico de até ~ 9m.-sup. Estes valores sugerem uma comunicação dos aquíferos que compõem os bairros estudados. O mapa representado pelos furos F5, F8 e F9, pertencentes aos bairros Coalane II, Sangarivera e Murropue observou-se na trajectoria do furo F5 para F9 uma redução do nível dinâmico e aumento do nível estático. Esta redução deve-se aos factores de interferência na recessão tais como a geologia e geomorfologia, isto é, nos furos F5, F8 estão numa planície e apresentam fluxo subsuperficial por saturação. Segundo MICOA (2012), SCHOLTEN (1987), em Nicoadala (zona próxima a área de estudo), as zonas com inclinação do terreno há influência do processo de infiltração, e nas áreas de planície ocorrem o fenómeno do fluxo subsuperficial por saturação. Enquanto nos furos F4, F6 do bairro Coalane II e F9 de Murropue, apresentam apenas o nível estático, sugerindo que seja uma zona de maior taxa de abastecimento, associado a infiltração, a geomorfologia e da geologia da área. O segmento da Figura 11, do furo F7 para F3 há aumento do nível dinâmico e redução do nível estático porque há maior declividade para a zona do furo F3. Enquanto que o segmento da Figura 12 dos furos F5, F6 e F7 apresentam um nível dinâmico nas laterais e o nível estático aumenta para o centro. Esta dinâmica deve-se a fonte de abastecimento do fluxo estar próximo ao furo F6. Enquanto que o segmento da Figura 13 do furo F2 para F8 o nível dinâmico aumenta para centro e o nível estático diminui para o centro, sugerindo que a fonte de abastecimento do fluxo esta entre furo F1 e furo F8. As apreciações dos níveis estáticos indicaram uma variação de até ~4.0 m.-sup, com o menor nível registado no furo F2 e o maior nível estático registado nos furos F4 e F9. A média dos níveis estáticos é de 3.2 m.-sup com um desvio padrão de 0.72. O caudal nos nove furos variou entre 0 e 2.36 m³/h e apresenta uma média de 1.00, um desvio padrão de 0.79. O nível dinâmico variou entre 0 e 8.75 m.-sup, com uma média de 5.25 e um desvio padrão estimado em 3.79. Esta variação indica uma heterogeneidade do sistema aquífero, possivelmente relacionada às regiões de permeabilidades menores, bem como ao controle estrutural do fluxo associado a uma permeabilidade maiores (MESQUITA, 2017). O nível estático, na área de estudo, variou entre 1.8m.-sup a 4.0m.-sup. (Figura 13). Segundo VOGEL (2007), áreas com maior nível estático são consideradas menos vulneráveis à contaminação, ao contrário das áreas com menor nível estático. Analisando-se a área em estudo percebe-se que a região mais vulnerável, levando-se em conta o nível estático, é o segmento central do sector sudoeste - noroeste. Esta região abrange os furos F4, F6 e F9, que são as que obtiveram maior nível estático, sendo esta menos vulnerável a contaminação da superfície, com base somente neste parâmetro. O cartograma da superfície potenciométrica (Figura 16) mostra a sua variação hidrogeológica que influencia na direcção do fluxo subterrâneo, a partir de um alto potenciométrico localizado no segmento central do sector Sudoeste - Noroeste. Esta região abrange os furos F4, F6 e F9. Portanto, apresenta uma tendência geral de fluxo subterrâneo, preferencialmente, do segmento central para Noroeste e do segmento central para Sudeste. Percebe-se que a variação da superfície potenciométrica apresentou uma faixa de variação e indica a existência de um gradiente, influenciando na direcção do fluxo subterrâneo (VOGEL, 2007). Conforme discussão apresentada sobre os furos com profundidade variando entre 11m e 19m, a dinâmica do nível dinâmico, superfície potenciométrica, e do nível estático que estão relacionados com a declividade, a geomorfologia, a geologia e o nível de saturação dos furos, é importante pensar –se na necessidade de que parte desse volume de água subterrânea poderia ser gerenciado construindo uma rede ou canais de água adequados para alimentar as comunidades que vivem na cidade de Quelimane, fazendo uso sustentável deste precioso recurso

6. CONCLUSÕES

Dinâmica dos parâmetros hidrogeológicos dos aquíferos costeiros da Cidade de Quelimane, na Zambézia evidencia que as características hidrogeológicas apresentam uma profundidade média de 12.27m com um nível estático médio de 3.2 m.-sup, uma vazão média de 1.00 m³/h e o nível dinâmico médio 5.25 m.-sup. A dinâmica hidrogeológica destes parâmetros sugere que as formações aquíferas desta área de estudo são relativamente diversificadas. A correlação dos níveis estático e dinâmico dos nove furos da área de estudo indicam para os bairros Coalane II, Sangarivera e Sampene, um fluxo para o sector noroeste e sudeste, sendo a zona intermédia o nível estático, e as potencialidades hidrogeológicas de armazenamento de águas subterrâneas ocorre nos bairros onde se regista o nível dinâmico. A dinâmica hidrogeológica das características potenciométricas dos bairros de Coalane II, Murropue, Sangarivera e Sampene indica um escoamento em direcção as zonas que apresentam um nível dinâmico. Os resultados alcançados nesta monografia visam subsidiar e fornecer informações que colaboram para o entendimento da dinâmica dos parâmetros hidrogeológicos obtidos em aquíferos de zonas costeiras e o possível monitoramento espaço-temporal nesse segmento do litoral da região centro de Moçambique.

O estudo é considerado como um ponto inicial para a explicação plausível da dinâmica e complexidade de parâmetros hidrogeológicos dos aquíferos das zonas costeiras e sua potencialidade no fornecimento de água para as comunidades. Conforme observado nas conclusões encontradas neste trabalho, é razoável a utilização dos resultados deste trabalho como parte de uma das iniciativas de promoção de mais trabalhos sobre análise dos parâmetros hidrogeológicos dos recursos hídricos subterrâneos da área de estudo e outras zonas costeiras, para aumentar a informação hidrogeológica. É importante o estabelecimento de um programa provincial de identificação, planificação, ordenamento, e monitoramento de aquíferos costeiras e sua de protecção contra as actividades humanas insustentáveis. A definição de um mapa municipal de aquíferos da cidade de Quelimane e o seu potencial hídrico de abastecimento e, também de identificação de possíveis fontes de descargas de efluentes domésticos.

REFERÊNCIAS

AMCOW. *Water supply and sanitation in Mozambique - turning finance into services for 2015 and beyond- an AMCOW Country Status Overview*. 2012.

DINIZ, J. A. O. *Manual de cartografia hidrogeológica*. Recife: CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 2014.

GTK CONSORTIUM ; *Notícia Explicativa*; Volume 3; 2006

GTK CONSORTIUM. *Notícia Explicativa da Carta Geológica 1:250.000*. Direcção Nacional de Geologia, Volume 1, Maputo. 2006b.

GTK CONSORTIUM. *Notícia Explicativa da Carta Geológica 1:250.000*. Direcção Nacional de Geologia, Volume 2, Maputo. 2006c.

GTK CONSORTIUM. *Notícia Explicativa da Carta Geológica 1:250.000*. Direcção Nacional de Geologia, Volume 3, Maputo. 2006d.

INE (2011). *Estatísticas Distritais*. Estatísticas do Distrito de Cidade De Quelimane.

MESQUITA, D. C. *Estudo dos parâmetros hidrodinâmicos obtidos em ensaios de campo em Itabiritos brandos da porção sudoeste do quadrilátero ferrífero*, MG. 2017.

MICOA. *Perfil ambiental e mapeamento do uso actual da terra nos distritos da zona costeira de Moçambique, Distrito de Nicoadala Província da Zambézia*. Projecto de Avaliação Ambiental Estratégica da Zona Costeira - Moçambique. 2012.

NOGUEIRA, G., STIGTER, T.Y., ZHOU, Y., MUSSA, F., JUIZO, D. *Understanding groundwater salinization mechanisms to secure freshwater resources in the water-scarce city of Maputo, Mozambique*. Sci. Total Environ. 2019. 661, 723–736.

SCHOLTEN, J. H. M. *Estudo de Solos ao Nível de Reconhecimento da Faixa Costeira de Quelimane*.1987.

SILVA, R. F. G. *Estimativa de parâmetros Hidrodinâmicos de Aquíferos em Áreas de Embasamento Através de Métodos Indirectos*. Dissertação de Mestrado. 2009.

VOGEL, M. M. *Parâmetros hidrodinâmicos dos recursos hídricos subterrâneos do município de São João do Polêsine*, RS. 2007.