

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE GEOLOGIA

KAIO WILLIAM DE OLIVEIRA

Caracterização potenciométrica e de capacidade específica dos poços da área urbana de  
Monte Carmelo - MG

Monte Carmelo

2024

KAIO WILLIAM DE OLIVEIRA

Caracterização potenciométrica e de capacidade específica dos poços da área urbana de  
Monte Carmelo - MG

Trabalho de Conclusão de Curso, exigência  
parcial para obtenção do título de bacharel em  
Geologia da Universidade Federal de  
Uberlândia, campus Monte Carmelo.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Liliane Ibrahim

Monte Carmelo

2024

KAIO WILLIAM DE OLIVEIRA

Caracterização potenciométrica e de capacidade específica dos poços da área urbana de  
Monte Carmelo - MG

Trabalho de Conclusão de Curso, exigência  
parcial para obtenção do Título de bacharel em  
Geologia da Universidade Federal de  
Uberlândia, campus Monte Carmelo.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Liliane Ibrahim

Monte Carmelo, 29 outubro de 2024.

Banca Examinadora:

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Liliane Ibrahim - Universidade Federal do Uberlândia

---

Prof. Dr. Fabiano Mota da Silva - Universidade Federal do Uberlândia

---

Prof. Dr. Felix Nannini - Universidade Federal do Uberlândia

Dedico este trabalho aos meus pais, pelo  
estímulo, carinho e compreensão.

## **AGRADECIMENTOS**

A todos que fazem parte desta jornada,

Com satisfação e gratidão, venho expressar minha sincera gratidão por todo o suporte, carinho e empenho que recebi durante a minha jornada que culminou neste meu Trabalho de Conclusão de Curso. Iniciarei meus agradecimentos com humildade e reconhecimento.

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me permitido e me dado forças para chegar até aqui e por ter colocado as pessoas certas na minha vida, por ser fonte de luz e conhecimento, pelas vitórias alcançadas e pelos valiosos conhecimentos que obtive ao longo da vida. Sua presença e orientação foram essenciais em cada etapa realizada neste percurso acadêmico.

Agradeço a minha mãe Joana e meu pai Rui, que nunca mediram esforços para que eu seguisse meus estudos e são a principal razão dessa conquista, eles são o que me motiva a ir cada vez mais longe, eles sempre foram minha fonte de inspiração, força e determinação. Sem o apoio deles, nada disso seria possível.

Agradeço à todas as orientações e ensinamentos da professora Liliane. Ensinar com dedicação e paciência é para poucos, e você faz isso com maestria, obrigado.

Minha gratidão ao professor Fabiano que se dedicou tanto em me ajudar com as confecções dos mapas e acreditou em mim que conseguiria. Sua assistência foi de extrema importância.

Aos meus irmãos Ruy César e Jordana que estão do meu lado desde sempre, e sabem o quanto foi difícil alcançar essa conquista. Obrigado por sempre me escutar e me apoiar.

Agradeço também aos meus amigos que conheci no curso Maíra, Samuel, Gustavo, Paulo, João Paulo – Baiano, Vinicius Babilônia por me incentivar e me forçar a acreditar mais em mim mesmo e me escutar. É agradeço a todos que participaram direta ou indiretamente desta vitória, aos meus amigos de muitos anos, esta conquista também é de vocês. Seu apoio foi substancial.

Finalmente, minha sincera gratidão se estende à Universidade Federal de Uberlândia. Ao longo deste curso, experimentei as experiências mais enriquecedoras da minha vida e venci os momentos mais desafiadores que jamais planejei enfrentar. Cada obstáculo representou uma chance de aprendizado, e cada vitória foi comemorada com felicidade e orgulho. Agradeço à UFU por ter contribuído de maneira significativa para o meu desenvolvimento pessoal e acadêmico.

Poderia dizer que “Este trabalho marca o fim e o início de um novo ciclo”, mas seria clichê. Então encerro dizendo que devemos quebrar ciclos, saia da rotina cansativa, vai em busca dos seus sonhos, pense grande, se aquela pessoa conseguiu você também consegue, se ninguém chegou lá, você vai ser o primeiro. A todos que fizeram parte dessa trajetória e tornaram esse sonho possível: sempre serei grato por tudo! Com gratidão, Kaio William de Oliveira.

*Deus é Bom o tempo todo!*

## RESUMO

O município de Monte Carmelo – MG está inserido na circunscrição hidrográfica dos Afluentes Mineiros do Alto Paranaíba, a qual juntamente com a circunscrição do Rio Araguari, ambas da Bacia Hidrográfica do Alto Paranaíba, concentram o maior número de outorgas subterrâneas e superficiais do estado de Minas Gerais. Metade do abastecimento público de água de Monte Carmelo advém da exploração das águas subterrâneas. O objetivo principal deste trabalho foi contribuir para a gestão dos recursos hídricos do município através do entendimento de alguns aspectos das unidades aquíferas locais. Foram analisados dados de vazão, nível estático, nível dinâmico e carga hidráulica de poços tubulares profundos do município de Monte Carmelo a partir dos bancos de dados do Departamento de Água e Esgoto (DMAE) e do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-SISEMA). Através da interpretação e modelagem destes dados através do *software SURFER*, foram gerados o mapa potenciométrico e o mapa de capacidade específica dos poços da área urbana. Todos os poços analisados foram considerados como pertencentes a aquíferos livres, denominados aquífero granítico Monte Carmelo e aquífero metamórfico Araxá, ambos do tipo fraturado. Porém, não possível a diferenciação dos poços entre os dois aquíferos, devido à insuficiência de dados dos perfis litológicos. Os aquíferos apresentaram profundidade média de 11,84 m de profundidade; a pouca profundidade do lençol freático na área urbana indica alta vulnerabilidade à contaminação, sendo necessário que sejam aprofundados os estudos neste sentido. A vazão média dos poços analisados é de 9,70 m<sup>3</sup>/h e a capacidade específica média é de 0,43 m<sup>3</sup>/h/m. Este valor de capacidade específica é considerado médio a baixo, mesmo para aquíferos fraturados; sua grande variabilidade também é esperada para este tipo de aquífero. Alguns poços com valores de capacidade específica maiores que 1 m<sup>3</sup>/h/m estão localizados nas áreas de recarga, identificadas próximas às nascentes dos córregos Mumbuca, Pirapitinga e Lambari. A área de descarga principal dos aquíferos na área urbana de Monte Carmelo é ao longo do córrego Mumbuca. Em épocas de estiagem, a dinâmica subterrânea pode ser alterada, portanto, não existe possibilidade de gestão dos recursos hídricos do município sem que existam estudos sobre a integração dos fluxos superficiais e subterrâneos.

**Palavras-chave:** Poços tubulares; mapa potenciométrico; gestão de recursos hídricos.

## ABSTRACT

The municipality of Monte Carmelo, Minas Gerais, is in the hydrographic district of the Atributaries of Minas Gerais of the Upper Paranaíba, which, together with the district of the Araguari River, both in the Upper Paranaíba Hydrographic Basin, concentrates the largest number of underground and surface water concessions in the state of Minas Gerais. Half of the public water supply in Monte Carmelo comes from the exploitation of groundwater. The main objective of this study was to contribute to the management of the municipality's water resources by understanding some aspects of the local aquifer units. Data on flow, static level, dynamic level and hydraulic head of deep tubular wells in the municipality of Monte Carmelo were analyzed from the databases of the Department of Water and Sewage (DMAE) and the State System of Environment and Water Resources (IDE-SISEMA). Through the interpretation and modeling of these data using the SURFER software, the potentiometric map and the specific capacity map of the wells in the urban area were generated. All the wells analyzed were considered to belong to unconfined aquifers, called the Monte Carmelo granite aquifer and the Araxá metamorphic aquifer, both of the fractured type. However, it was not possible to differentiate the wells between the two aquifers due to insufficient data on the lithological profiles. The aquifers had an average depth of 11.84 m; the shallow water table in the urban area indicates high vulnerability to contamination, requiring further studies in this regard. The average flow rate of the wells analyzed is 9.70 m<sup>3</sup>/h and the average specific capacity is 0.43 m<sup>3</sup>/h/m. This specific capacity value is considered medium to low, even for fractured aquifers; its great variability is also expected for this type of aquifer. Some wells with specific capacity values greater than 1 m<sup>3</sup>/h/m are located in recharge areas, identified near the sources of the Mumbuca, Pirapitinga and Lambari streams. The main discharge area of aquifers in the urban area of Monte Carmelo is along the Mumbuca stream. During dry seasons, the underground dynamics can be altered, therefore, there is no possibility of managing the municipality's water resources without studies on the integration of surface and underground flows.

**Keywords:** Tubular wells; potentiometric map; water resources management.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo com indicação em vermelho da área urbana de Monte Carmelo/MG. ....	17
Figura 2 - Representação esquemática do ciclo hidrológico: E = Evaporação; ET = Evapotranspiração; I = Infiltração; R = Escoamento superficial (defluvio). ....	19
Figura 3 - Equipamento experimental ilustrando a Lei de Darcy. ....	20
Figura 4 - Ilustração mostrando os conceitos de condutividade hidráulica e transmissividade. ....	21
Figura 5 - Tipos de aquíferos em relação à pressão de suas águas.....	23
Figura 6 - Tipos de aquíferos em relação a porosidade.....	24
Figura 7 - Unidades tectônicas da Faixa Brasília. ....	28
Figura 8 - Mapa geológico da área de estudo.....	29
Figura 9 - O mapa da esquerda mostra a densidade de pontos outorgados superficiais por circunscrições hidrográficas de Minas Gerais e o mapa da direita mostra a densidade de pontos outorgados subterrâneos por circunscrições hidrográficas de Minas Gerais. ....	31
Figura 10 – Localização das Declaração de Áreas de Conflitos hídricos (DACs) em Minas Gerais....	32
Figura 11 - Interface do <i>software surfer</i> 13.....	36
Figura 12- Mapa de localidade dos poços registrados pelo DMAE, SISEMA e CPRM na cidade de Monte Carmelo/MG. ....	38
Figura 13 - Distribuição dos poços do DMAE referente as áreas de descarga e recarga.....	39
Figura 14 - Frequência de valores de vazão dos poços da área urbana de Monte Carmelo – MG dados do DMAE.....	44
Figura 15 - Frequência de valores de profundidade dos poços da área urbana de Monte Carmelo – MG dados do DMAE.....	45
Figura 16 - Frequência de carga hidráulica dos poços da área urbana de Monte Carmelo – MG Dados do DMAE.....	45
Figura 17 - Mapa potenciométrico feito com os dados do DMAE da área urbana de Monte Carmelo-MG. ....	46
Figura 18 - Mapa de capacidade específica (m <sup>3</sup> /h/m) dos poços do DMAE na área urbana de Monte Carmelo - MG .....	48

Figura 19 - Frequência de capacidade específica dos poços da área urbana de Monte Carmelo – MG dados do DMAE.....	50
Figura 20 - Frequência de vazão dos poços da área urbana de Monte Carmelo – MG dados do SISEMA. ....	55
Figura 21 - Frequência de profundidade dos poços da área urbana de Monte Carmelo – SISEMA.....	56
Figura 22 - Frequência de carga hidráulica dos poços da área urbana de Monte Carmelo – Dados do SISEMA. ....	56
Figura 23 - Mapa potenciométrico com os dados do SISEMA da área urbana de Monte Carmelo- MG. ....	58
Figura 24 - Frequência da capacidade específica dos poços na área urbana de Monte Carmelo – MG dados de SISEMA. ....	59
Figura 25 - Mapa de capacidade específica (m <sup>3</sup> /h/m) feito com dados do SISEMA da área urbana de Monte Carmelo- MG.....	60

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Dados de poços cadastrados pelo DMAE.....	40
<b>Tabela 2:</b> Dados de poços cadastrados pelo SISEMA.....	51

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA</b> .....	14
<b>2</b>	<b>OBEJTIVOS E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS</b> .....	16
2.1	Objetivo geral.....	16
2.2	Objetivos específicos.....	16
2.3	Localização da área de estudo .....	16
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	18
3.1	Conceitos básicos de hidrogeologia .....	18
3.2	Classificação de aquíferos em relação à porosidade .....	23
3.3	Superfície potenciométrica .....	24
3.4	Conceitos básicos sobre hidráulica de poços.....	25
3.5	Contexto geológico da região de Monte Carmelo – MG .....	27
3.5.1	Contexto geológico regional .....	27
3.5.1.1	Grupo Araxá.....	29
3.5.1.2	Complexo Monte Carmelo .....	29
3.6	Aspectos sobre a exploração de água subterrânea no estado de Minas Gerais .....	30
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	34
4.1	Levantamento de referências bibliográficas .....	34
4.2	Levantamento e tratamento da base de dados .....	34
4.3	Mapa potenciométrico.....	35
4.4	Mapa de capacidade específica .....	35
4.5	Método utilizado para o modelamento hidrogeológico no software <i>Surfer 13</i> .....	36
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	37
5.1	Dados do Departamento Municipal de Água e Esgoto – DMAE de Monte Carmelo .....	38
5.2	Dados do Sistema Estadual de Meio Ambiente – SISEMA .....	50

5.3	Dados da plataforma SIAGAS – CPRM.....	61
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>62</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>64</b>

## 1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Cerca de 70% da superfície da Terra é composta por água, sendo que apenas 2% representam água doce, ou seja, que oferece condições para consumo. Deste total, cerca de 97% são relativas às águas subterrâneas e desse modo, são extremamente importantes para o planeta, exercendo papel essencial para o meio ambiente e a sociedade. Pode-se dizer que há mais água doce escondida abaixo da superfície da Terra do que em qualquer outra fonte, com exceção das geleiras (Freeze; Cherry, 1979). Além de manter os rios vivos, mesmo quando as secas reduzem o volume de água, as águas subterrâneas abastecem total ou parcialmente dos municípios brasileiros e contribuem para atividades econômicas como as indústrias e a agricultura (Hirata *et al.*, 2019).

A água subterrânea é o recurso natural de maior volume extraído do subsolo brasileiro. Aproximadamente mais de 2,5 milhões de poços tubulares estimados no Brasil exploram cerca de 17.580 Mm<sup>3</sup>/ano (557 m<sup>3</sup>/s), ou seja, volume suficiente para abastecer a cada ano a população atual brasileira ou 10 regiões metropolitanas, o equivalente a 217 milhões de pessoas. No Brasil, a água é utilizada principalmente para irrigação e abastecimento humano (urbano e rural), além de diversos outros como uso industrial, transporte, lazer e geração de energia (Hirata *et al.*, 2019).

A Mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba é caracterizada por conflitos pelo uso dos recursos hídricos, predominantemente por se tratar do principal polo de irrigação de Minas Gerais. O município de Monte Carmelo, área do presente estudo, está inserido na circunscrição hidrográfica dos Afluentes Mineiros do Alto Paranaíba, a qual, juntamente com a circunscrição do Rio Araguari, ambos da Bacia Hidrográfica do Alto Paranaíba, concentram a maior parte de outorgas subterrâneas e superficiais do estado (IGAM, 2024).

Segundo dados do Departamento Municipal de Água e Esgoto - DMAE de Monte Carmelo, o abastecimento de água do município é suprido essencialmente pelos Córregos Santa Bárbara, Mumbuca e Lambari, os quais respondem a 52% do volume de água aduzida à cidade; os outros 48% da água de abastecimento público é proveniente da captação de poços profundos, que contabilizam em sua totalidade 57 poços e possuem juntos uma vazão de 210 m<sup>3</sup>/h (DMAE, 2016).

Os aquíferos da cidade de Monte Carmelo estão inseridos em duas principais unidades geológicas, denominadas Grupo Araxá (Seer *et al.*, 2001) e Complexo Monte Carmelo (Seer; Moraes, 2013).

Porém, os dados construtivos dos poços tubulares que abastecem Monte Carmelo, indicam que, além da exploração de água das fraturas das unidades citadas acima, também é explorada água da porção superior do subsolo, que corresponde ao saprólito ou coberturas inconsolidadas, cuja porosidade é intergranular (sedimentar). Portanto, pode-se considerar que os aquíferos do município são do tipo misto (DMAE, 2016).

Devido à importância das águas subterrâneas para o abastecimento de Monte Carmelo, este trabalho tem como objetivo principal contribuir para a administração dos recursos hídricos do município, através da elaboração dos mapas potenciométrico e de capacidade específica dos poços, além de uma análise crítica sobre a qualidade dos dados existentes no município sobre as águas subterrâneas.

## 2 OBEJTIVOS E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

### 2.1 Objetivo geral

O estudo visa auxiliar o entendimento da dinâmica das águas subterrâneas na área urbana de Monte Carmelo através da avaliação dos parâmetros hidráulico e hidrogeológico referentes à capacidade específica de poços e potenciométrica, respectivamente e assim, contribuir para um gerenciamento eficiente dos recursos hídricos subterrâneos do município.

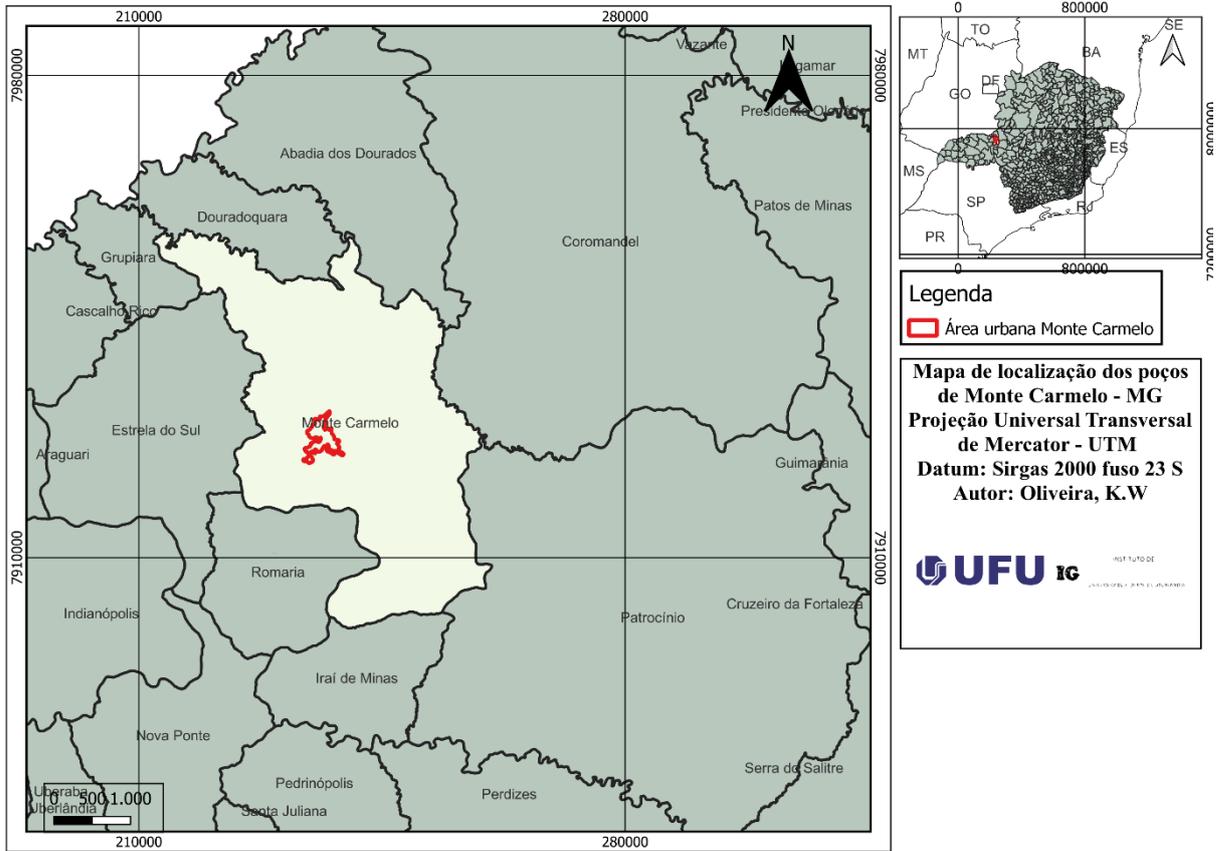
### 2.2 Objetivos específicos

- Analisar os dados de poços tubulares disponíveis no município de Monte Carmelo-MG obtidos dos bancos de dados dos seguintes órgãos: Departamento de Água e Esgoto – DMAE (57 poços), Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-Sisema) (70 poços).
- Elaborar o mapa potenciométrico da área urbana de Monte Carmelo;
- Elaborar o mapa de capacidade específica dos poços registrados no DMAE e SISEMA na área urbana de Monte Carmelo;
- Recomendar ações futuras para a gestão integrada dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos do município.

### 2.3 Localização da área de estudo

O município de Monte Carmelo, Minas Gerais, localiza-se na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (Figura 1), distando cerca de 120 km de Uberlândia e 500 km da capital Belo Horizonte. A cidade possui uma área municipal de 1.343,035 km<sup>2</sup>, fazendo divisa com os municípios de Abadia dos Dourados, Douradoquara, Grupiara, Estrela do Sul, Romaria, Iraí de Minas, Patrocínio e Coromandel. De acordo com o último censo, conta com 47.692 habitantes e possui uma densidade demográfica de 35 hab/km<sup>2</sup> (IBGE, 2022). A área de estudo é constituída pela área da cidade de Monte Carmelo.

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo com indicação em vermelho da área urbana de Monte Carmelo/MG.



Fonte: O autor (2024).

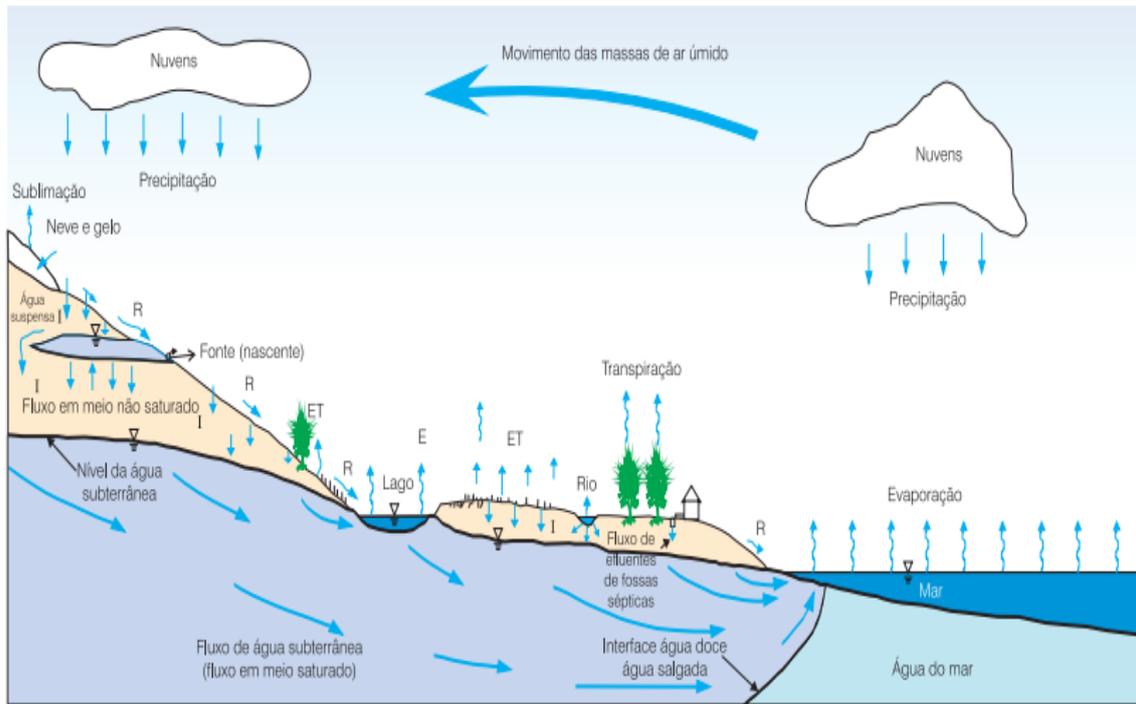
### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Conceitos básicos de hidrogeologia

A água subterrânea é normalmente reservada à água subsuperficial que se encontra na parte inferior do lençol freático em solos e formações geológicas completamente saturadas. Além de desempenhar um papel fundamental em diversos processos geológicos, como produção de sismicidade induzida, migração e acumulação de petróleo e formação de certos tipos de depósitos minerais, solo e relevos, essa água é importante para o abastecimento de poços, nascentes e rios em épocas de estiagem, além de desempenhar um papel crucial na manutenção do equilíbrio hídrico do ambiente (Freeze; Cherry, 1979).

Segundo Freeze e Cherry (1979), o ciclo hidrológico (figura 2) é um processo natural e consiste em várias etapas interligadas; envolve um fluxo de entrada para que o sistema hidrológico ocorra em forma de precipitação na forma de chuva ou derretimento de alguma neve. O fluxo de saída ocorre como escoamento superficial e subsuperficial e como evapotranspiração: combinação de evaporação de corpos d'água superficiais, evaporação das superfícies do solo e transpiração das plantas. A precipitação abastece os cursos d'água, tanto pelo escoamento superficial aos canais, como pelas rotas de fluxos após infiltração no solo. É importante compreender e monitorar esse ciclo para garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos e a preservação dos ecossistemas aquáticos.

Figura 2 - Representação esquemática do ciclo hidrológico: E = Evaporação; ET = Evapotranspiração; I = Infiltração; R = Escoamento superficial (deflúvio).



Fonte: (Feitosa, 2008)

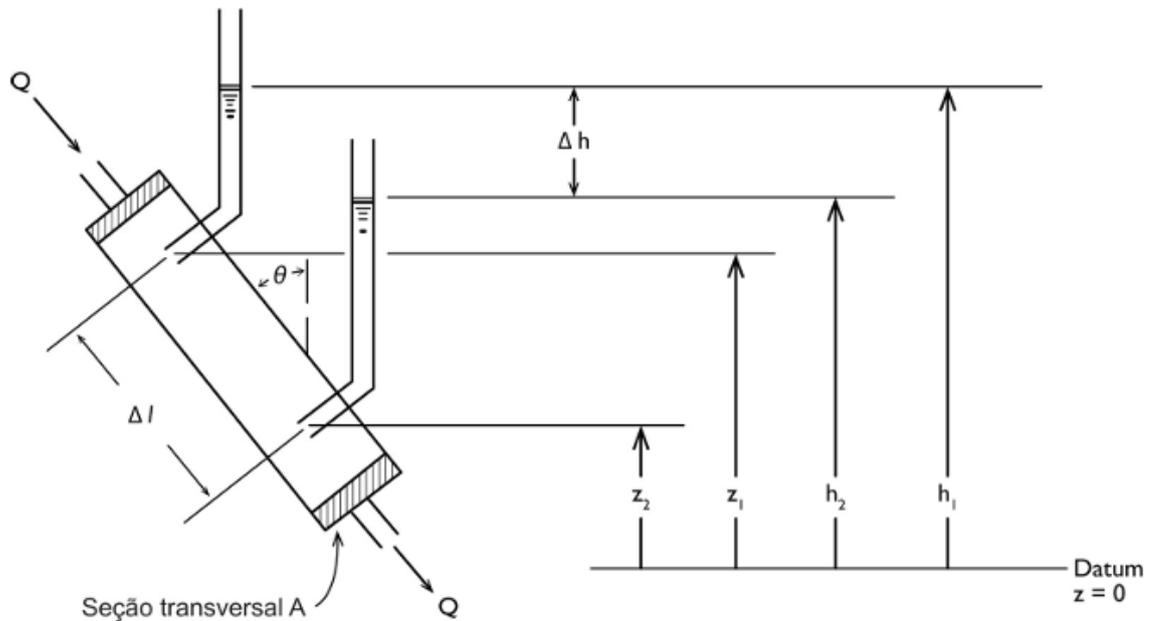
Um aquífero é toda formação geológica onde a água pode ser armazenada e que possua permeabilidade suficiente para permitir seu escoamento. Aquicludo é uma unidade geológica incapaz de transmitir quantidades de água sobre gradientes hidráulicos comuns. Aquitardo é uma camada semipermeável, delimitada no topo ou na base por camadas de permeabilidade muito maior e tem o comportamento de uma membrana semipermeável onde pode ocorrer uma infiltração vertical (Freeze; Cherry, 1979).

A hidrologia subterrânea é uma ciência quantitativa que surgiu em 1856. Neste ano, Henry Darcy, um engenheiro francês de hidráulica, divulgou seu relatório sobre o fornecimento de água para a cidade de Dijon, na França. No documento, Darcy relatou um experimento realizado em laboratório para examinar o fluxo de água através das areias. Os achados do seu estudo podem ser aplicados na lei empírica que atualmente leva o seu nome: Lei de Darcy (Freeze; Cherry, 1979).

Um cilindro circular de seção transversal  $A$  é preenchido com areia, tampado em cada ponta e equipado com tubos de entrada e saída, além de um par de manômetros (Figura 3). A água é inserida no cilindro e flui através dele até que todos os poros estejam completamente preenchidos com água e a vazão de entrada de fluxo  $Q$  seja igual à de saída. Ao se estabelecer um datum aleatório em  $z = 0$ , as elevações de entrada dos manômetros serão  $Z_1$  e  $Z_2$ , enquanto

as elevações dos níveis do fluido serão  $h_1$  e  $h_2$ .  $\Delta l$  representa a distância entre as entradas dos manômetros.  $V$  é a vazão específica que passa pelo cilindro ( $v = Q / A$ ) (Freeze; Cherry, 1979).

Figura 3 - Equipamento experimental ilustrando a Lei de Darcy.



Fonte: Freeze; Cherry (1979).

Darcy demonstrou que a área ( $A$ ) do cilindro é diretamente proporcional à diferença de cargas hidráulicas ( $h_1 - h_2$ ) nos extremos da coluna e inversamente proporcional ao seu comprimento ( $L$ ). É demonstrada matematicamente pela seguinte fórmula:

$$Q = KA \frac{(h_1 - h_2)}{L} \text{ ou } q = \frac{Q}{A} \quad (1.0)$$

$Q$  = vazão constante que passa pelo cilindro ( $L^3/T$ )

$K$  = coeficiente de proporcionalidade, chamado de condutividade hidráulica ( $L/T$ )

$q$  = vetor velocidade aparente.

A condutividade hidráulica (Figura 4) é a capacidade do material em permitir a passagem da água através dele, quanto maior a condutividade hidráulica, mais fácil será a movimentação da água. As formações geológicas que apresentam maiores valores de condutividade hidráulica incluem areias não consolidadas e cascalhos, rochas sedimentares

permeáveis como arenito e calcário, além de rochas vulcânicas e cristalinas com fraturas acentuadas (Freeze; Cherry, 1979).

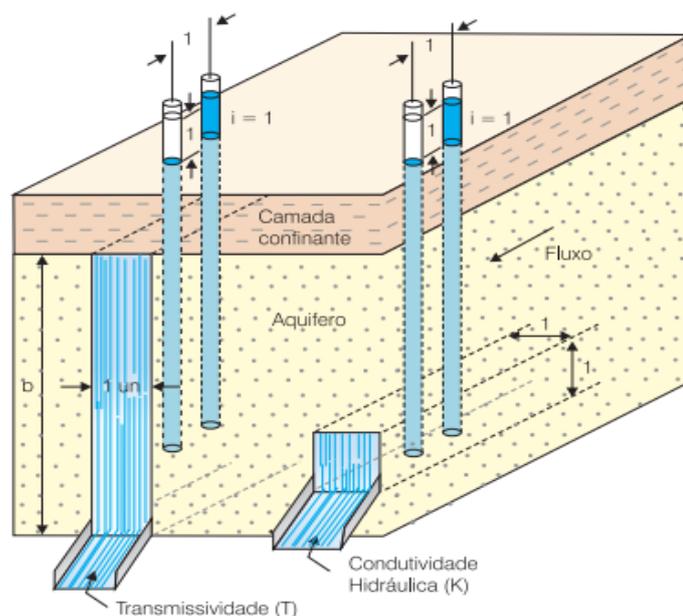
A Permeabilidade é capacidade do material em permitir a passagem de substâncias através dele. A permeabilidade pode estar relacionada à capacidade de um material ou substância de permitir a passagem de calor, água ou outros elementos. A permeabilidade de um material ou substância pode influenciar diversos processos (Freeze; Cherry, 1979).

Porosidade é o volume total de vazios de um solo ou rocha, podendo ser primária e/ou secundária. Esses poros são de diversos tamanhos e formatos, e sua presença influencia diretamente as propriedades físicas e mecânicas do material, como a permeabilidade, a resistência e a densidade (Feitosa, 2008).

O armazenamento de um aquífero fundamenta-se na capacidade de armazenar e transmitir água e depende de algumas propriedades da água, como densidade, viscosidade e compressibilidade, além das propriedades do meio poroso, como porosidade, permeabilidade intrínseca e compressibilidade (Feitosa, 2008)

A transmissividade (Figura 4) é a concentração de água que pode ser transmitida horizontalmente por toda a espessura saturada do aquífero, determinada como a taxa de escoamento de água através de uma faixa vertical do aquífero, com largura unitária submetida a um gradiente hidráulico unitário (Feitosa, 2008)

Figura 4 - Ilustração mostrando os conceitos de condutividade hidráulica e transmissividade.



Fonte: (Feitosa, 2008).

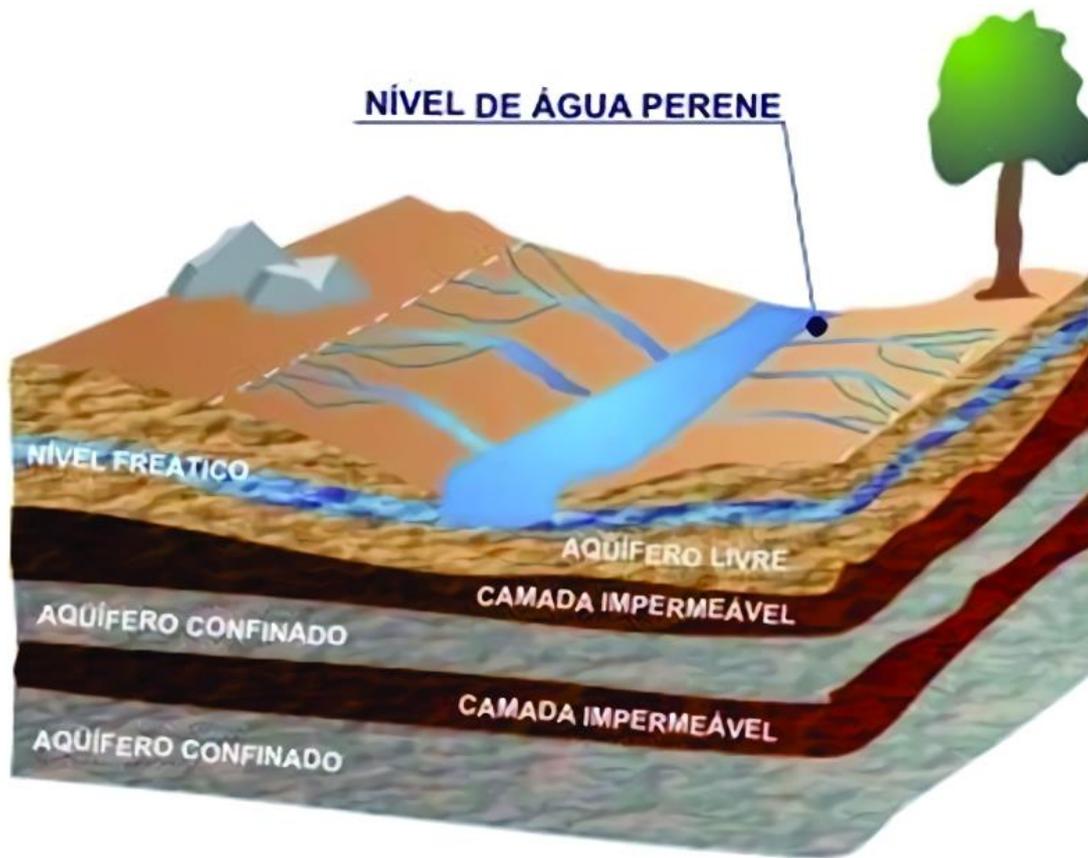
O nível freático é a superfície onde a pressão de fluido nos poros de um meio poroso é exatamente a mesma que a atmosférica. O nível da água em um poço raso aberto ao longo de seu comprimento, que intercepta apenas depósitos superficiais em profundidade suficiente para acumular água dentro dele, indica a localização desta superfície (Freeze; Cherry, 1979).

Existem diferentes tipos de aquíferos em relação à pressão das águas nas suas superfícies limítrofes (superior, chamada de topo e inferior chamada de base) e, em função da capacidade de transmissão de água dessas respectivas camadas limítrofes. Em relação a essas características distintas, que influenciam o comportamento hidrogeológico (Figura 5), os aquíferos podem ser classificados em confinados e livres. Aquífero confinado, também chamando de aquífero sob pressão, está confinado entre dois aquíferos. Geralmente o nível de água em um poço posiciona-se acima da parte superior do aquífero. Classificam-se em confinados não drenantes, cujas camadas limítrofes, superior e inferior são impermeáveis e confinados drenantes, onde pelo menos uma camada limítrofe é semipermeável, permitindo a entrada e saída de fluxo (Freeze; Cherry, 1979).

No aquífero livre, também chamando de aquífero freático, o nível freático constitui o limite superior e ocorre perto da superfície. Este limite superior é a superfície de saturação onde os pontos se encontram à pressão atmosférica. Os aquíferos livres se classificam em drenantes (base semipermeável) e não drenantes (base impermeável) (Freeze; Cherry, 1979).

Existe um tipo de aquífero livre que é denominado de aquífero suspenso, quando este é formado sobre uma camada impermeável ou semipermeável de extensão limitada e situada entre a superfície freática regional e o nível do terreno. Às vezes, esses aquíferos existem apenas por um curto período, na medida em que drenam para o nível freático subjacente (Feitosa, 2008).

Figura 5 - Tipos de aquíferos em relação à pressão de suas águas.



Fonte: Andrade (2011)

### 3.2 Classificação de aquíferos em relação à porosidade

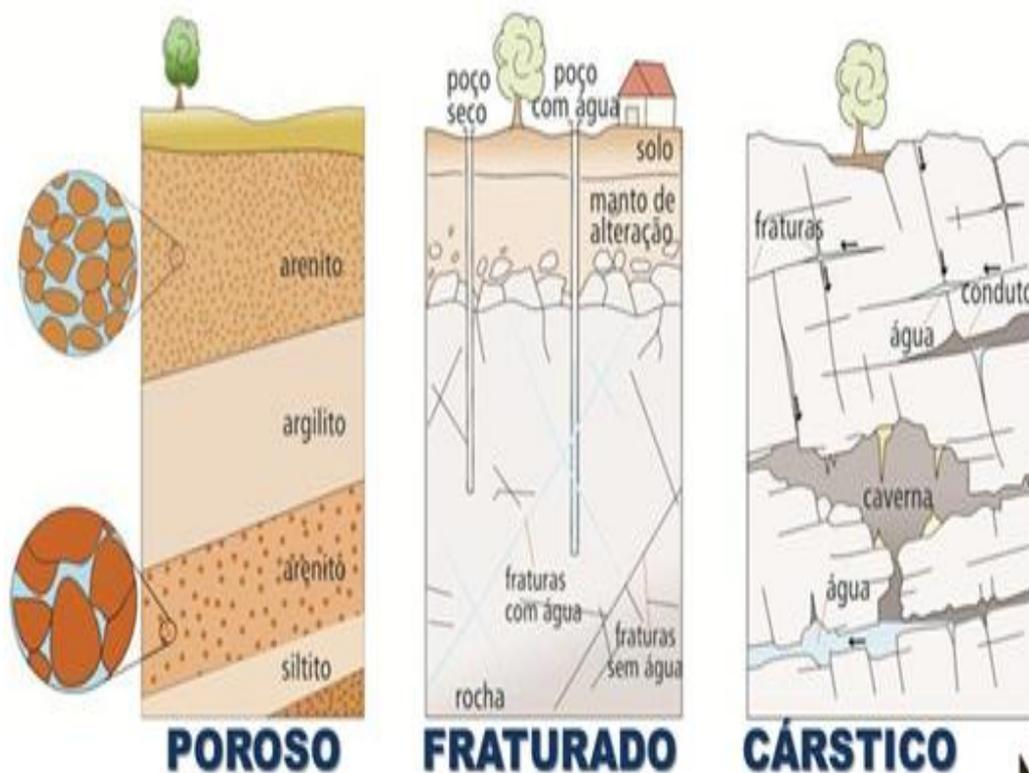
Em relação à porosidade, os aquíferos podem ser classificados como granulares (também denominados sedimentares ou porosos), fraturados (fissurados) ou cársticos (Figura 6). Os aquíferos granulares ocorrem em rochas sedimentares consolidadas, sedimentos inconsolidados e decompostos in situ. Como armazenam um grande volume de água e ocorrem em áreas extensas, são os aquíferos mais importantes. Esses aquíferos ocorrem em bacias sedimentares e em todas as várzeas onde sedimentos arenosos se acumularam. Uma característica dessa classe de aquífero é a porosidade quase sempre uniformemente distribuída, ou isotropia. Isso permite que o líquido flua em qualquer direção de acordo com os diferenciais de pressão hidrostática existentes (Freeze; Cherry, 1979).

Os aquíferos fraturados ou fissurados são encontrados em rochas ígneas e metamórficas. A quantidade de fraturas aberturas e interconectadas destas rochas determinam sua capacidade de acumular água. Nessas rochas são perfurados poços que fornecem poucos metros cúbicos de

água por hora. Um poço produtivo só pode ser construído interceptando fraturas capazes de conduzir água. O escoamento da água nesses aquíferos é limitado à direção das fraturas, que geralmente possuem orientações preferenciais. Por causa disso, esses meios são conhecidos como anisotrópicos (Freeze; Cherry, 1979).

E por fim, os aquíferos cársticos, inseridos em rochas carbonáticas. Eles constituem um tipo específico de aquífero fraturado, onde as fraturas, devido à dissolução do carbonato pela água, podem atingir aberturas extremamente grandes (condutos e cavernas), criando verdadeiros rios subterrâneos. Esse aquífero ocorre em regiões com rochas calcárias (Freeze; Cherry, 1979).

Figura 6 - Tipos de aquíferos em relação a porosidade.



Fonte: Redação ITM (2017)

### 3.3 Superfície potenciométrica

Superfície potenciométrica é definida quando as elevações de nível de água obtidas nos poços são colocadas em um mapa e traçadas linhas de mesma elevação. A superfície resultante é um mapa da carga hidráulica do aquífero. Esse mapa de superfície potenciométrica tem informações importantes, como a indicação das direções dos fluxos de suas águas subterrâneas.

Esse conceito de superfície potenciométrica só é válido para fluxo horizontal em aquíferos horizontais. A condição de fluxo horizontal é atendida apenas em aquíferos com condutividade hidráulica bem maior do que aquelas das camadas confinantes associadas (Freeze; Cherry, 1979).

O mapa potenciométrico representa a superfície piezométrica em um aquífero, mostrando os níveis de pressão hidrostática da água subterrânea em diferentes pontos do terreno. Ele é útil para identificar a direção do escoamento da água subterrânea, as áreas de recarga e descarga do aquífero, bem como possíveis áreas de contaminação (Freeze; Cherry, 1979). Esses mapas são normalmente criados a partir de registros de poços de monitoramento.

Os mapas de curvas equipotenciais são obtidos a através de poços de monitoramento espalhados pela região que se deseja representar ou a partir de poços tubulares sem bombeamento. Estes mapas são elaborados usando uma variedade de métodos de interpolação, mas nem sempre a densidade de dados disponíveis sobre a cota potenciométrica é suficiente para a realização de estimativas confiáveis (Rocha *et al.*, 2009).

### 3.4 Conceitos básicos sobre hidráulica de poços

São conceitos importantes para o entendimento da instalação e manutenção de poços tubulares. O nível estático (NE) é a profundidade do nível da água dentro do poço quando não está em bombeamento por um bom período e é medido geralmente em metros em relação à boca do poço. O nível dinâmico (ND) é a profundidade do nível da água dentro do poço quando está em bombeamento, medido geralmente em metros em relação à boca do poço (Feitosa, 2008)

O rebaixamento (S) é a diferença entre o nível estático e o dinâmico, ou seja, o quanto o nível da água rebaixou dentro do poço durante o bombeamento, também medido geralmente em metros. A altura da boca do poço é o tamanho do cano exposto, ou seja, a altura da boca do poço até a superfície do terreno. E instalação é a etapa final da construção de um poço, deixando-o apto a funcionar normalmente, e consiste na colocação de um equipamento de bombeamento, com tubulações adutoras, um sistema de acumulação (caixa d'água) e um sistema de distribuição da água (chafarizes, encanação etc.) (Feitosa, 2008).

A água subterrânea é extraída através de uma variedade de tipos de poços, dependendo das condições locais, do tipo e da profundidade do aquífero, das vazões pretendidas e da disponibilidade de equipamentos de exploração disponíveis no mercado. Os tipos de poços podem ser classificados de acordo com o método de perfuração utilizado, em poços escavados

manualmente, poços coletores com drenos horizontais simples e drenos radiais, poços tubulares e galerias filtrantes (Feitosa, 2008).

Os poços escavados manualmente, chamados também de poços amazonas ou cacimba, são poços mais primitivos e limitados, utilizados para captação de aquíferos que ocorrem próximos à superfície. São feitos por escavação manual convencional, em geral de seção circular por ser estável. Os poços com drenos horizontais também são chamados de poços tubulares horizontais. Esse tipo de extração é natural em aquíferos rasos com pequena espessura saturada e valores baixos de condutividade hidráulica, onde é inviável a construção de um poço tubular. Os poços por drenos radiais são uma variante do dreno horizontal, onde a diferença é que nesse caso não são escavadas valas para instalações dos filtros. A instalação é feita com ajuda de macacos hidráulicos a partir do poço coletor. Galerias drenantes são um tipo de obra que é uma mistura de captação e transporte de água. Esse sistema é bastante antigo e muito utilizado na região do Oriente Médio, com registros de mais de 2.700 anos (Feitosa, 2008).

Os poços tubulares são perfurados para extração de água subterrânea e que recebem logo depois da perfuração, um revestimento constituído por tubos podendo ser metálicos ou de plásticos e que terão várias finalidades durante a vida útil do poço (Feitosa, 2008).

Segundo a NBR 12244/1992 – Construção de Poço para Captação de Água Subterrânea, poço é toda obra de captação de água subterrânea executada com sonda, mediante perfuração vertical.

Os critérios gerais e requisitos de um planejamento para um poço tubular profundo envolvem diversos fatores, entre eles (Driscoll, 1986):

1. Segurança estrutural e operacional;
2. Capacidade (rendimento ou taxa de descarga de águas subterrâneas), tanto a curto quanto a longo prazo (maior vazão para o menor rebaixamento);
3. O material do aquífero (meio poroso) deve permanecer no lugar, ou seja, e inviável ser extraído junto com a água subterrânea;
4. Raio de influência;
5. Impacto na qualidade e quantidade de águas subterrâneas no aquífero selecionado e nos aquíferos adjacentes;
6. Proteção contra contaminação (tanto da superfície terrestre como da subsuperfície);
7. Impacto ao meio ambiente;
8. Custo de capital;
9. Requisitos de operação e manutenção;
10. Custo.

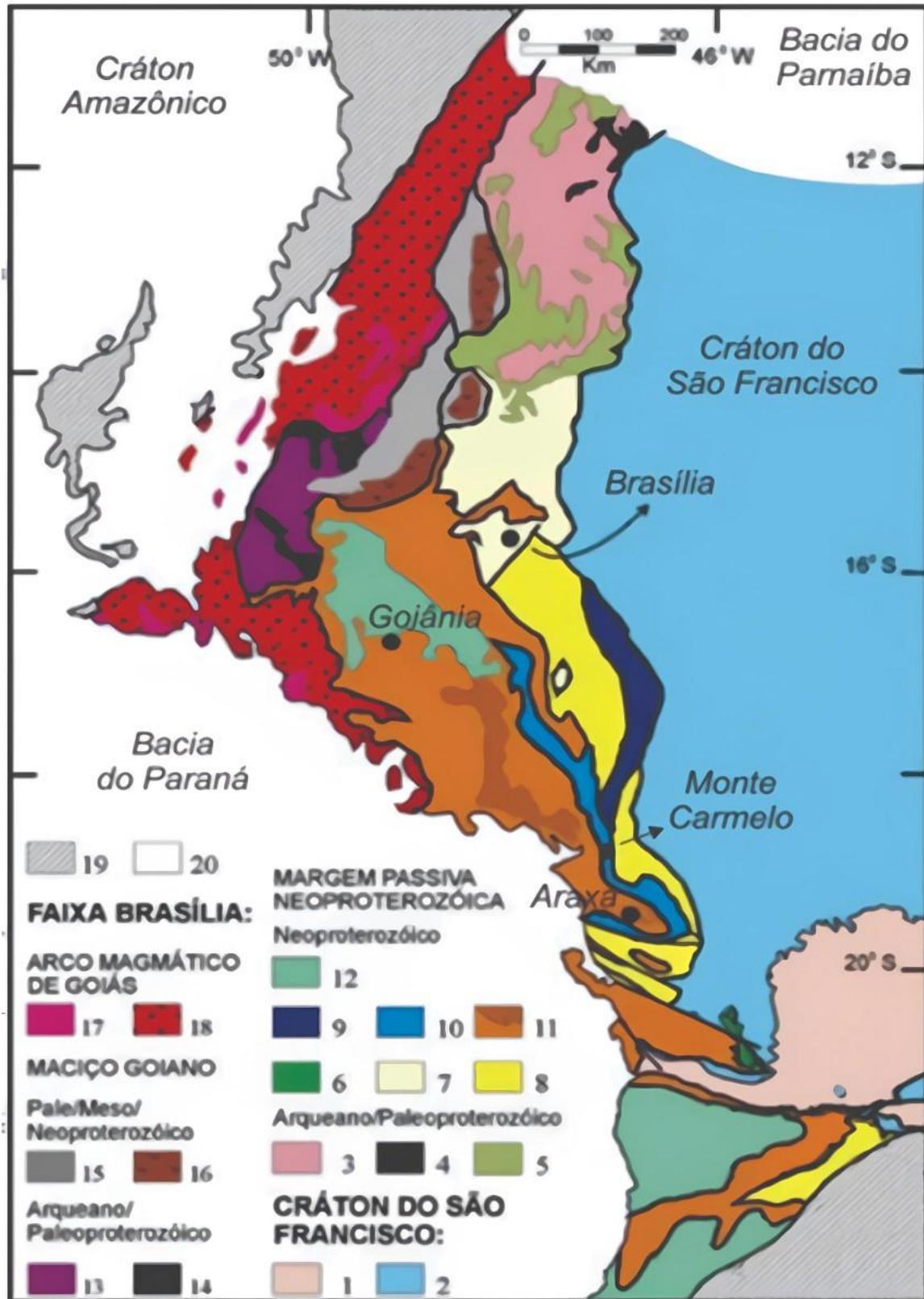
### 3.5 Contexto geológico da região de Monte Carmelo – MG

#### 3.5.1 Contexto geológico regional

A área de estudo desse trabalho está inserida na porção meridional da Faixa de Dobramentos Brasília e que compreende o Grupo Araxá e Complexo Monte Carmelo, ambos pertencentes ao Neoproterozoico (Barbosa *et al.*, 1970).

A Faixa Brasília Meridional é uma vasta pilha *de nappes* subhorizontais (Valeriano *et al.*, 2004), formada pela inversão orogênica de bacias localizadas ao sudoeste e sul do Paleocôntinente São Francisco-Congo (Dardenne, 2000; Pimentel *et al.* 2000; Valeriano *et al.* 2008). O domínio externo da Faixa Brasília faz fronteira com o Cráton São Francisco, formado por rochas metassedimentares dos grupos Paranoá, Canastra e Planalto Central. O domínio interno é o revestimento tectônico do domínio externo, composto pelas rochas do Grupo Araxá, associados a granitos e gnaisses (Fuck *et al.*, 1994; Valeriano *et al.*, 2004). O domínio cratônico abrange pequenas porções de rochas do embasamento, que são representadas pelos Grupos Paranoá e Bambuí, sobrepostos a coberturas fanerozoicas e pré-cambrianas respectivamente (Fuck *et al.*, 1994). A figura 7 indica a estruturação das unidades tectônicas da Faixa Brasília.

Figura 7 - Unidades tectônicas da Faixa Brasília.



Fonte: Adaptado de Valeriano (2004).



(Barbosa *et al.*, 1970), o termo Complexo Monte Carmelo foi proposto por Pereira *et al.* (1983) para se referir às rochas de composição granítica a granodiorítica que se encontram nessa área.

A unidade inclui um corpo granítico principal e quatro corpos isolados de forma alongada. Esse corpo magmático exhibe rochas inseridas nos micaxistos do Grupo Araxá, intercaladas com anfibolitos e exibindo veios pegmatoides irregulares (Barbosa *et al.*, 1970). Seer *et al.* (2007) e Seer e Moraes (2013) caracterizam o Complexo Monte Carmelo como uma intrusão granítica sintectônica localizada na lasca intermediária do Grupo Araxá, caracterizada pela predominância de grandes quantidades de anfibolitos de médio a grosso calibre (Complexo Chapada de Perdizes, descrito por Brod *et al.*, 1991) e anfibólio-clorita xistos.

### 3.6 Aspectos sobre a exploração de água subterrânea no estado de Minas Gerais

Em 08 de janeiro de 1997, a Lei Federal nº. 9.443 foi promulgada para gerenciar os recursos hídricos, criando a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRD) e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). O objetivo principal foi garantir que a água estivesse disponível em quantidade e qualidade para os cidadãos e para seus respectivos usos para as gerações atuais e futuras. As bases desta lei são as seguintes: a utilização da bacia hidrográfica para planejamento dos recursos hídricos, a consideração dos vários usos da água, a consideração da água como um recurso limitado, vulnerável e valioso e a necessidade da gestão descentralizada do recurso (Brasil, 1997). Em Minas Gerais, o responsável pela administração dos recursos hídricos do estado é o Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM.

No decorrer de muito tempo, os recursos hídricos foram considerados ilimitados pela justiça brasileira e usados de forma predatória, conforme os interesses econômicos de cada região devido sua aparente alta disponibilidade no mundo. As cidades e as populações cresceram muito e com isso exigiram um maior consumo de água. Os recursos hídricos foram envolvidos no ambiente construído, o que resultou principalmente em sua contaminação e poluição, diminuindo a qualidade da água e o volume disponível. Porém, o volume de água na Terra permanece praticamente o mesmo, e além de ser amplamente utilizada, sua distribuição é irregular (Guimarães, 2007).

De acordo com Paixão *et al.* (2019) a exploração de água subterrânea requer a alteração no solo e no seu padrão de fluxo em um aquífero, de modo a direcionar o fluxo da água para projetos de captação (poços artesianos, cisternas e drenos), provocando o rebaixamento do nível

da água, diminuição da vazão e do nível piezométrico. A água obtida torna-se uma água não mais acessível para as regiões de descargas naturais.

A falta de conhecimento dos aquíferos, associada à ausência de legislação específica e à falta de fiscalização, levam a um cenário de superexploração dos aquíferos, caracterizado pela retirada da água ser maior do que a capacidade de recarga (Paixão *et al.*, 2019). Segundo o estudo do Instituto Trata Brasil, de 2019 (Hirata *et al.*, 2019), 88% dos poços perfurados no Brasil são desconhecidos.

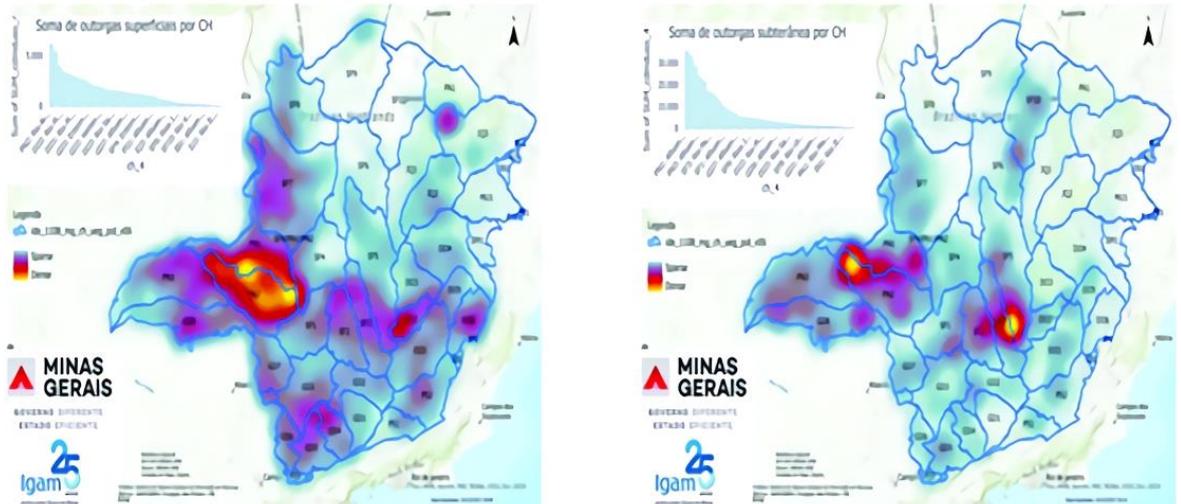
O estado de Minas Gerais estabeleceu critérios e condições para a exploração de água subterrânea no estado, através da Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH 05/2017, que estabelece diretrizes e procedimentos para a definição de áreas de restrição e controle do uso das águas subterrâneas.

De acordo a norma supracitada:

“Área de Restrição e Controle” (ARC) é aquela em que existe a necessidade de disciplinar as intervenções em águas subterrâneas em termos qualitativos (e.g. superexploração ou áreas sob a influência de captação subterrânea) e quantitativo (e.g. contaminações antrópicas, considerando Valores Máximos Permitidos para cada uso de água, previstos nas resoluções CONAMA), visando sua proteção, conservação, recuperação e uso sustentável. A ARC é classificada em “Área de Restrição e Controle em Avaliação” (ARCA) e “Área de Restrição e Controle Confirmada” (ARCC). É considerada ARCA aquela sob influência de captação subterrânea onde o volume total explorado for, por no mínimo 4 meses consecutivos, superior ao volume explorável estimado, apresentando indícios distintos de super exploração (Paixão *et al.*, 2019).

Conforme mencionado na introdução, a Bacia Hidrográfica do Alto Paranaíba concentra um dos maiores números de Declarações de Áreas de Conflito (DAC) de Minas Gerais, coincidindo com as áreas de maior densidade de outorgas superficiais e subterrâneas do estado, conforme as figuras 09 e 10.

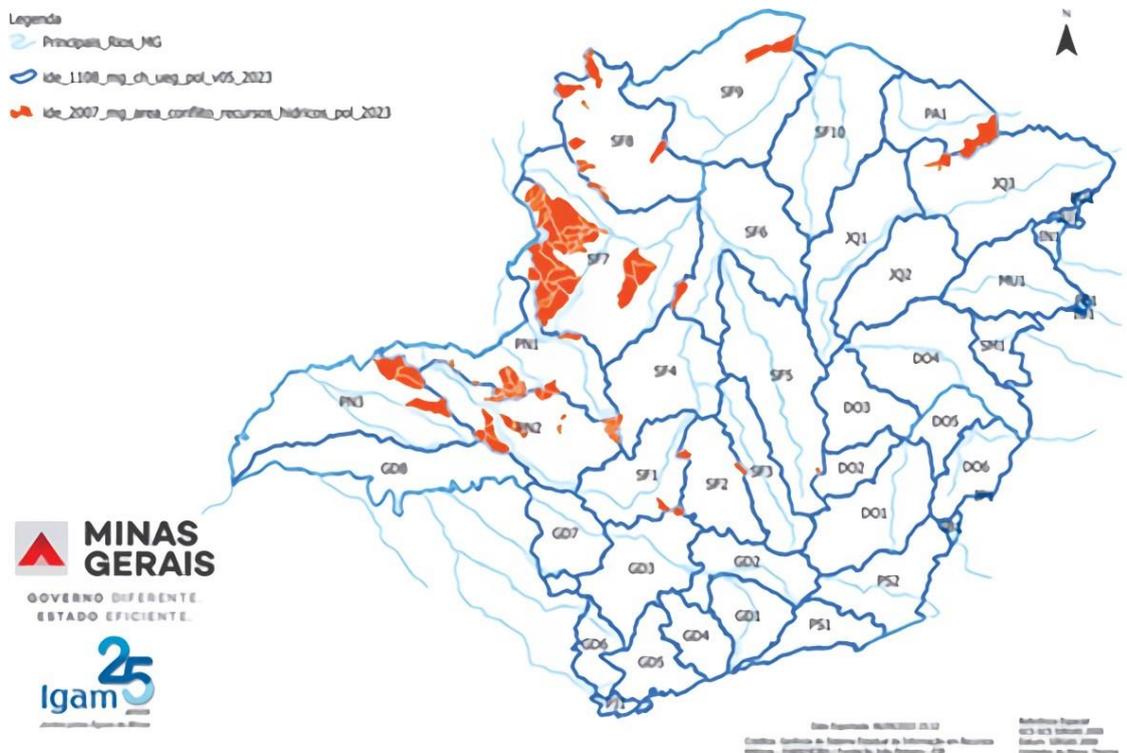
Figura 9 - O mapa da esquerda mostra a densidade de pontos outorgados superficiais por circunscrições hidrográficas de Minas Gerais e o mapa da direita mostra a densidade de pontos outorgados subterrâneos por circunscrições hidrográficas de Minas Gerais.



Fonte: IGAM (2024).

Estes dados confirmam que para o correto, sustentável e eficiente gerenciamento dos recursos hídricos, é necessária a integração do conhecimento entre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos, já que um depende do outro (Feitosa, 2008).

Figura 10 – Localização das Declaração de Áreas de Conflitos hídricos (DACs) em Minas Gerais.



Fonte: IGAM (2024).

Em Minas Gerais, a quantidade de poços nas áreas com pequena disponibilidade hídrica superficial pode provocar problemas hídricos rápidos, como as subsidências de solos, diminuição das vazões em nascentes ou nos níveis iniciais de rios, queda na qualidade das águas subterrâneas e superficiais (Paixão *et al.*, 2019).

Os efeitos e repercussões da superexploração não se manifestam imediatamente. Por um período específico, que pode variar dependendo do aquífero explorado e das taxas de exploração empregadas, a diminuição do nível da água no aquífero não impacta significativamente os usos e o atendimento das necessidades. No entanto esses processos ocorrem de maneira gradual e não são imediatamente notados (Pinhatti, 2023).

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Levantamento de referências bibliográficas

Para a realização do trabalho, foram realizados levantamentos bibliográficos e de bases de dados. Foram pesquisados trabalhos essenciais relacionados à geologia regional, hidrogeologia, incluindo publicações científicas, artigos, relatórios técnicos, dissertações de mestrado, teses de doutorado, livros e outras fontes relevantes. A seleção criteriosa dessas referências buscou abranger aspectos geológicos e hidrogeológicos específicos da área de estudo.

### 4.2 Levantamento e tratamento da base de dados

Neste trabalho, foram analisados dados de poços tubulares profundos do município de Monte Carmelo a partir de 2 fontes distintas:

- Dados de poços cedidos pelo Departamento de Água e Esgoto (DMAE) em formato de planilha de Excel, entregues diretamente ao autor;
- Dados do SISEMA, obtidos no site da Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-SISEMA) (SISEMA, 2024);

Nas tabelas encontram-se dados de identidade (ID), cotas, coordenadas UTM, profundidade do nível d'água, nível estático, carga hidráulica, vazão de bombeamento, nível dinâmico, rebaixamento, capacidade específica do poço e profundidade do poço.

A base de dados fornecida pelo DMAE não contemplava as cotas dos poços, então foi necessário o processamento do Modelo Digital de Elevação – DEM através do satélite Alos Palsar, sendo um dos sistemas gratuitos com melhor resolução espacial disponível. Foi utilizado um complemento (plugin) chamado Open Topography DEM no Qgis 3.28, foi escolhida uma imagem de satélite disponível; nesse caso foi utilizado Alos Palsar 30 m e selecionado a área de estudo. O segundo passo foi usar outra ferramenta no Qgis chamando panejar cota (Z) onde foram obtidas as cotas.

Para elaboração dos mapas potenciométrico e de capacidade específica, foram utilizados dados de coordenadas, local de instalação, nome do poço, cota, vazão (Q), Nível Estático (NE), Nível Dinâmico (ND), Rebaixamento (S), Profundidade e Capacidade Específica. Inicialmente, os dados adquiridos foram organizados em tabelas no software Excel para cada poço analisado. Tanto o mapa potenciométrico como o mapa de capacidade específica foram elaborados através

do *software Surfer* versão 13 e *Qgis* versão 3.28, onde foi aplicada a metodologia de krigagem para interpolação de dados.

#### 4.3 Mapa potenciométrico

A superfície da água subterrânea em um aquífero é representada por um mapa potenciométrico. Ele mostra a flutuação do nível de água subterrânea em várias partes do aquífero e é uma ferramenta útil para compreender melhor o fluxo de água subterrânea em um local específico (Freeze; Cherry, 1979).

Obtendo a medição do nível da água subterrânea em vários poços onde tem acompanhamento, simultaneamente é possível criar o mapa potenciométrico. Após isso, um modelo matemático é construído com esses dados para prever a superfície da água subterrânea em outras partes do aquífero (Freeze; Cherry, 1979).

Os poços que têm controle e fiscalização contêm instrumentos de medição onde é possível a leitura do nível de água subterrânea em relação a um ponto de referência desejado. Essas leituras podem ser realizadas com intervalos que podem variar de horas a meses e podendo ser regulares, dependendo do objetivo da análise (Paixão *et al.*, 2019).

De acordo com as leituras realizadas nos poços que tem fiscalização, é viável que se construa uma malha com pontos de nível d'água para mostrar a superfície da água subterrânea dentro do aquífero. Então, essa malha de pontos é interpolada usando técnicas matemáticas como a krigagem para criar um mapa potenciométrico (Freeze; Cherry, 1979).

Para a realização do modelamento hidrogeológico para elaboração do mapa potenciométrico, usa-se a fórmula:

$$\mathbf{H} = \mathbf{Z} - \mathbf{NE} \quad (2.0)$$

Onde: H = carga hidráulica

Z = cota da boca do poço

NE = nível estático

No caso dos dados analisados neste trabalho, os dados de carga hidráulica foram obtidos a partir de informações de testes de bombeamento disponíveis.

#### 4.4 Mapa de capacidade específica

A Capacidade Específica é um parâmetro que define a capacidade de produção dos poços. É a razão entre a vazão ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) e o rebaixamento (m), sendo expressa em  $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ . Para

produzir o mapa de capacidade específica, primeiro é calculado o rebaixamento do poço com a fórmula:

$$S = ND - NE \quad (3.0)$$

Onde: S = rebaixamento;

ND = nível dinâmico;

NE = nível estático.

Então, calcula-se a capacidade específica usando a fórmula:

$$C. \text{ esp.} = Q / S \quad (4.0)$$

Onde: C. esp. = capacidade específica

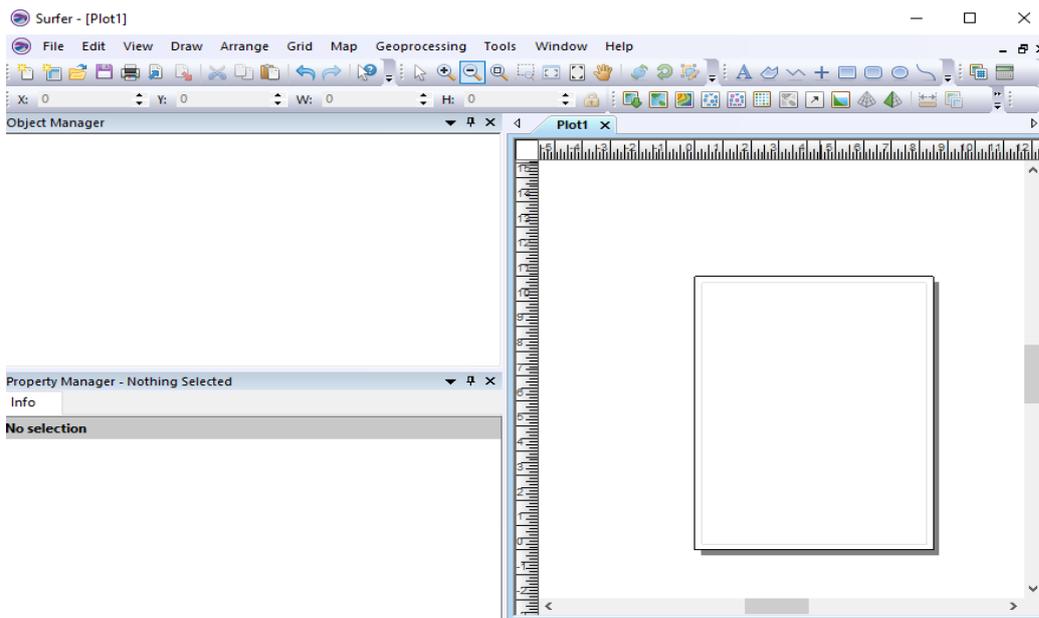
Q = vazão do poço

S = rebaixamento

#### 4.5 Método utilizado para o modelamento hidrogeológico no software *Surfer 13*.

*Surfer 13* é um *software* de análise espacial que permite a modelagem de terrenos, mapeamento de bacias hidrográficas, visualização de paisagens, entre outras funções. Ele é amplamente utilizado em áreas como geologia, topografia, meio ambiente, engenharia ambiental e florestal, sendo especificamente utilizado para análise geográfica, principalmente interpolações (krigagem, IDW etc.) e curvas de nível (Figura 11).

Figura 11 - Interface do *software surfer 13*.



Fonte: O autor (2024).

A partir dos dados adquiridos de carga hidráulica e capacidade específica dos poços foi utilizado o *software Surfer* para fazer as modelagens e confecção dos mapas, através dos seguintes passos:

**Passo 1** - Como criar um *Grid* usando os dados das tabelas (*Excel*) como cotas e capacidade específica. Clicando em *Grid, Data* e depois selecionando a tabela desejada.

**Passo 2** - Criando o mapa de contorno, logo depois do *grid* feito no passo 1: clicando em *New contour map* e selecionando o *grid* pronto;

**Passo 3** - Para obter a elaboração de um arquivo de extensão. *bln* para adicionar ao mapa de contorno e recortar o polígono, tem que importar o *shapefile* do polígono desejado e exportando na extensão *.bln*, observando a escala de saída do polígono para que seja compatível com o mapa de contorno já pronto;

**Passo 4** - Para adicionar ao mapa de contorno o polígono do município seleciona o mapa e clicando em *Map, Add, Base layer* e escolhendo o arquivo desejado;

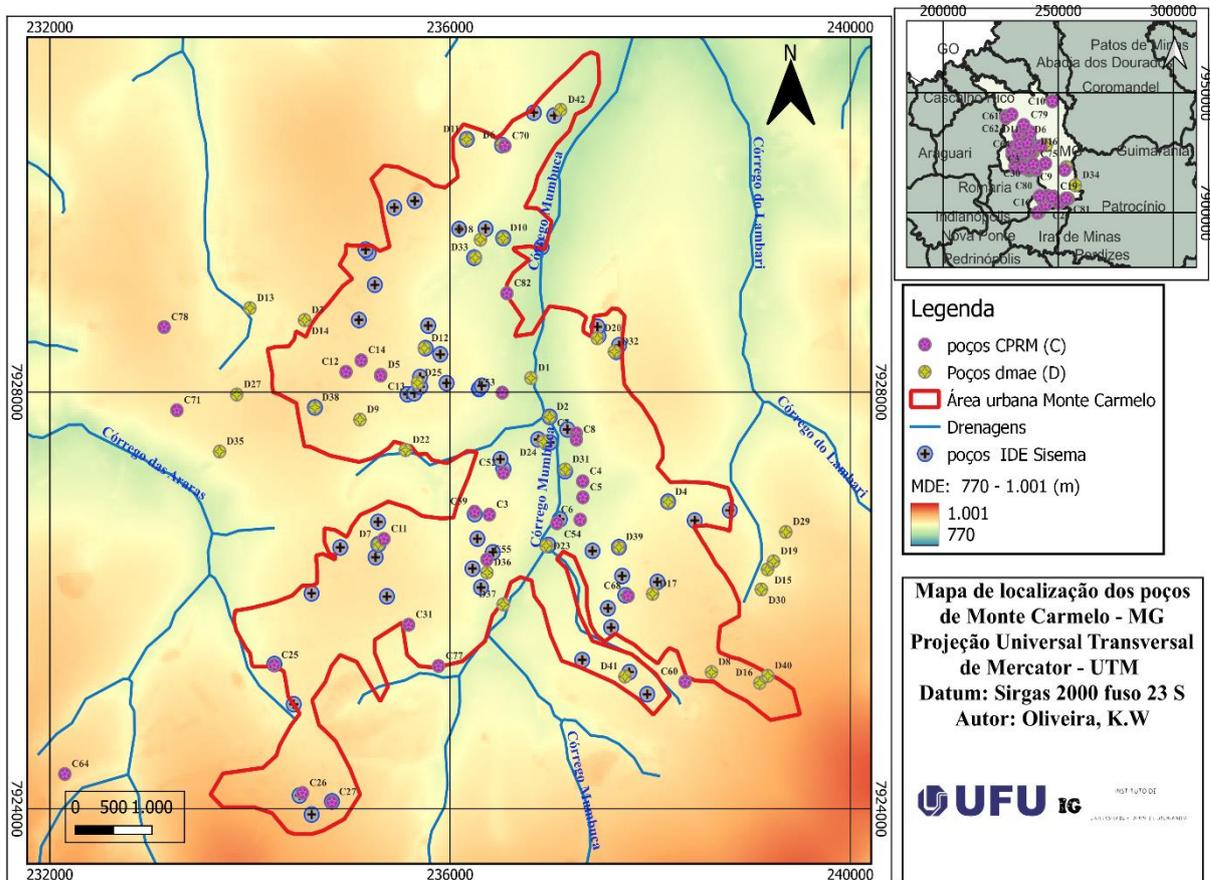
**Passo 5** - Para realizar o recorte do município para que as isolinhas fiquem somente no interior do polígono: clicando em *Blank*, selecionando o *grid* utilizado no mapa de contorno, selecionando o arquivo de extensão. *bln* para recorte e salvando o *grid* de saída (já recortado).

**Passo 6** - E por fim abrir o novo mapa de contorno: clicando em *New Contour Map* e selecionando o *grid* recordado.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A figura 12 mostra a localização dos poços da área urbana de Monte Carmelo, cujos dados foram disponibilizados e coletados pelo DMAE, SISEMA e CPRM. Foi elaborada uma tabela apenas para os dados do DMAE e SISEMA, com os seguintes dados: identificação (ID), coordenadas UTM, cota da boca do poço, nível estático (N.E.), nível dinâmico (N.D.), vazão do poço, rebaixamento, capacidade específica, profundidade do poço e carga hidráulica.

Figura 12- Mapa de localidade dos poços registrados pelo DMAE, SISEMA e CPRM na cidade de Monte Carmelo/MG.



Fonte: O Autor (2024).

A seguir serão apresentados e discutidos os dados disponibilizados pelo DMAE, SISEMA e SIAGAS, respectivamente, assim como as justificativas para a utilização apenas dos dados do DMAE e SISEMA para a elaboração dos mapas potenciométrico e de capacidade específica.

### 5.1 Dados do Departamento Municipal de Água e Esgoto – DMAE de Monte Carmelo

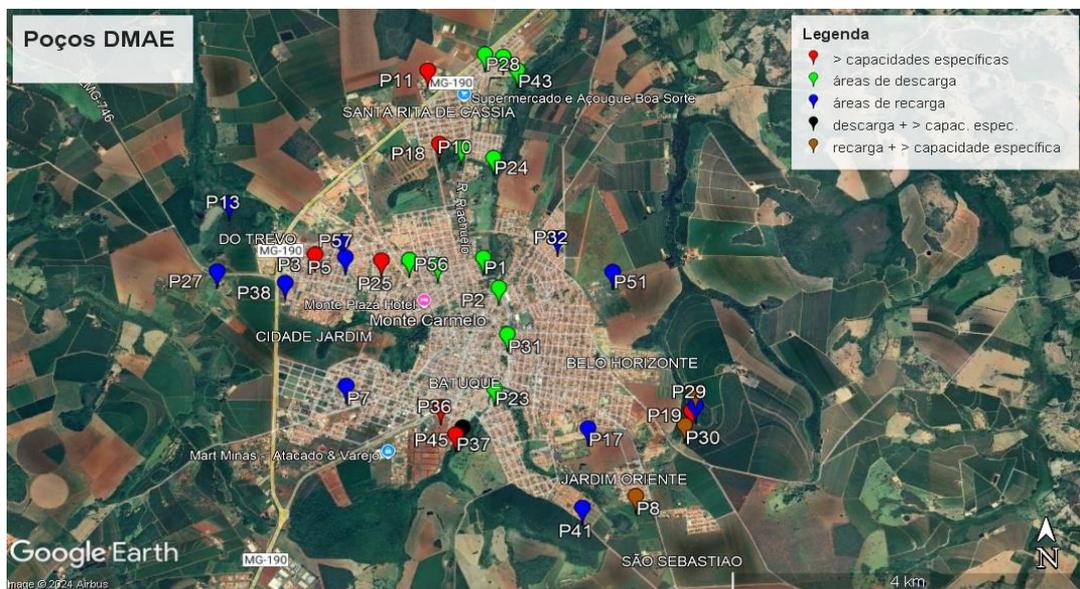
A Tabela 1 apresenta dados de 57 poços cadastrados pelo DMAE e distribuídos na zona urbana de Monte Carmelo/MG, que estão identificados com letra “D” e numerados de D1 a D57.

Os dados do DMAE foram obtidos através de comunicação direta com a diretoria e a seção de engenharia do órgão municipal. Os dados dos poços tubulares até 2016 constavam no “Relatório da Situação dos Poços Profundos do DMAE”, que foi entregue diretamente de forma eletrônica. Até dezembro de 2016, tinham sido perfurados 42 poços tubulares pelo DMAE para fins de abastecimento público e todos foram registrados neste relatório.

Os dados de outros 26 poços, perfurados entre 2017 e 2024, foram obtidos diretamente da base de dados do DMAE, totalizando 68 poços com os dados do relatório de 2016. Porém, destes 26 poços, apenas 15 foram analisados no presente trabalho, devido à ausência de dados básicos dos demais, como nível estático e vazão, entre outros. Portanto, para a elaboração deste estudo, foram analisados dados de 57 poços.

Através poços da tabela, alguns não foram considerados na modelagem e nos gráficos por inexistência de dados como nível estático, nível dinâmico ou vazão, como os poços D9, D14 e D26. Outros não foram incluídos, por estarem localizados fora da área urbana de Monte Carmelo, como os poços D21, D46, D34 e D62.

Figura 13 - Distribuição dos poços do DMAE referente às áreas de descarga e recarga.



Fonte: Google Earth (2024).

Tabela 1 - Dados de poços cadastrados pelo DMAE.

DMAE: TABELA DE DADOS DE POÇOS										
ID	COTA (m)	Coord. UTM X	Coord. UTM Y	ND (m)	NE (m)	Vazao (m <sup>3</sup> /h)	Carga hidráulica (m)	Rebaixamento (m)	Capacidade específica (m <sup>3</sup> /h/m)	Profundidade
D1	859,00	236.808,00	7.928.136,00	66,50	8,00	6,09	851,00	58,50	0,10	70,00
D2	860,00	236.988,00	7.927.772,00	55,10	6,00	25,00	854,00	49,10	0,51	68,00
D3	909,00	234.918,00	7.928.145,00	36,00	28,00	7,50	881,00	8,00	0,94	100,00
D4	894,00	238.173,00	7.926.949,00	23,00	4,00	15,00	890,00	19,00	0,79	80,00
D5	902,00	235.258,00	7.928.117,00	22,00	4,00	8,50	898,00	18,00	0,47	54,00
D6	888,00	236.524,00	7.930.364,00	50,82	14,04	3,32	873,96	36,78	0,09	80,00
D7	904,00	235.288,00	7.926.546,00	44,90	14,70	11,00	889,30	30,20	0,36	70,00
D8	916,00	238.569,00	7.925.249,00	25,00	13,00	11,00	903,00	12,00	0,92	80,00
D9	902,00	235.057,00	7.927.684,00	0,00	0,00	10,00	902,00	0,00	0,00	97,00
D10	868,00	236.541,00	7.929.479,00	60,00	6,80	7,89	861,20	53,20	0,15	108,00
D11	901,00	236.152,00	7.930.419,00	32,05	15,50	14,00	885,50	16,55	0,85	90,00
D12	897,00	235.705,00	7.928.370,00	79,05	11,20	4,00	885,80	67,85	0,06	88,00
D13	894,00	233.943,00	7.928.762,00	73,38	0,00	16,74	894,00	73,38	0,23	84,00
D14	900,00	234.499,00	7.928.644,00	0,00	0,00	12,00	900,00	0,00	0,00	90,00
D15	895,00	239.175,00	7.926.288,00	35,05	13,55	17,50	881,45	21,50	0,81	42,00
D16	906,00	238.323,00	7.925.185,00	40,00	21,10	5,00	884,90	18,90	0,26	85,00

D17	902,00	238.019,00	7.926.064,00	44,00	12,00	4,00	890,00	32,00	0,13	103,00
D18	879,00	236.294,00	7.929.526,00	44,00	0,00	32,50	879,00	44,00	0,74	50,00
D19	893,00	239.225,00	7.926.361,00	69,28	2,36	6,71	890,64	66,92	0,10	100,00
D20	891,00	237.426,00	7.928.466,00	38,05	13,15	4,00	877,85	24,90	0,16	100,00
D21	920,00	253.398,00	7.918.874,00	42,00	8,00	10,85	912,00	34,00	0,32	68,00
D22	883,00	235.548,00	7.927.436,00	83,20	1,09	11,00	881,91	82,11	0,13	102,00
D23	868,00	236.957,00	7.926.531,00	117,45	2,30	8,00	865,70	115,15	0,07	150,00
D24	853,00	236.906,00	7.929.365,00	60,45	3,29	7,00	849,71	57,16	0,12	102,00
D25	903,00	235.663,00	7.928.086,00	29,51	20,30	13,20	882,70	9,21	1,43	120,00
D26	880,00	244.872,00	7.928.154,00	0,00	0,00	2,30	880,00	0,00	0,00	50,00
D27	908,00	233.818,00	7.927.925,00	33,42	9,35	3,43	898,65	24,07	0,14	100,00
D28	884,00	236.790,00	7.930.635,00	85,00	18,50	4,00	865,50	66,50	0,06	250,00
D29	895,00	239.223,00	7.926.519,00	33,08	2,97	35,50	892,03	30,11	1,18	55,00
D30	899,00	239.106,00	7.926.119,00	36,00	9,00	30,00	890,00	27,00	1,11	105,00
D31	864,00	237.093,00	7.927.200,00	37,19	0,00	17,00	864,00	37,19	0,46	50,00
D32	900,00	237.644,00	7.928.385,00	62,00	5,00	4,00	895,00	57,00	0,07	140,00
D33	875,00	236.251,00	7.929.288,00	42,57	6,33	16,50	868,67	36,24	0,46	103,00
D34	958,00	255.285,00	7.913.159,00	13,00	8,00	1,65	950,00	5,00	0,33	
D35	899,00	233.699,00	7.927.460,00	53,65	29,10	0,00	869,90	24,55	0,00	102,00

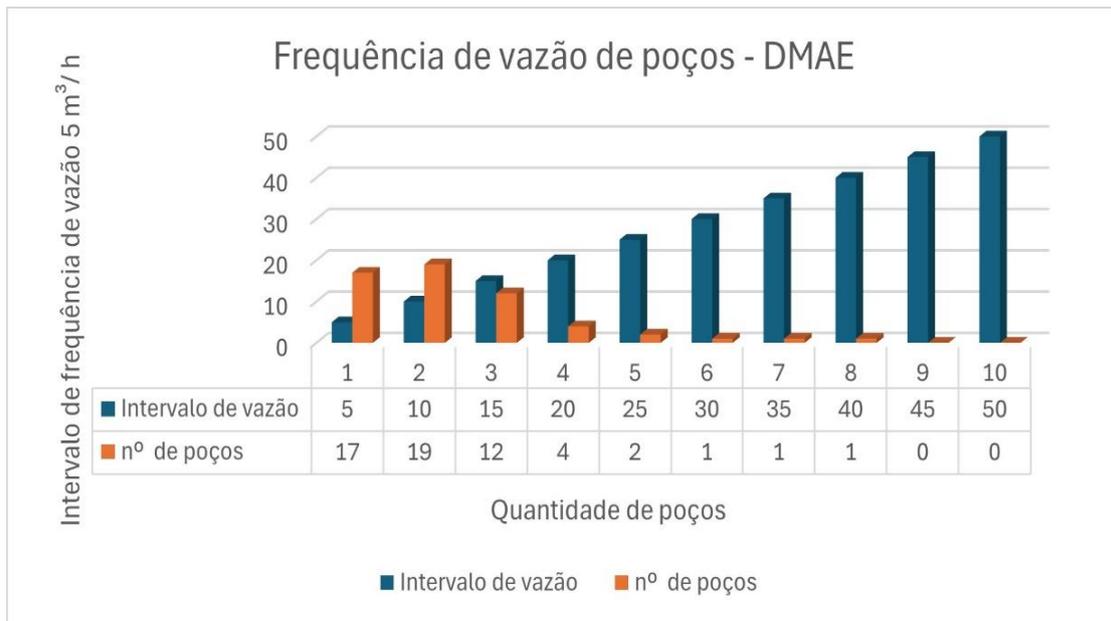
D36	890,00	236.356,00	7.926.294,00	20,00	15,00	7,50	875,00	5,00	1,50	120,00
D37	870,00	236.528,00	7.925.966,00	10,00	4,00	14,00	866,00	6,00	2,33	60,00
D38	910,00	234.585,00	7.927.795,00	67,80	16,10	8,00	893,90	51,70	0,15	144,00
D39	891,00	237.677,00	7.926.518,00	54,12	11,40	6,00	879,60	42,72	0,14	80,00
D40	896,00	237.743,00	7.925.269,00	57,00	10,00	6,22	886,00	47,00	0,13	40,00
D41	902,00	237.969,00	7.925.092,00	71,00	10,00	0,00	892,00	61,00	0,00	100,00
D42	870,00	236.997,00	7.930.606,00	120,00	14,44	4,00	855,56	105,56	0,04	150,00
D43	851,00	237.160,00	7.930.444,00	87,10	8,40	4,00	842,60	78,70	0,05	0,00
D44	898,00	238.392,00	7.926.716,00	54,84	15,00	6,75	883,00	39,84	0,17	84,00
D45	869,00	236.605,00	7.926.049,00	17,44	9,20	9,50	859,80	8,24	1,15	80,00
D46	870,00	246.736,00	7.931.971,00	28,00	18,00	5,00	852,00	10,00	0,50	48,00
D47	892,00	237.616,00	7.925.733,00	46,00	12,00	10,35	880,00	34,00	0,30	100,00
D48	891,00	237.326,00	7.925.430,00	39,50	8,00	3,00	883,00	31,50	0,10	120,00
D49	882,00	235.860,00	7.925.376,00	15,00	8,00	24,50	874,00	7,00	3,50	67,00
D50	888,00	237.129,00	7.925.432,00	37,00	8,00	6,00	880,00	29,00	0,21	70,00
D51	905,00	238.309,00	7.928.032,00	110,47	16,10	4,79	888,90	94,37	0,05	124,00
D52	891,00	236.061,00	7.929.532,00	96,00	17,00	9,63	874,00	79,00	0,12	108,00
D53	896,00	235.977,00	6.842.394,00	84,00	56,00	15,00	840,00	28,00	0,54	100,00
D54	893,00	238.773,00	7.926.842,00	27,12	9,85	9,00	883,15	17,27	0,52	72,00

D55	893,00	235.760,00	7.928.626,00	60,00	12,00	6,70	881,00	48,00	0,14	110,00
D56	886,00	236.301,00	7.928.030,00	108,00	30,00	6,00	856,00	78,00	0,08	120,00
D57	905,00	235.228,00	7.928.297,00	76,00	15,00	12,18	890,00	61,00	0,20	120,00

Fonte: DMAE (2024)

Dos poços do DMAE analisados, 48 poços (84%) apresentam vazões menores que 15 m<sup>3</sup>/h, sendo 15 deles com vazões menores que 5 m<sup>3</sup>/h (Figura 14). A vazão média de todos os poços analisados é 9,90 m<sup>3</sup>/h.

Figura 14 - Frequência de valores de vazão dos poços da área urbana de Monte Carmelo – MG dados do DMAE.



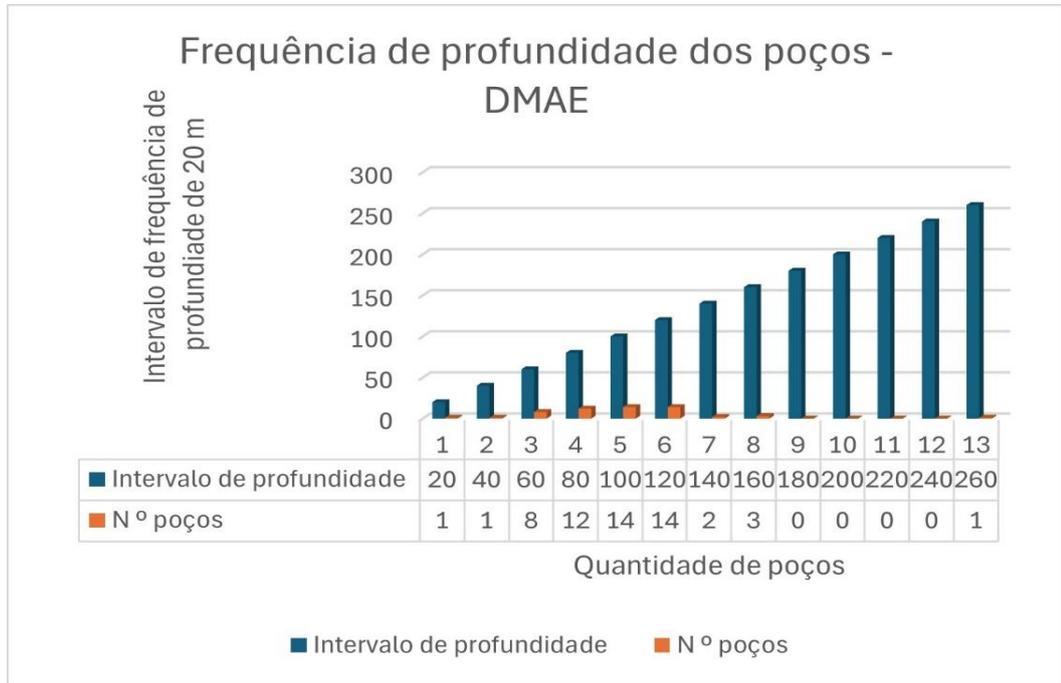
Fonte: O autor (2024).

Dos poços analisados, 40 deles tem profundidades entre 60 e 120 metros (Figura 15) e apresentam vazão média de 9,43 m<sup>3</sup>/h. O poço mais raso (D40) tem 40 metros de profundidade e vazão de 6,22 m<sup>3</sup>/h. Os poços mais profundos, D42 e D28 com 150 e 250 metros respectivamente, tem ambos vazão de 4,00 m<sup>3</sup>/h.

É importante reiterar que as vazões dos poços dependem, além das características intrínsecas dos aquíferos (parâmetros hidrogeológicos como porosidade, litologia, transmissividade e armazenamento; geometria; condições de contorno; etc) também dependem dos parâmetros construtivos de projeto, como profundidade do poço, diâmetro da perfuração, aplicação da coluna de revestimento, completação, limpeza e desenvolvimento dos poços.

Com os dados disponíveis de perfis litológicos e construtivos, não foi possível relacionar os dados de profundidade e vazão mencionados acima. É de se esperar que os valores de profundidade dos poços sejam definidos por razões contratuais e econômicas.

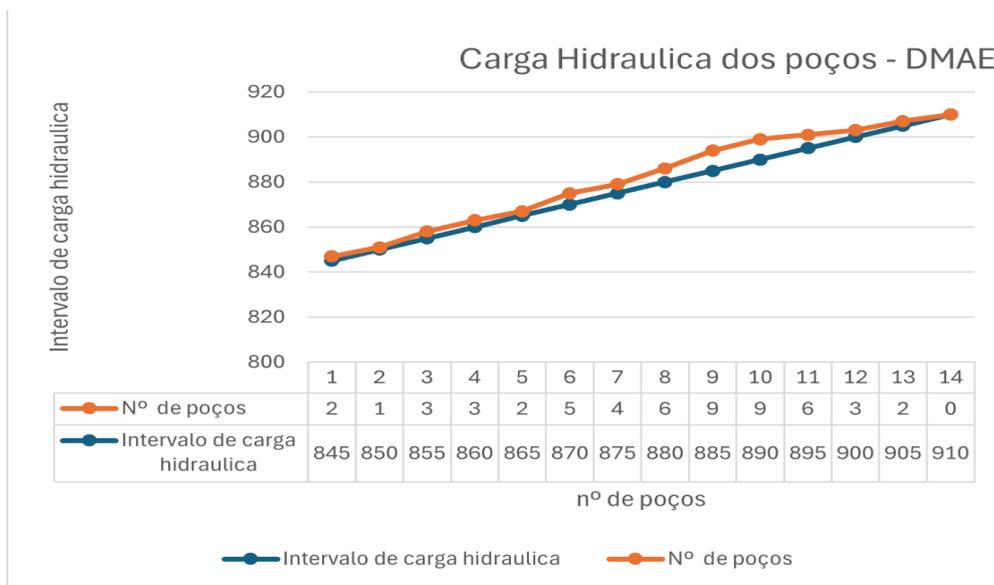
Figura 15 - Frequência de valores de profundidade dos poços da área urbana de Monte Carmelo – MG dados do DMAE.



Fonte: O autor (2024).

Em relação à carga hidráulica, os poços analisados apresentam valores entre 842,60 e 910,00 metros (Figura 16).

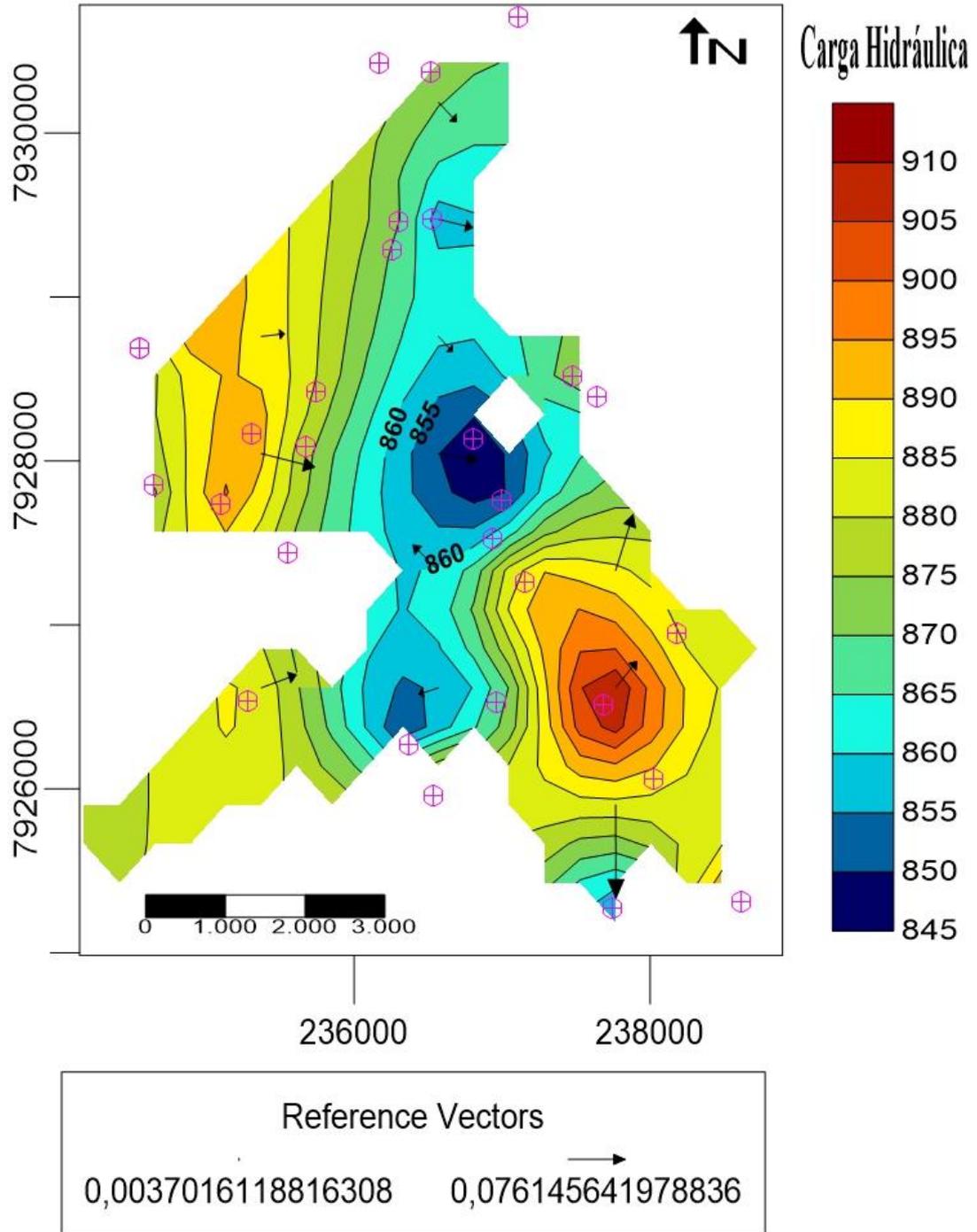
Figura 16 - Frequência de carga hidráulica dos poços da área urbana de Monte Carmelo – MG Dados do DMAE.



Fonte: O autor (2024).

A partir dos dados da carga hidráulica, foi gerado o mapa potenciométrico (Figura 17); é importante observar que não foram incluídos no mapa os poços localizados fora da área urbana de Monte Carmelo.

Figura 17 - Mapa potenciométrico feito com os dados do DMAE da área urbana de Monte Carmelo- MG.



Fonte: O autor (2024).

Para a interpretação do mapa potenciométrico, os poços foram divididos em 3 zonas, a saber:

- Zona 1: poços com cargas hidráulicas acima de 890,00 m;
- Zona 2: poços com cargas hidráulicas entre 890,00 m e 865,00 m;
- Zona 3: poços com carga hidráulica menores que 865,00 m.

Os poços da **Zona 1**, com os maiores valores de carga hidráulica, se localizam na região NW e SE da zona urbana de Monte Carmelo e definem estas áreas como os divisores das águas subterrâneas e áreas de recarga do aquífero.

- Região NW de Monte Carmelo:

Os poços D5 e D57 localizam-na na porção NW, no bairro Catulina, onde as cotas de boca dos poços são 902,00 m e 905,00 m, respectivamente, nas porções de cotas mais elevadas do município, com cargas hidráulicas de 898,00 m e 890,00 m respectivamente. Esta é uma das áreas de recarga do aquífero.

- Região SE de Monte Carmelo:

Na região SE, os poços D8, D15, D17, D19, D29, D30, D32 e D41 localizam-se no Alto da Vila Nova e Bairro Oriente. Os poços D15, D19, D29 e D30 estão situados sobre a nascente do Córrego Lambari, considerada área de recarga do aquífero. Os poços D29 e D30 tem vazões de 35,5 m<sup>3</sup>/h e 30,0 m<sup>3</sup>/h, respectivamente, vazões consideradas altas para os poços operados pelo DMAE.

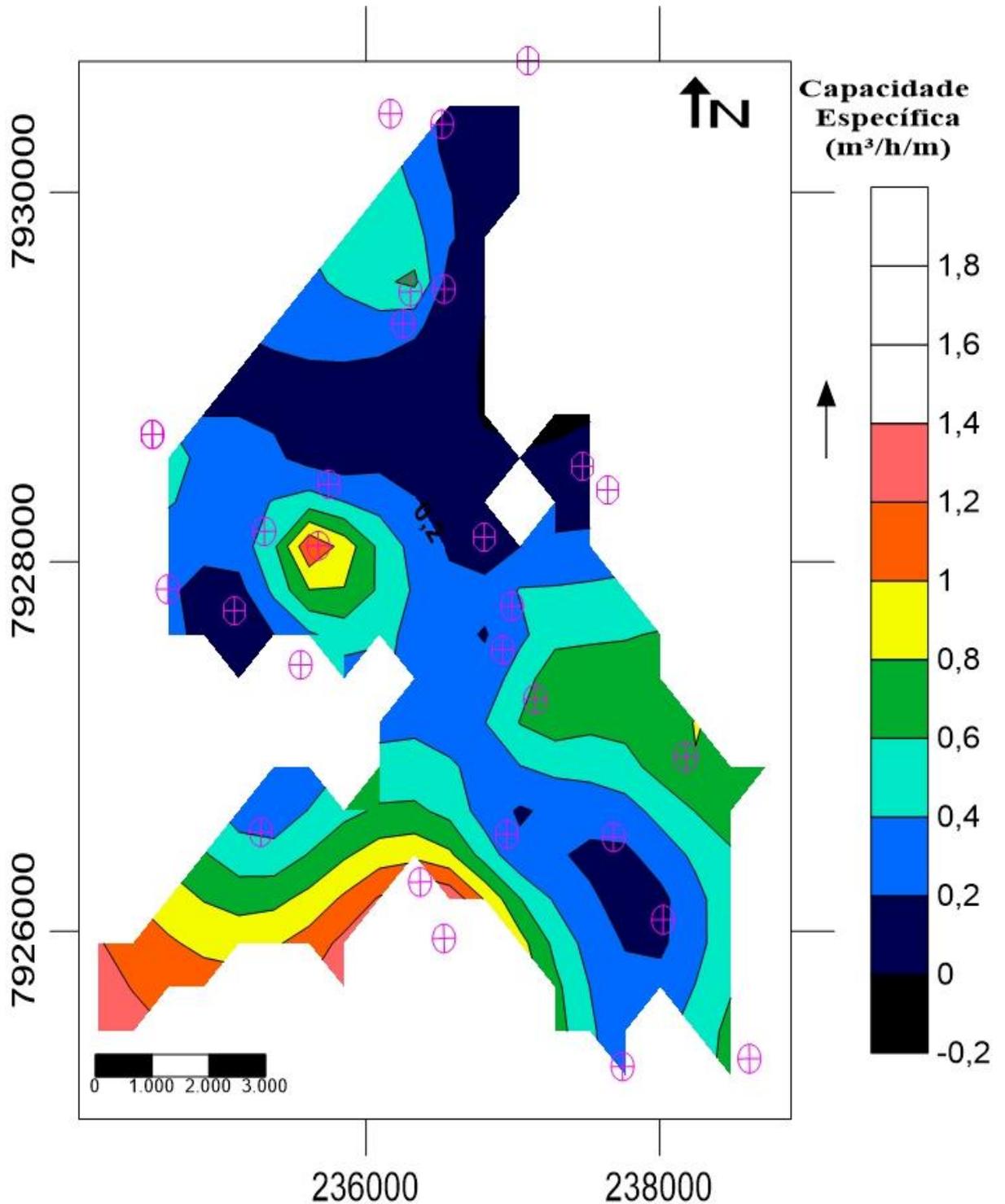
A variação da superfície freática acompanha a variação topográfica; este é o comportamento esperado para aquíferos livres.

Os poços da **Zona 2** se encontram entre as áreas de recarga e descarga do aquífero.

Os poços da **Zona 3**, com cargas hidráulicas menores que 865,00 m, situam-se nas áreas contíguas ao Córrego Mumbuca, definindo estas como a área de descarga principal da zona urbana de Monte Carmelo. Na região de jusante, ao Norte do município (D28, D42, D10, D24), as cotas topográficas variam de 884,00 a 860,00 m e as cargas hidráulicas entre 865,00 e 851,00 m.

O mapa de capacidade específica indica os poços com maiores rendimentos, ou seja, aqueles que tem boas vazões com os menores rebaixamentos (Figura 18). Este parâmetro reflete tanto as características locais do aquífero, quanto os aspectos construtivos do poço.

Figura 18 - Mapa de capacidade específica ( $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ ) dos poços do DMAE na área urbana de Monte Carmelo - MG



Fonte: O autor (2024).

O valor médio de capacidade específica dos poços analisados é de  $0,48 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$  (figura 19) e vazão média de  $9,90 \text{ m}^3/\text{h}$ . De acordo com os mapas hidrogeológicos de pequena escala

disponíveis para aquíferos brasileiros, esperam-se valores de capacidade específica entre 1 e 5 m<sup>3</sup>/h/m para aquíferos fraturados com espessos mantos de alteração (Feitosa, 2008).

Os poços com capacidades específicas maiores que 1 m<sup>3</sup>/h/m na área urbana são D25, D36, D37 e D45 e tem vazão média de 11,05 m<sup>3</sup>/h.

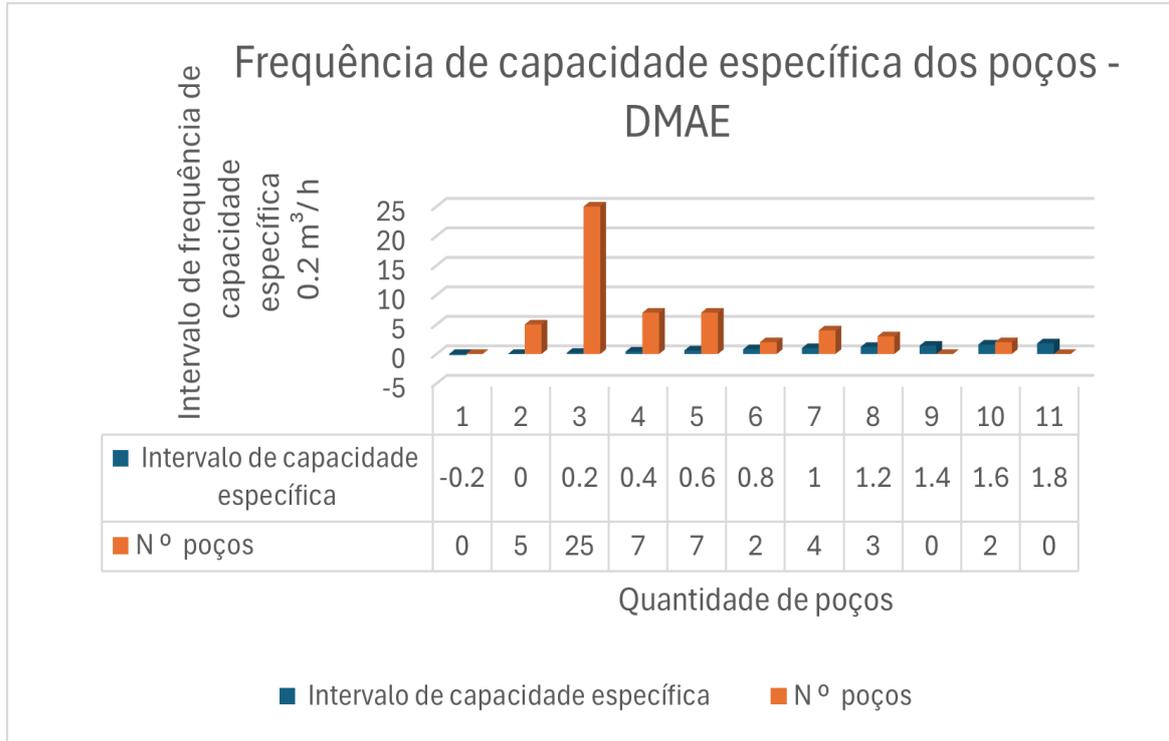
O poço D25 está localizado no Condomínio Gomes Aguiar, no bairro Boa Vista e os outros no Bairro Batuque Novo. O poço D36 está na Estação de Tratamento Mumbuca, o D45 na Captação Mumbuca II e o D37, com o maior valor de (2,33 m<sup>3</sup>/h/m) está localizado na Captação Mumbuca I. Estes poços do Bairro Batuque Novo requerem o monitoramento constante das variações do nível estático, nível dinâmica e vazão, pois estão localizados muito próximos das áreas de descarga do aquífero.

Os poços com maiores vazões na área central da cidade são D18 e D30, com vazão média de 31,25 m<sup>3</sup>/h e capacidade específica média de 0,92 m<sup>3</sup>/h/m.

Em função da ausência de dados dos perfis litológicos dos poços, não foi possível relacionar a capacidade específica destes com a qualidade dos aquíferos, ou seja, não foi possível identificar quais poços foram perfurados nas rochas graníticas do Complexo Monte Carmelo e quais poços foram perfurados nas rochas metamórficas do Grupo Araxá.

Em relação às informações construtivas dos poços, de modo geral, os dados demonstram algumas incoerências relativas às especificações preconizadas na NBR 12.244/1992 – Construção de Poço para Captação de Água Subterrânea, como por exemplo a colocação de filtros e cimentação nas mesmas profundidades, alterações do nível dinâmico ao longo do tempo, entre outras.

Figura 19 - Frequência de capacidade específica dos poços da área urbana de Monte Carmelo – MG dados do DMAE.



Fonte: O autor (2024).

## 5.2 Dados do Sistema Estadual de Meio Ambiente – SISEMA

Espera-se que todos os poços cadastrados no DMAE façam parte da base de dados do SISEMA, porém os poços de ambos os bancos de dados não foram analisados individualmente. De acordo com a Figura 12 – Mapa de localização dos poços cadastrados no DMAE, SISEMA e CPRM na área urbana de Monte Carmelo/MG, foi possível observar que a maioria dos 57 poços do DMAE coincidem ou estão muito próximos dos 70 poços do SISEMA; isto pode ter ocorrido devido a um pequeno deslocamento durante a coleta das coordenadas.

Na tabela 2 utilizou-se a letra “S” para identificar os poços do SISEMA, totalizando 70 poços. Na coluna de ND nota-se que os poços S41, S44 e S54 estão com o valor zero, portanto não foram analisados.

Tabela 2 - Dados de poços cadastrados pelo SISEMA.

<b>SISEMA: DADOS DE POÇOS</b>										
<b>ID</b>	<b>Coord UTM (X)</b>	<b>Coord UTM (y)</b>	<b>Cota (m)</b>	<b>NE (m)</b>	<b>ND (m)</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Carga hidráulica (m)</b>	<b>Rebaixamento (m)</b>	<b>Capacidade específica (m<sup>3</sup>/h/m)</b>	<b>Profpoço (m)</b>
S1	234.615,66	7.923.944,22	923,00	6,00	43,00	10,80	917,00	37,00	0,29	60,00
S2	234.818,97	7.924.070,14	917,00	13,40	25,10	11,62	903,60	11,70	0,99	110,00
S3	234.495,86	7.924.127,15	918,00	11,15	120,50	2,78	906,85	109,35	0,03	132,00
S4	234.436,54	7.925.003,10	894,00	7,90	73,95	5,88	886,10	66,05	0,09	88,00
S5	237.969,68	7.925.098,83	898,00	15,00	39,50	20,00	883,00	24,50	0,82	100,00
S6	237.790,93	7.925.311,75	893,00	3,45	27,82	10,00	889,55	24,37	0,41	34,00
S7	237.320,32	7.925.428,22	886,00	8,00	39,50	10,61	878,00	31,50	0,34	120,00
S8	234.243,52	7.925.388,00	896,00	11,20	48,50	8,50	884,80	37,30	0,23	66,00
S9	237.609,07	7.925.739,91	888,00	11,13	32,26	7,20	876,87	21,13	0,34	100,00
S10	237.577,18	7.925.924,01	887,00	8,00	50,00	2,40	879,00	42,00	0,06	53,00
S11	237.751,30	7.926.049,45	892,00	13,76	54,80	4,00	878,24	41,04	0,10	100,00
S12	235.368,61	7.926.037,63	902,00	17,00	37,00	6,40	885,00	20,00	0,32	60,00
S13	234.614,99	7.926.067,00	908,00	48,79	83,60	2,00	859,21	34,81	0,06	150,00
S14	236.308,22	7.926.124,68	884,00	12,00	60,00	8,00	872,00	48,00	0,17	132,00
S15	238.071,86	7.926.177,08	900,00	10,56	20,87	1,62	889,44	10,31	0,16	27,00

S16	237.719,40	7.926.233,63	890,00	14,86	45,13	4,20	875,14	30,27	0,14	80,00
S17	236.223,59	7.926.304,95	887,00	8,50	14,20	2,10	878,50	5,70	0,37	18,00
S18	235.254,90	7.926.414,48	902,00	18,80	68,00	1,00	883,20	49,20	0,02	72,00
S19	236.426,62	7.926.461,63	889,00	9,30	17,30	4,80	879,70	8,00	0,60	76,00
S20	237.422,91	7.926.475,57	876,00	12,94	68,15	3,60	863,06	55,21	0,07	80,00
S21	237.686,21	7.926.510,04	887,00	11,14	54,11	6,65	875,86	42,97	0,15	100,00
S22	236.982,56	7.926.530,99	860,00	2,30	117,45	13,67	857,70	115,15	0,12	150,00
S23	234.901,82	7.926.507,90	900,00	17,00	37,00	3,20	883,00	20,00	0,16	60,00
S24	235.282,39	7.926.537,91	900,00	14,70	44,90	11,31	885,30	30,20	0,37	70,00
S25	236.272,36	7.926.591,79	891,00	12,26	34,27	3,84	878,74	22,01	0,17	50,00
S26	238.444,66	7.926.766,69	893,00	10,52	54,87	8,00	882,48	44,35	0,18	84,00
S27	235.279,35	7.926.753,17	898,00	20,00	50,00	5,00	878,00	30,00	0,17	68,00
S28	237.096,32	7.926.778,67	860,00	3,10	37,41	6,92	856,90	34,31	0,20	60,00
S29	236.245,58	7.926.828,33	887,00	9,76	59,14	1,80	877,24	49,38	0,04	120,00
S30	238.795,10	7.926.863,93	889,00	9,85	27,12	90,00	879,15	17,27	5,21	72,00
S31	238.178,35	7.926.947,60	888,00	4,40	23,20	16,30	883,60	18,80	0,87	80,00
S32	237.148,42	7.927.240,89	861,00	19,05	36,47	30,05	841,95	17,42	1,73	50,00
S33	236.532,61	7.927.263,06	877,00	10,20	27,90	5,22	866,80	17,70	0,29	100,00
S34	236.501,99	7.927.354,89	874,00	5,10	71,44	3,60	868,90	66,34	0,05	90,00

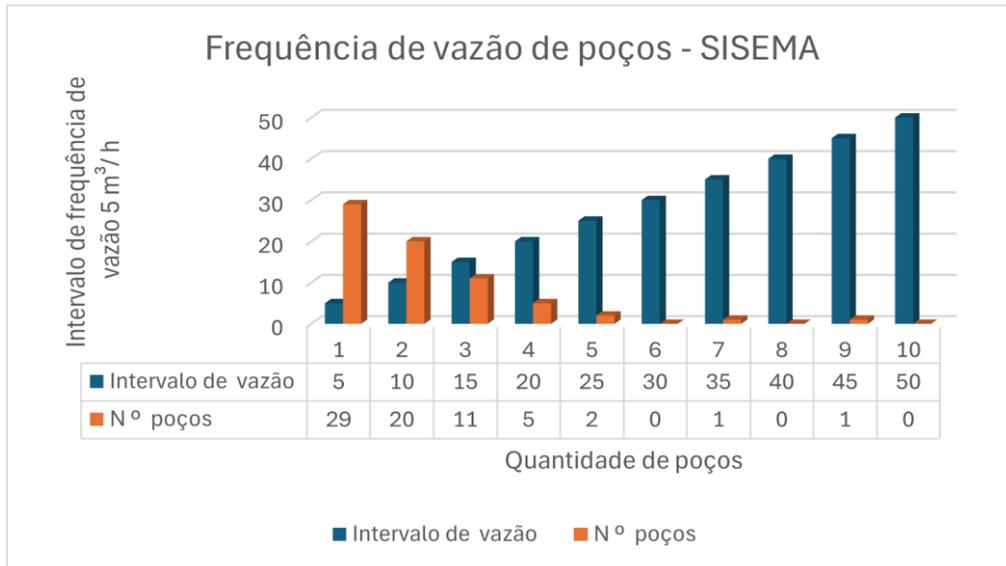
S35	236.968,79	7.927.515,26	863,00	6,88	9,53	4,44	856,12	2,65	1,68	0,00
S36	236.998,01	7.927.515,67	861,00	11,10	31,85	20,50	849,90	20,75	0,99	68,00
S37	236.880,37	7.927.544,81	866,00	9,00	50,00	3,60	857,00	41,00	0,09	80,00
S38	237.172,16	7.927.641,14	862,00	6,00	38,00	10,00	856,00	32,00	0,31	42,00
S39	236.994,57	7.927.761,70	853,00	6,00	55,10	21,40	847,00	49,10	0,44	68,00
S40	234.648,36	7.927.851,79	906,00	16,10	67,80	12,00	889,90	51,70	0,23	144,00
S41	235.572,87	7.927.978,67	893,00	0,00	0,00	4,00	893,00	0,00	0,00	0,00
S42	235.643,11	7.927.988,85	894,00	15,85	37,85	4,00	878,15	22,00	0,18	78,00
S43	236.287,41	7.928.028,68	882,00	11,34	63,43	10,50	870,66	52,09	0,20	120,00
S44	236.295,22	7.928.036,43	882,00	0,00	0,00	10,50	882,00	0,00	0,00	0,00
S45	235.700,80	7.928.051,23	894,00	12,00	50,00	3,00	882,00	38,00	0,08	60,00
S46	236.316,21	7.928.059,87	882,00	15,00	76,00	8,30	867,00	61,00	0,14	120,00
S47	235.964,13	7.928.085,72	891,00	56,00	84,00	15,20	835,00	28,00	0,54	100,00
S48	235.699,51	7.928.143,47	894,00	20,30	29,51	13,20	873,70	9,21	1,43	120,00
S49	235.901,69	7.928.361,72	892,00	8,42	15,79	0,00	883,58	7,37	0,00	22,00
S50	237.660,04	7.928.386,32	896,00	8,00	69,00	3,68	888,00	61,00	0,06	140,00
S51	235.754,28	7.928.421,12	891,00	18,33	82,45	5,00	872,67	64,12	0,08	88,00
S52	237.688,51	7.928.448,19	896,00	35,14	63,46	3,60	860,86	28,32	0,13	140,00
S53	237.482,12	7.928.537,56	889,00	13,15	38,05	7,13	875,85	24,90	0,29	84,00

S54	237.472,01	7.928.626,68	891,00	0,00	0,00	3,00	891,00	0,00	0,00	0,00
S55	235.780,48	7.928.636,90	888,00	12,00	60,00	10,00	876,00	48,00	0,21	110,00
S56	235.087,96	7.928.691,72	908,00	26,10	40,72	10,86	881,90	14,62	0,74	86,00
S57	235.247,32	7.929.029,33	905,00	15,90	39,40	13,89	889,10	23,50	0,59	102,00
S58	236.240,41	7.929.289,36	871,00	6,33	89,68	19,32	864,67	83,35	0,23	103,00
S59	235.184,43	7.929.336,00	909,00	17,00	96,00	4,40	892,00	79,00	0,06	120,00
S60	235.154,67	7.929.366,37	910,00	13,77	53,15	6,12	896,23	39,38	0,16	90,00
S61	236.913,22	7.929.391,03	847,00	3,29	60,45	4,65	843,71	57,16	0,08	102,00
S62	236.530,93	7.929.478,05	862,00	6,80	60,00	7,54	855,20	53,20	0,14	108,00
S63	236.089,97	7.929.564,13	888,00	17,00	96,00	9,63	871,00	79,00	0,12	108,00
S64	236.353,75	7.929.567,82	872,00	1,00	33,00	44,00	871,00	32,00	1,38	50,00
S65	235.442,16	7.929.770,33	909,00	9,82	15,36	1,30	899,18	5,54	0,23	23,00
S66	235.646,41	7.929.834,78	904,00	8,00	24,70	6,44	896,00	16,70	0,39	89,00
S67	236.518,45	7.930.369,96	886,00	14,04	50,82	5,65	871,96	36,78	0,15	80,00
S68	236.165,80	7.930.426,60	894,00	15,50	32,05	15,23	878,50	16,55	0,92	90,00
S69	237.042,17	7.930.654,16	865,00	14,44	71,84	5,00	850,56	57,40	0,09	150,00
S70	236.836,51	7.930.682,07	877,00	18,50	100,00	5,14	858,50	81,50	0,06	250,00

Fonte: SISEMA (2024)

Em relação à vazão (Figura 20), 31 poços têm valores entre 5 e 15 m<sup>3</sup>/h e 29 poços tem vazões menores que 5 m<sup>3</sup>/h, indicando a vazão média de 9,50 m<sup>3</sup>/h. Apenas quatro poços estão acima de 25,0 m<sup>3</sup>/h. Os poços do DMAE apresentaram vazão média de 9,90 m<sup>3</sup>/h.

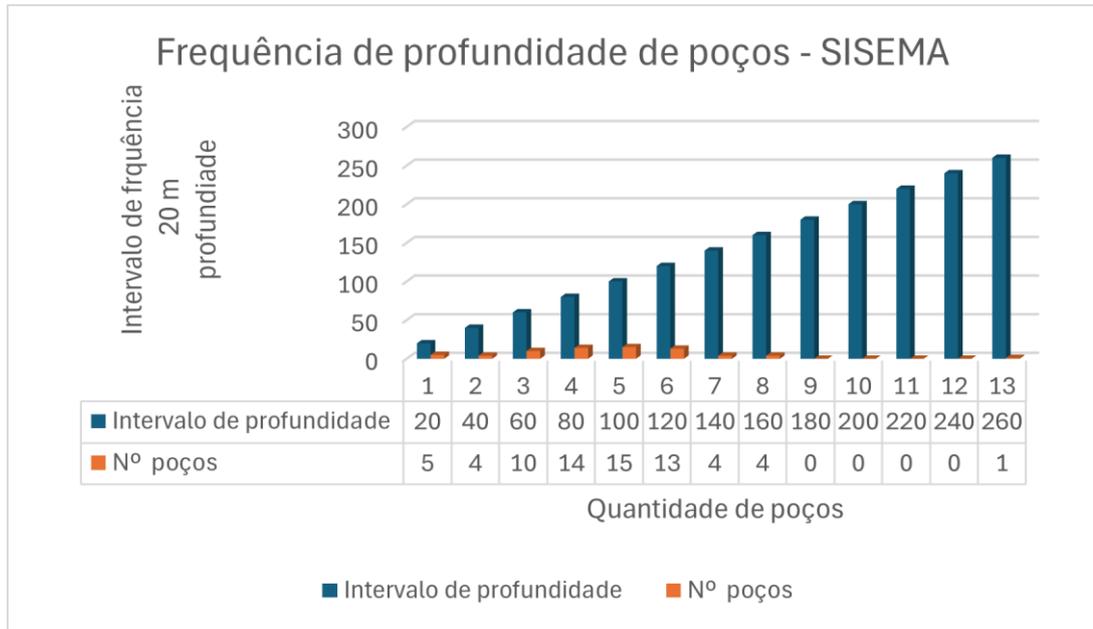
Figura 20 - Frequência de vazão dos poços da área urbana de Monte Carmelo – MG dados do SISEMA.



Fonte: O autor (2024).

No gráfico de profundidade dos poços do SISEMA (Figura 21), assim como os dados do DMAE, a ausência de dados de perfis litológicos e construtivos não permite relacionar os dados de profundidade e vazão mencionados. Pode-se observar que apenas 9 poços têm profundidades entre 140,00 e 260,00 m e 19 poços tem profundidades menores que 60,00 m.

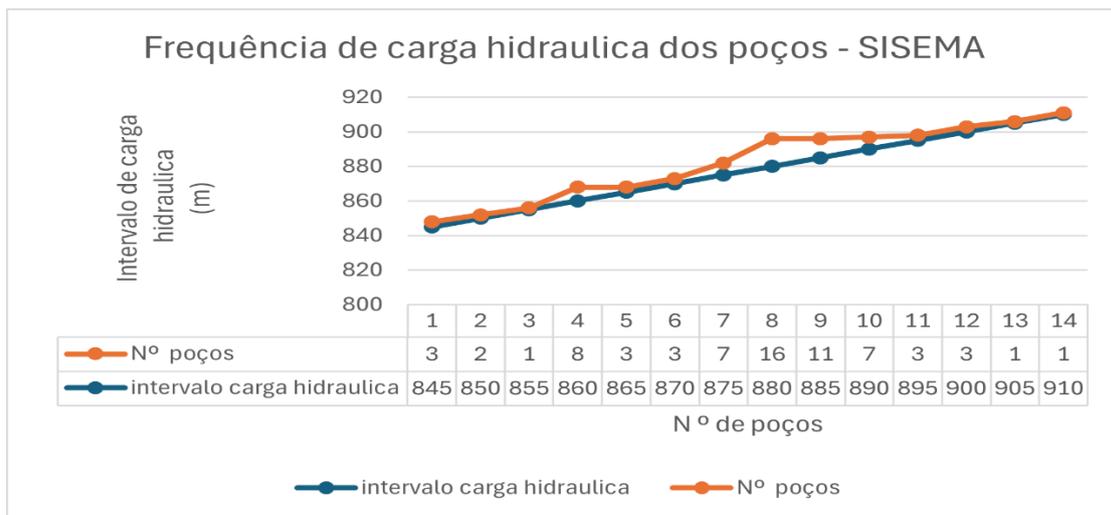
Figura 21 - Frequência de profundidade dos poços da área urbana de Monte Carmelo – SISEMA.



Fonte: O autor (2024).

Observando o gráfico da Figura 22 e fazendo uma análise comparativa, a linha azul de carga hidráulica está similar à do gráfico do DMAE; já na linha de número de poços existe uma discrepância, pois o SISEMA tem maior número de poços cadastrados em relação ao DMAE registrados.

Figura 22 - Frequência de carga hidráulica dos poços da área urbana de Monte Carmelo – Dados do SISEMA.



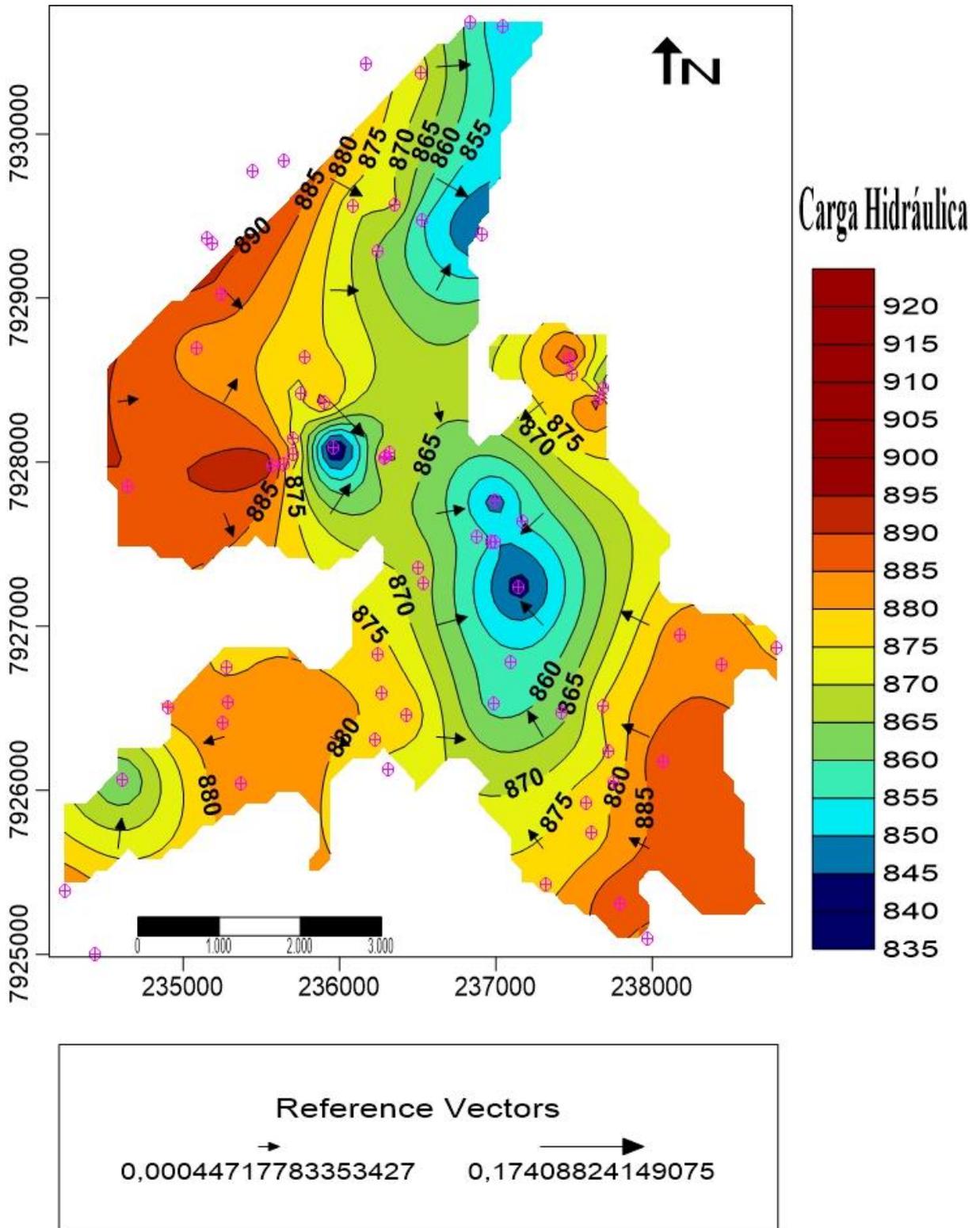
Fonte: O autor (2024).

O mapa potenciométrico (Figura 23) é útil para definir o sentido do fluxo da água subterrânea e da circulação hídrica subterrânea, sendo de fundamental importância na gestão integrada dos recursos hídricos.

Utilizou-se a mesma divisão de zonas proposta para os dados do DMAE. A Zona 1, de poços com cargas hidráulicas maiores que 890,00 estão nas áreas mais elevadas da zona urbana. A maioria dos poços estão concentrados na zona 2, na faixa entre 890,00 m e 865,00 m, a noroeste e sudeste do mapa. Esses poços localizam-se nos bairros Catulina, Boa vista e Vila Nova. Os poços com menores cargas hidráulicas, entre 865,00 m e 835,00 m estão na zona de descarga próximo ao córrego Mumbuca.

Nota-se que na porção sudoeste existem alguns poços localizados no bairro Jardim Zeni que apresentam mudança na direção de fluxo. Estes estão próximos de outro córrego (Córrego Araras), que se constitui na área de descarga local do aquífero. Não foi possível identificar esta outra área de descarga com os dados do DMAE, pois estes poços não estavam cadastrados naquela base de dados.

Figura 23 - Mapa potenciométrico com os dados do SISEMA da área urbana de Monte Carmelo- MG.

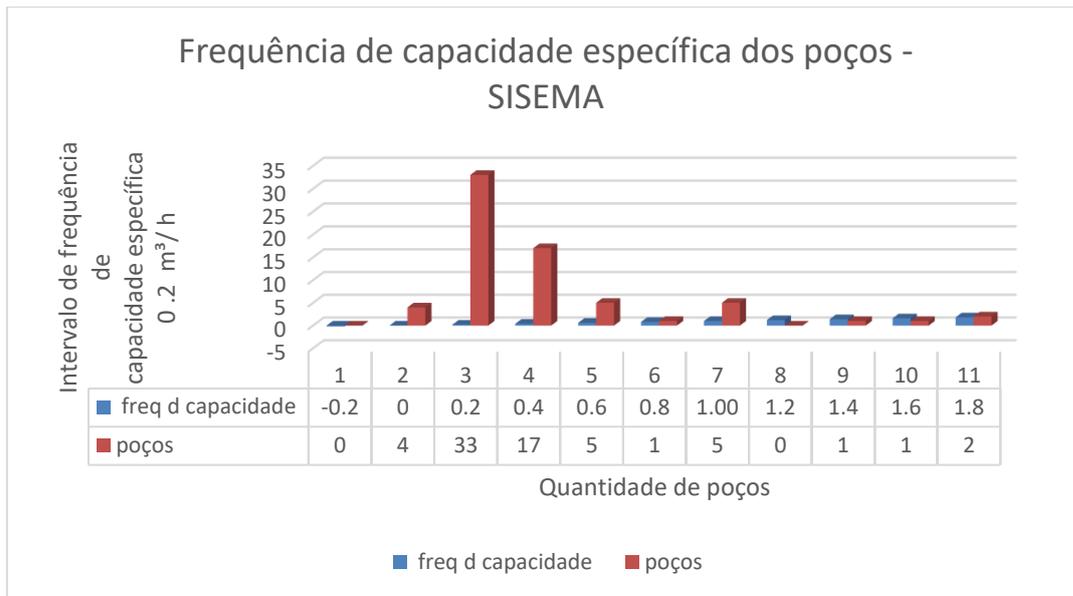


Fonte: O autor (2024).

Em relação à frequência de capacidade específica dos poços (Figura 24), a tabela foi feita com intervalos de  $0,2 \text{ m}^3/\text{h}$ , similar à do DMAE e comprovada a similaridade entre eles.

Apenas 4 poços apresentam capacidade específica maiores que  $1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ , sendo que 50 poços têm capacidade específica menor que  $0,4 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ , dos 70 analisados. Conforme citado acima, estes valores são considerados baixos, mesmo para aquíferos do tipo fraturados.

Figura 24 - Frequência da capacidade específica dos poços na área urbana de Monte Carmelo – MG dados de SISEMA.



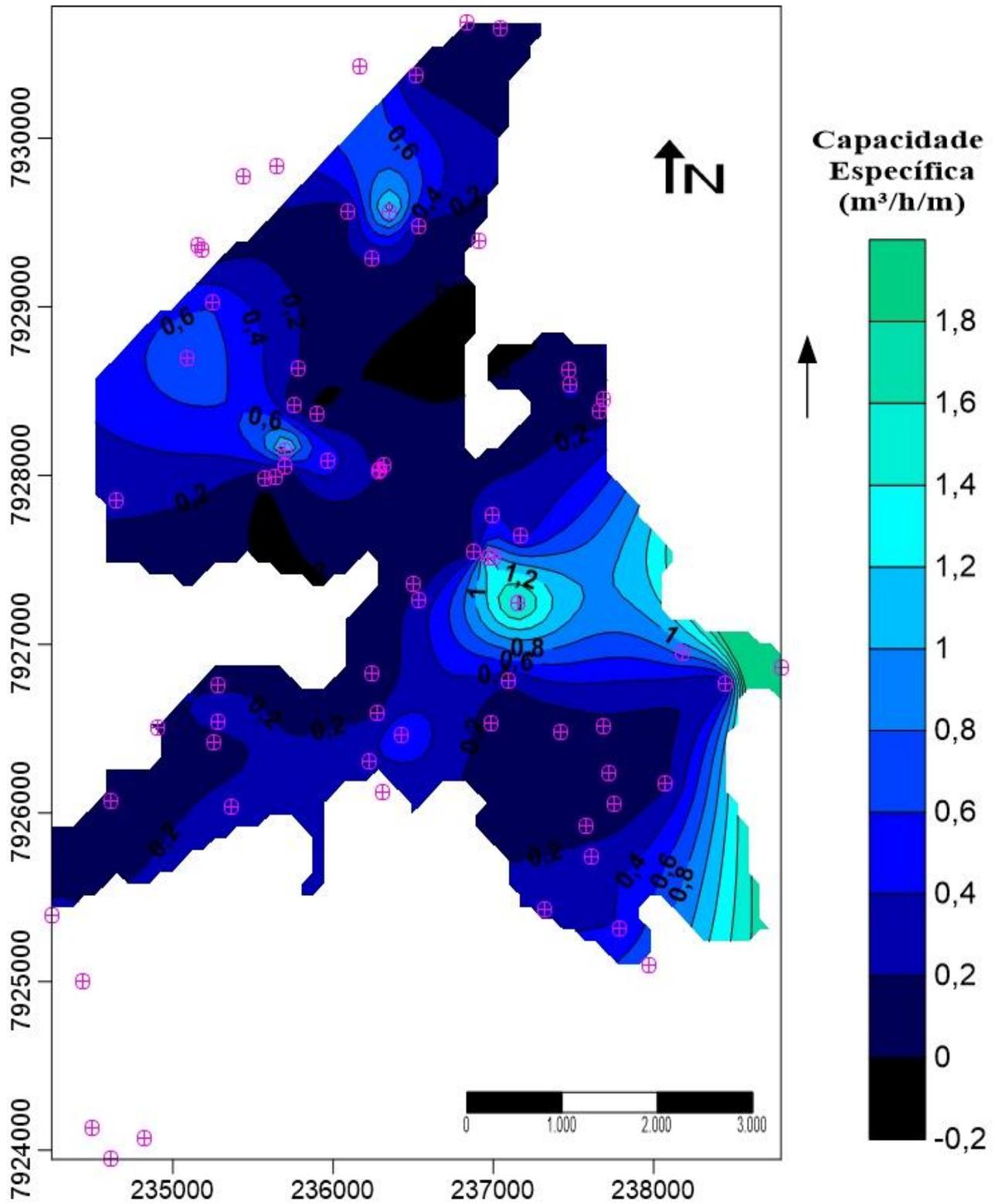
Fonte: O autor (2024).

No mapa de capacidade específica do SISEMA (Figura 25) nota-se maior frequência entre  $0,6$  e  $1,4 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$  nas áreas de recarga.

Na porção sudeste do mapa, existe outra zona com altas capacidades específicas, localizada próxima à outra área de recarga, que é o Córrego Lambari.

Esses resultados mostram a importância de avaliar a capacidade específica dos poços como um indicador-chave na gestão e planejamento dos recursos hídricos, permitindo uma melhor compreensão da disponibilidade e potencial de exploração do aquífero.

Figura 25 - Mapa de capacidade específica ( $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ ) feito com dados do SISEMA da área urbana de Monte Carmelo- MG.



Fonte: O autor (2024).

### 5.3 Dados da plataforma SIAGAS – CPRM

O SIAGAS (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas) é uma base de dados desenvolvida e mantida pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) desde 1996, com a finalidade de guardar, organizar e divulgar informações georreferenciadas, proporcionando suporte operacional ao registro de poços. Portanto, é um instrumento valioso para o planejamento estratégico e administração dos recursos de água subterrânea (Ribeiro, 2008).

Embora os órgãos gestores enfrentem desafios ao transferir seus dados para o SIAGAS, como a escassez de pessoal, a inconsistência no registro de poços feitos por terceiros, a ausência ou precariedade nos relatórios de construção dos poços, o SIAGAS mantém sua relevância para o conhecimento hidrogeológico nacional, possibilitando pesquisas sobre o potencial hídrico, os limites de exploração, as recargas e a qualidade físico-química dos aquíferos, além de fornecer orientação para projetos de engenharia (Nascimento et al., 2008).

Na plataforma SIAGAS constam dados de 82 poços no município de Monte Carmelo, que incluem poços cacimba, além dos poços tubulares, incluindo a zona urbana e rural. Porém, muitos poços estão sem dados que são fundamentais para obtenção da carga hidráulica, rebaixamento e capacidade específica, não sendo possível gerar o mapa potenciométrico e o mapa da distribuição das capacidades específicas dos poços. Portanto, não foi feita nenhuma análise sobre estes dados.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Todos os poços analisados foram classificados como pertencentes a aquíferos livres.

Os materiais que compõem estes aquíferos no município são conhecidos através de mapeamentos realizados pelo curso de Geologia da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e são constituídos por granitos e xistos das unidades Complexo Monte Carmelo e Grupo Araxá, respectivamente, além da porção superior (mais próxima da superfície), mapeada como solos residuais pouco desenvolvidos (Cambissolos e Neossolos) ou solos transportados.

Os aquíferos da área urbana de Monte Carmelo foram aqui denominados de aquífero granítico Monte Carmelo e aquífero metamórfico Araxá, ambos do tipo fraturado, apesar de não ter sido possível a diferenciação dos poços entre as duas unidades devido à insuficiência de dados dos perfis litológicos.

Com base nos dados coletados, foi obtido o valor de 11,84 m de profundidade média do nível estático de todos os poços. A pouca profundidade do lençol freático nestes aquíferos da área urbana indicam alta vulnerabilidade à contaminação, sendo necessário que se aprofundem estudos neste sentido.

Esta constatação é ainda mais preocupante ao se levar em conta os dados construtivos disponíveis dos poços analisados. Apesar de algumas inconsistências, é notável que uma parte foi construída sem os rigores das normas existentes, citadas no item 3.4.

A vazão média dos poços analisados é de 9,70 m<sup>3</sup>/h e a capacidade específica média é de 0,43 m<sup>3</sup>/h/m. Este valor de capacidade específica é considerado médio abaixo, mesmo para aquíferos fraturados; sua grande variabilidade também é esperada para este tipo de aquífero.

Alguns poços com valores de capacidade específica maiores que 1 m<sup>3</sup>/h/m estão localizados nas áreas de recarga, identificadas próximas às nascentes dos córregos Mumbuca, Pirapitinga e Lambari.

A área de descarga principal dos aquíferos na área urbana de Monte Carmelo é ao longo do córrego Mumbuca (Figura 13). Existem vários poços construídos em torno deste córrego, principalmente na área central da cidade, o que indica a maior vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos.

Em épocas de estiagem, a dinâmica subterrânea pode ser alterada. Portanto, não existe possibilidade de gestão dos recursos hídricos do município sem que existam estudos sobre a integração dos fluxos superficiais e subterrâneos.

É importante reiterar que o movimento das águas subterrâneas e das águas superficiais fazem parte do mesmo sistema, portanto, é importante que o gerenciamento dos recursos

hídricos na escala de bacia hidrográfica, considere todas as vazões outorgadas, assim como são necessários estudos sobre volume de recarga dos aquíferos, tempo de residência das águas subterrâneas, uso e ocupação do solo, vulnerabilidade à contaminação subsuperficial e superficial, entre outros.

Nem todos os dados dos poços disponíveis nas bases de dados analisadas existem, como dados de nível estático, perfil litológico, vazão, entre outros, possivelmente por serem poços antigos e sem monitoramento ou poços ainda não outorgados.

Os motivos da ausência destes dados são diversos. A falta de conhecimento da sociedade sobre as águas subterrâneas dificulta para que as pessoas busquem os órgãos responsáveis para a regularização desses poços, pois muitos donos de empresas e fazendas construíram poços e não outorgaram por não verem vantagem nessa regularização.

Outro motivo é a economia para custear a obra, o que leva o usuário a contratar empresas que não são regularizadas e que, por sua vez, oferecem um valor abaixo do mercado e não solicitam as referidas outorgas necessárias. Outra razão ainda, é a impaciência por parte do usuário na espera para a autorização ser aprovada. Esses motivos levam ao aumento de poços desconhecidos no país.

As consequências disso podem ser diversas e prejudiciais para o meio ambiente, uma das principais é a superexploração dos aquíferos, que acontece por conta do acúmulo exagerado de poços em um mesmo local.

Considerando o estudo realizado e as conclusões, recomenda-se:

- Revisar minuciosamente o registro de poços da cidade, identificando repetições, informações incorretas;
- Aprimorar a fiscalização, deixando claras as penalidades pelo não cumprimento da outorga;
- Elaborar estudos sobre os raios de interferências entre os poços da área urbana de Monte Carmelo;
- Elaborar estudos sobre volume de recarga e descarga nos aquíferos para contribuir com a gestão integrada dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, P. J. Como são formados os lençóis freáticos ou depósitos subterrâneos de água. Disponível em: <<http://sosriosdobrasil.blogspot.com/2011/07/como-sao-formados-os-lencois-freaticos.html>>. Acesso em: 31 out. 2024.
- BARBOSA, O.; BRAUN, O. P. G.; DYER, R. C.; CUNHA, C. A. B. R. 1970. Geologia da região do Triângulo Mineiro. Rio de Janeiro: Departamento Nacional da Produção Mineral/Divisão de Fomento da Produção Mineral, Boletim 136, 140 p.
- BRASIL. **Lei nº 9.433**, de 08 de janeiro de 1997. Política Nacional dos Recursos Hídricos. Brasília, DF: Presidência da República, [1997]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm). Acesso em: 06 maio 2024.
- BROD J.A; LEONARDOS, O. H.; MENESES, P. R.; ALBUQUERQUE, M. A. C.; ALMEIDA, R.; BLANCO, S. B.; CARDOSO, F. B. F.; ROMÃO, P. A.; THOMSEN, F. P. R. 1991. Geoquímica da Sequência Vulcano Sedimentar de Abadia dos Dourados e Complexo Chapada das Perdizes, Triângulo Mineiro – MG. Revista Escola de Minas, 45(1-2):164-166.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Sobre o Serviço Geológico do Brasil. SIAGAS – Sistema de Informação de Águas Subterrâneas. 2023. Disponível em: <https://siagasweb.sgb.gov.br/layout/>. Acesso em: 02/outubro/2023
- CPRM, SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Mapa de Domínios e Subdomínios Hidrogeológicos do Brasil. Escala: 2.500.000. Brasília.
- DARDENNE, M. A. 2000. The Brasília Fold Belt. In: U.G. Cordani, E.J. Milani, A. Thomaz Filho; D.A. Campos. 2000. Tectonic evolution of South America. 31 st International Geological Congress, Rio de Janeiro, SBG. p. 231-263.
- DMAE Departamento Municipal de Água e Esgoto. 2016. **Relatório de Situação dos Poços Profundos do DMAE**. Prefeitura Municipal de Monte Carmelo, comunicação eletrônica.
- DRISCOLL, F. G. 1986 **Groundwater and Wells**. 2nd ed. Minnesota: Johnson Screens.
- FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. **Groundwater**. New Jersey: Prentice- Hall, 1979. 604 p
- FEITOSA, Fernando. **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 2008 3 ed - Revisada e aplicada. ed. Rio de Janeiro: [s. n.], 835 p
- FUCK R. Q. A Faixa Brasília e a compartimentação tectônica na Província Tocantins. 1994. In: SBG, Simpósio de Geologia do Centro-Oeste 4. Atas, p.184-187.
- GUIMARÃES, L. R. **Desafios jurídicos na proteção do sistema Aquífero Guarani**. 2007. **Dissertação** (Doutorado em Ciências Sociais) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp027267.pdf>. Acesso em: 18 maio 2024.
- Google Earth website. <http://earth.google.com/>, 20024.

HIRATA, R. *et al.* **A revolução silenciosa das águas subterrâneas no Brasil:** uma análise da importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento. 2019. [São Paulo]: Instituto Trata Brasil. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/directbitstream/e7d9e125-7b22-4706-915b-a397f8a91784/2928658.pdf>. Acesso em: 30 out. 2024.

Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **IDE Sisema**. Disponível em: [\[https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis\]](https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis). Acesso em: 28, out. 2024

**INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE)**. Censo Brasileiro de 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE).

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. Panorama das Águas de Minas Gerais. Belo Horizonte: Igam, 2024. Disponível em: <http://repositorioigam.meioambiente.mg.gov.br/jspui/handle/123456789/4560>. Acesso em: 30 out. 2024

NASCIMENTO, F. M. F.; CARVALHO, J. E.; PEIXINHO; F. C. Sistema de Informações de Água Subterrânea – SIAGAS Histórico, Desafios e Perspectivas. In: XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 2008, Natal, 2008. Anais... São Paulo: Revista Águas Subterrâneas, 2008. 18p.

PAIXÃO, M. M. de O. M. *et al.* A condição de exploração de água subterrânea em Minas Gerais à luz dos critérios da deliberação normativa conjunta COPAM-CERH 05/2017. **Águas Subterrâneas**, [S. l.], v. 33, n. 4, p. 378–391. 2019. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v33i4.29559>. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29559/19226>. Acesso em: 30 out. 2024.

PEREIRA, A.D.C.; SOUZA JR., J.J.; FONSECA, E.G.; OLIVEIRA, F.C.; ORTIZ, L.R.C.; FREIRE, F. A.; CARMO, U.F.; BRAZ, E.R.C.; MARQUES, N.M.G.; REIS; V.A.; SIGA JR., O. 1983. Geologia: Levantamento de Recursos Naturais. In: BRASIL. DNPM. Projeto RADAMBRASIL. Folha SE.23 Belo Horizonte. Rio de Janeiro. P. 38

PIMENTEL, M. M.; FUCK, R. A.; JOST, H. FERREIRA, C. F. F.; ARAÚJO, S. M. 2000. The basement of the Brasilia Fold belt and the Goiás Magmatic Arc. In: U.G. Cordani, E.J. Milani, A. Thomaz Filho e D.A. Campos. 2000. Tectonic Evolution of South America. 31 st International Geological Congress. Rio de Janeiro, p.195-229.

PINHO, J. M. M. *et al.* 2017. Geologia e recursos minerais das folhas Cabeceira Grande, Unai, Ribeirão Arrojado, Serra da Aldeia, Serra da Tiririca, Paracatu, Guarda-Mor, Arrenegado, Coromandel, Lagamar, Monte Carmelo Patos de Minas. Disponível em <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/19397>. Acessado em 09 de outubro de 2024.

PINHATTI, A. L. Por que existem tantos poços irregulares no Brasil. 2023. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/003150317>. Acesso em: 10 out. 2024.

REDAÇÃO ITM. OS MISTERIOSOS CAMINHOS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS - Revista In The Mine. Disponível em: <<https://www.inthemine.com.br/site/os-misteriosos-caminhos-das-aguas-subterraneas/>>. Acesso em: 1 nov. 2024. NBR 12244 – Construção de

poço para captação de água subterrânea. Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 1992.

Ribeiro, J. A. O SIAGAS e a gestão dos recursos hídricos subterrâneos. In: XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 2008, Natal, 2008. Anais... São Paulo: Revista Águas Subterrâneas, 2008. 11p

ROCHA, M. M. da; YAMAMOTO, J. K.; FONTELES, H. R. da N. Cokrigagem ordinária versus krigagem com deriva externa: aplicações para a avaliação do nível potenciométrico em um aquífero livre. **Geologia USP. Série Científica**, v. 9, n. 1, p. 73 – 84, 2009. DOI: <https://doi.org/10.5327/Z1519-874X2009000100005>.

SEER, H. J.; MORAES, L. C. Magmatismo granítico neoproterozoico de ambientes intraplaca, arco e colisão no grupo Araxá, faixa Brasília Meridional, Minas Gerais, Brasil. **Brazilian Journal of Geology**, [S. l.], v. 43, n. 2, p. 333-354, Jun. 2013. Disponível em: <http://bjg.siteoficial.ws/2013/n.2/j.pdf>. Acesso em: 30 out. 2024.

SEER H. J., MORAES L. C., CARNEIRO A. C. 2007. Geologia e deformação do Grupo Araxá na região de Estrela do Sul-Monte Carmelo-Abadia dos Dourados, Minas Gerais. In: SBG, Simpósio de Geologia, Sudeste, 10:37.

SEER, H. J. *et al.* Grupo Araxá em sua área tipo: um fragmento de crosta oceânica neoproterozóica na faixa de dobramentos Brasília. **Revista Brasileira Geociências**, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 385-396, set. 2001.

**SGB - Serviço Geológico do Brasil - SIAGAS**. Disponível em: [\[https://siagasweb.sgb.gov.br/layout/\]](https://siagasweb.sgb.gov.br/layout/) Acesso em: 10, outubro do 2024.

SISEMA - Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Minas Gerais. Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **IDE Sisema**. Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis>. Acesso em: 28, out. 2024

VALERIANO, C. M. *et al.* 2004. A evolução tectônica da Faixa Brasília. In: NETO-MANTESSO, V. *et al.* (org.). **Geologia do continente Sul-Americano: a evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Beca, [2004]. p. 573-593.

VALERIANO, C. M. *et al.* Tectonic evolution of the Brasília Belt, Central Brazil, and early assembly of Gondwana. In: PANKHURST, R. J.; TROUW, R. A. J.; NEVES, B. B. de B. (ed.). **West Gondwana: pre Cenozoic correlations Across the South Atlantic region**. [S.l.]: Geological Society London, [2008]. p. 197-210.