

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
GSA- DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA SEDIMENTAR E AMBIENTAL

**A IMPORTÂNCIA DOS AQUÍFEROS PARA A REDE DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DE  
ÁGUA EM PERÍODOS DE CRISES HÍDRICAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO  
PAULO E NO DISTRITO FEDERAL**

MONOGRAFIA – 19/12

Aluno: Felipe Silva Rocha  
Orientadora: Alexandra Vieira Suhogusoff  
Coorientadora: Daniella Castanheira

SÃO PAULO  
2019

## RESUMO

Atualmente, a segurança hídrica no abastecimento público dos grandes centros urbanos é um assunto muito discutido, principalmente após importantes cidades brasileiras vivenciarem o drama da crise hídrica. A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e o Distrito Federal (DF) são dois exemplos de polos urbanos que sofreram com esses eventos, iniciados em 2014 e em 2016, respectivamente. No enfrentamento de tais crises, iniciativas individuais e coletivas propuseram uma grande variedade de soluções para a utilização racional dos recursos hídricos. Dentre as soluções coletivas, uma das mais promissoras para o aumento da resiliência hídrica, em contribuição e sustentabilidade, é o real dimensionamento da conexão dos poços outorgados de usos privados com a rede de abastecimento público, operada pelas concessionárias. Este trabalho de formatura tem como objetivo principal analisar e interpretar dados de vazões, de finalidades e usos das outorgas de poços em operação dos mananciais subterrâneos da RMSP e do DF, para que seja dimensionada a real importância dos usuários privados desses mananciais para o não colapso e o bom funcionamento dos sistemas de abastecimento público das cidades brasileiras. Realizou-se um tratamento estatístico dos dados obtidos e posterior compilação em ambiente GIS (Sistema de Informações Geográficas), com o intuito de elaborar produtos que auxiliem na confecção dos mapas finais de favorabilidade para conexão dos usos privados do manancial subterrâneo com a rede de abastecimento público. Os resultados revelaram que a porcentagem de demanda hídrica suprida pelos usuários dos mananciais subterrâneos é substancialmente maior do que a relatada nos Planos de Recursos Hídricos e relatórios oficiais das regiões estudadas. Além disso, conclui-se que os volumes outorgados aos usuários privados dos mananciais subterrâneos na RMSP e no DF, correspondem a 30% e 15%, respectivamente, das demandas hídricas desses grandes centros, alertando para a importância que a Gestão de Recursos Hídricos deve ter frente à questão.

## ABSTRACT

Nowadays, hydric sustainability in the public water supply of metropolitan areas is a matter about which there is much discussion, especially after major Brazilian cities have experienced the water crisis drama. The Metropolitan area of São Paulo (RMSP) and the Federal District (DF) are two examples of urban centers that faced this crisis which had its beginning in São Paulo in 2014 and in the Federal District in 2016. In order to confront with those crisis, individual and public initiatives proposed at the time a large variety of solutions for rational use of water resources. One of the most promising solutions for the water resilience increase among the public options in terms of contribution and sustainability is the real dimensioning of the connection of private granted wells with the public water supply system, which is operated by the concessionaires. This research's main objective is to analyze and interpret well flow rate data, the purposes and the real use of the granted wells of the groundwater reservoir in operation in the Metropolitan Area of São Paulo and the Federal District, in order to measure the real significance of private users of those water springs to ensure the well-functioning of the water supply system in Brazilian cities and to avoid their collapse. From the collected data and subsequent compilation using the Geographical Information Systems (GIS), a statistical treatment has been done with the aim of elaborating products that could help with the preparation of the final maps of favorability to connect both private water springs and public water supply system. The results have shown that the percentage of the water demand from underground springs users is substantially higher than the ones from the Water Resources Plans and the official reports of the studied areas. Furthermore, it is concluded that the volumes given in concession to the underground water springs private users in the Metropolitan Area of São Paulo and in the Federal District correspond to 30% and 33%, respectively, from water demands in those big cities, bringing up a warning sign to the relevance of the Water Supply Management should have in this purpose.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVOS E METAS.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
3.1 Localização e aspectos gerais .....	4
3.1.1 Região Metropolitana de São Paulo .....	4
3.1.2 Distrito Federal .....	4
3.2 Geologia e hidrogeologia .....	5
3.2.1 Região Metropolitana de São Paulo .....	5
3.2.2 Distrito Federal .....	7
3.3 Hidrogeoquímica.....	10
3.3.1 Região Metropolitana de São Paulo .....	10
3.3.2 Distrito Federal .....	11
3.4 Gestão de recursos hídricos .....	12
3.4.1 Região Metropolitana de São Paulo .....	12
3.4.2 Distrito Federal .....	13
3.5 Sistemas de abastecimento de água.....	14
3.5.1 Região Metropolitana de São Paulo .....	14
3.5.2 Distrito Federal .....	16
4. MATERIAIS E MÉTODOS .....	16
4.1 Apresentação.....	16
4.1 Considerações críticas sobre a natureza dos dados .....	19
4.2 Eventuais dificuldades surgidas e alterações nos objetivos originais .....	20
5. RESULTADOS .....	21
6. DISCUSSÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS .....	41
7. CONCLUSÕES .....	43
8.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44

## 1. INTRODUÇÃO

Na última década, algumas cidades brasileiras vivenciaram o drama da crise hídrica, fato que levou pesquisadores, gestores públicos e usuários da água a repensarem a gestão dos recursos hídricos nas áreas urbanas em uma perspectiva mais abrangente e holística (Hirata *et al.*, 2019). Em todos os setores econômicos, constatou-se a necessidade da busca por soluções, imediatas e em longo prazo, que garantissem a segurança hídrica dos grandes centros urbanos.

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e o Distrito Federal (DF) são dois exemplos de grandes polos urbanos que sofreram com crises hídricas recentes, iniciadas em 2014 na RMSP e em 2016, no DF. Eventos como esses são causados, tanto pela diminuição do índice pluviométrica, como pelo aumento populacional e da demanda de água pelos usuários (Otto *et al.*, 2015). Além disso, a falta de investimentos no sistema de abastecimento, como no uso de fontes suplementares de água, intensificou a crise hídrica nas regiões (Neto, 2015).

No enfrentamento de tais crises, iniciativas individuais e/ou coletivas propuseram uma grande variedade de soluções para utilização racional dos recursos hídricos, desde dispositivos hidráulicos controladores de fluxo e vazão nas torneiras, até sistemas integrados de reúso. Dentre as soluções coletivas, uma das mais promissoras para o aumento da resiliência hídrica, em contribuição e sustentabilidade, é o real dimensionamento da conexão dos poços outorgados de usos privados com a rede de abastecimento público, esta última operada pelas concessionárias (Castanheira *et al.*, em preparação).

A conexão dos usos privados do manancial subterrâneo com o sistema de abastecimento público é conceitualizada de duas formas: i) a conexão existe atualmente e precisa ser efetivamente dimensionada. Todo volume de água utilizado por usuários, institucionalizados ou não, para atender diferentes finalidades, por um lado, alivia a quantidade de água demandada que deveria ser oferecida pelos serviços públicos, e por outro, utiliza a rede de esgoto das concessionárias, na maioria das vezes, sem o devido pagamento desse serviço às prestadoras; ii) a conexão, com o avanço dos estudos de viabilidade, poderia consistir em uma ligação hidráulica permanente e segura entre os poços particulares e reservatórios de água ou Estações de Tratamento de Água (ETA), proporcionando oferta de suplemento de água bruta às concessionárias públicas de abastecimento. Tratar-se-ia de um aporte de água, devidamente hidrometrado, de um conjunto de poços outorgados de usos particulares com uma rede coletora da concessionária pública, a qual ficaria responsável em realizar os tratamentos adequados

para encaminhar à sua rede de distribuição, ou direcioná-la a reservatórios de águas superficiais, aumentando seus níveis (Castanheira *et al.*, em preparação).

Vale destacar que inicialmente a conexão proposta não tem por objetivo a busca das concessionárias de abastecimento público por poços produtivos para aumentar sua oferta aos consumidores, mas sim de atribuir aos usuários privados dos mananciais subterrâneos a real importância deles no abastecimento público, e vislumbrar as possibilidades de contribuição desses usuários na resiliência hídrica das cidades, estimulando futuros estudos para fornecimento de água bruta por esses poços aos sistemas ativos das concessionárias.

A conceitualização da conexão dos usos de poços particulares com o abastecimento público, apesar de atualmente ser inédita na literatura, é uma ideia que circula em muitas soluções apontadas pelos pesquisadores, em especial os hidrogeólogos, e alguns agentes públicos. Como exemplos, cita-se o Projeto para Abastecimento de Hospitais Estaduais, idealizado no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), que, durante a crise hídrica da RMSP, em 2014/2016, buscava mapear poços particulares produtivos nas imediações dos hospitais que pudessem suprir as necessidades prioritárias de atendimento médico do Sistema Único de Saúde (SUS) (informação verbal)<sup>1</sup> ou ainda, o crescente aumento do número de condomínios que perfuraram poços tubulares buscando diversificar suas fontes.

Uma das vantagens da água bruta coletada pelas captações subterrâneas outorgadas para uso privado, é que elas, geralmente, apresentam boa qualidade, não necessitando de tratamentos complexos, e previamente já possuem monitoramento pelos órgãos de gestão de recursos hídricos. Dessa forma, que é possível em tempos de estresse hídrico, aduzir um volume à rede distribuidora da concessionária pública, através da conexão, seja com fins de regular os níveis dos reservatórios, seja para aumentar a quantidade de água bruta para tratamento, desde que haja estudos comprovando o não comprometimento da potabilidade e a exploração sustentável das múltiplas águas (Castanheira *et al.*, em preparação).

A pesquisa desenvolvida no presente Trabalho de Formatura aborda e justifica a importância da conexão dos usos dos poços particulares com o sistema de abastecimento público, na RMSP e no DF, sob a perspectiva dos dois conceitos acima descritos, a partir da avaliação dos dados disponíveis por meio de métodos estatísticos e de interpolação espacial.

Para tais análises, foram utilizados dados de vazões, usos e finalidades, obtidos mediante consulta aos bancos de cadastros de outorga de poços particulares, controlados pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) na RMSP e pela Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (ADASA) no DF, além de dados hidrogeológicos encontrados em literatura.

---

<sup>1</sup> Informação fornecida pelo geólogo do IPT, José Luiz Albuquerque Filho.

Por fim, as análises permitiram elencar algumas sugestões para implementar e aprimorar a implementação das políticas públicas e soluções hídricas alternativas, principalmente as que envolvam o manancial subterrâneo das cidades brasileiras. A pesquisa contou com a coorientadora, pesquisadora e estudante de doutorado Daniella Castanheira, que sob orientação do Prof. Dr. Ricardo Hirata, usará os resultados deste Trabalho de Formatura como parte integrante da sua Tese de Doutorado intitulada “Gestão Integrada dos Recursos Hídricos: Conectando os Usos Públicos e Privados das Múltiplas Águas”.

## **2. OBJETIVOS E METAS**

O objetivo principal do trabalho compreendeu em obter, consistir, processar, analisar e interpretar dados de vazões, usuários, usos e finalidades pertencentes aos cadastros de outorgas da RMSP e do DF, com o intuito de dimensionar a conexão dos poços privados com a rede de abastecimento público, e assim correlacionar, sob a ótica da conexão, as características hidrogeoquímicas, hidrogeológicas e de segurança hídrica regionais. A meta foi revelar a possível contribuição dos usuários privados do manancial subterrâneo para o não colapso e bom funcionamento dos sistemas de abastecimento público das cidades brasileiras.

Para tanto foram considerados, também, os seguintes objetivos específicos:

1. Organização e tratamento dos dados de outorga da RMSP, obtidos através do site do DAEE, e do DF, obtidos via solicitação à ADASA;
2. Elaboração da metodologia e das análises espaciais a serem aplicadas; e
3. Dimensionamento da conexão dos usos privados com o abastecimento público, revelando as reais contribuições dos aquíferos para a resiliência hídrica das regiões estudadas.

## **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A literatura na qual se baseou o atual projeto transpassa pelos temas de mapeamento geológico e hidrogeológico das áreas estudadas, sistemas de abastecimento público de águas dessas regiões, hidrogeoquímica (qualidade das águas dos aquíferos), sistemas de abastecimento e por modelos de gestão de recursos hídricos nas grandes cidades brasileiras, sobretudo àqueles relacionados às crises hídricas e adoção de soluções alternativas envolvendo o manancial subterrâneo, que visam garantir a segurança hídrica dos grandes conglomerados urbanos.

### **3.1 Localização e aspectos gerais**

#### *3.1.1 Região Metropolitana de São Paulo*

A RMSP está localizada no sudeste do estado de São Paulo, concentrando 39 municípios e abrangendo 8.000 Km<sup>2</sup>. Os limites norte e sul, respectivamente, são os paralelos 23°12" e 24°01"S; leste e oeste são, aproximadamente, os meridianos 46°26" e 46°46"W. Limita-se a norte com a região de Campinas, ao sul com a região de litoral, a leste com a região do Vale do Paraíba e a oeste com a região de Sorocaba. Segundo a estimativa da Fundação SEADE (SEADE, 2019), a população em 2019 é de 21 milhões de habitantes.

O clima na região é caracterizado como subtropical úmido, com menor índice de chuvas no inverno e verões com altas temperaturas e grande quantidade de chuvas. A média pluviométrica anual varia em torno de 1300 mm de chuva, com maiores taxas nos meses de dezembro a fevereiro e menores taxas em julho e agosto.

O sistema hidrogeológico principal da RMSP está inserido no domínio da bacia hidrográfica do Alto Tietê (BAT), alongada na direção nordeste na região centro-norte do estado de São Paulo, inserida na Região Hidrográfica do Rio Paraná, sendo formada por uma rede hidrográfica de rios alongados, perenes e volumosos e rios pequenos e curtos de forte gradiente (Conicelli, 2014). Os principais corpos d'água da BAT são os rios Tietê, Pinheiros, Tamanduateí, Claro, Paraitinga, Jundiaí, Biritiba-Mirim e Taiaçupeba.

#### *3.1.2 Distrito Federal*

O DF está localizado no Planalto Central Brasileiro, na região Centro-Oeste, em altitudes que variam de 750 m a 1.344 m, e abrange uma área de 5.800 km<sup>2</sup>. Os limites aproximados norte e sul, respectivamente, são os paralelos 15°30" e 16°03" S; leste e oeste são os meridianos 47°18" e 48°17"W. Os limites naturais, a leste e oeste, são representados, respectivamente, pelos Rios Preto e Descoberto. Segundo o portal Cidades e Estados do IBGE (2019), a população estimada do Distrito Federal é de pouco mais de 3 milhões de habitantes.

O clima na região é caracterizado pela existência de forte sazonalidade, com uma estação chuvosa e quente (entre outubro e abril) e outra estação fria e seca (entre maio e setembro). A média pluviométrica anual varia entre 700 mm e 1.800 mm, com maiores índices no mês de janeiro e menores em junho e julho (Gonçalves et al., 2009).

O DF está localizado em um alto topográfico regional que não apresenta grandes drenagens superficiais e é um divisor natural de três grandes bacias hidrográficas: Tocantins-Araguaia, Paraná e São Francisco. No contexto hidrogeológico brasileiro, encontra-se na denominada Província Hidrogeológica do Escudo Central. Essa província é

amplamente dominada por aquíferos fraturados cobertos por manto de intemperismo (solos e rochas alteradas) com características físicas e espessuras variáveis.

### **3.2 Geologia e hidrogeologia**

#### *3.2.1 Região Metropolitana de São Paulo*

A geologia da RMSP é representada por três grandes compartimentos, sendo eles, em ordem cronoestratigráfica, o embasamento pré-cambriano, as rochas sedimentares paleógenas a neógenas da Bacia de São Paulo e as coberturas quaternárias.

O embasamento da Bacia de São Paulo faz parte do Sistema Orogênico Mantiqueira, que corresponde à Província Mantiqueira, decorrente da orogenia neoproterozóica Brasiliano-Panafricana (Almeida *et al.*, 1977). Nesse contexto, o orógeno Ribeira é a unidade geotectônica que abriga a bacia de São Paulo e o seu embasamento, que é constituído por rochas metamórficas e ígneas, associadas ao Complexo Embu e aos grupos São Roque e Serra do Itaberaba, além de corpos granítoides intrusivos (Monteiro *et al.*, 2012).

O Complexo Embu é a unidade com maior ocorrência no embasamento da bacia. Ocorre na porção centro-sul da RMSP e é formado por xistos, filitos, migmatitos, gnaisses migmatizados e corpos lenticulares de quartzitos, anfibolitos e rochas calciosilicatadas (Juliani, 1992).

Os grupos São Roque e Serra do Itaberaba ocorrem na área norte da RMSP e são constituídos por rochas metavulcânicas e metassedimentares, como filitos, metarenitos e quartzitos, observando-se também metacalcários, dolomitos, anfibolitos e xistos. Esses grupos, ao sul, possuem contato litológico com o Complexo Embu através do sistema de falhas de Taxaqua e Jaguari (Rodriguez, 1998).

A Bacia de São Paulo teve seu desenvolvimento relacionado à uma tectônica distensiva de idade terciária, fazendo parte do Rift Continental do Sudeste do Brasil (Riccomini, 1989). Sua estratigrafia foi revisada pelo trabalho de Riccomini (1989), constituindo-se pelo Grupo Taubaté (Formação Resende, Formação Tremembé e Formação São Paulo) e pela Formação Itaquaquecetuba.

A Formação Resende, unidade basal e lateral do Grupo Taubaté, é constituída por um sistema de leques aluviais associados à planície fluvial de rios entrelaçados (Riccomini, 1989). Sua distribuição é mais generalizada, preenchendo cerca de 80% da bacia. É formada por duas litofácies principais: conglomerados polimíticos interdigitados com arenitos e/ou lamitos arenosos e arenitos intercalados com lamitos (Riccomini *et al.*, 1992).

A Formação Tremembé é constituída por uma sedimentação lacustre do tipo *playa lake* (Riccomini, 1989). Interdigita-se vertical e lateralmente com os depósitos da Formação

Resende e possui ocorrência mais significativa na porção central da bacia. Compreende camadas tabulares de argilitos verdes maciços intercalados com argilitos cinza-escuro a preto, ricos em matéria orgânica (Riccomini *et al.*, 1992).

A Formação São Paulo, unidade do topo do Grupo Taubaté, é constituída por um sistema fluvial meandrante (Riccomini, 1989). É composta por arenitos grossos, conglomeráticos e com estratificação cruzada, siltitos e argilitos laminados e sedimentos finos rítmicos e laminados (Riccomini *et al.*, 1992).

A Formação Itaquaquecetuba é constituída por um sistema fluvial entrelaçado, assentado diretamente sobre o embasamento. É formada por arenitos arcoseanos com estratificação cruzada acanalada e tabular de grande porte e conglomerados basais com seixos de quartzo e quartzito (Coimbra *et al.*, 1983).

As coberturas quaternárias são depósitos que correspondem a coluviões argilo-arenosos, com lentes argilosas a conglomeráticas e espessura e distribuição restritas às drenagens atuais, principalmente (Melo *et al.*, 1987).

A partir do contexto geológico regional, foram definidas duas unidades aquíferas: o Sistema Aquífero Cristalino (SAC) e o Sistema Aquífero Sedimentar (SAS).

Hirata e Ferreira (2001) propuseram, à época, quatro unidades hidrogeológicas, correlacionando-as à definição estratigráfica mais atual da Bacia Sedimentar de São Paulo: integrando o SAC, o Aquífero de Rochas Granítóides e Aquífero de Rochas Metamórficas, e integrando o SAS, o Aquífero Resende e o Aquífero São Paulo, associados às suas formações geológicas homônimas (Tabela 1). As formações neocenozóicas Tremembé e Itaquaquecetuba, devido às suas pequenas dimensões, segundo os autores, assim como as unidades quaternárias da região, não definem unidades aquíferas.

O SAC ocorre nos domínios das rochas cristalinas do embasamento e pode ser subdividido em duas unidades: a primeira relacionada às rochas intemperizadas, com aquíferos de porosidade granular, bastante heterogêneo e livre, e a segunda ocorre sob o manto de intemperismo, que seria o aquífero cristalino propriamente dito, no qual a recarga ocorre pela circulação das águas nas descontinuidades rúpteis da rocha (fraturas e falhas abertas). São aquíferos de caráter livre, anisotrópico e fortemente heterogêneo (Hirata e Ferreira, 2001).

O SAS ocorre nos domínios da Formação Resende e da Formação São Paulo e é mais intensamente explorado em relação ao SAC. O sistema é livre a semiconfinado, de porosidade primária e bastante heterogêneo. Além da contribuição de algumas drenagens, a recarga do aquífero superficial ocorre por infiltração de águas pluviais e das perdas da rede pública na área urbanizada da bacia. Apesar das vazões serem mais baixas é possível distinguir diferenças de produtividade de acordo com as diferentes unidades estratigráficas. Dessa forma, o Aquífero Resende é mais produtivo em relação ao Aquífero São Paulo, por ter valores de vazão média e capacidade específica maiores. Essas unidades não possuem

grande espessura (média de 100 m), ocasionando um fluxo de águas subterrâneas mais local. Além disso, possuem relação direta com as fontes primárias e secundárias de contaminação, por serem aquíferos mais rasos.

**TABELA 1:** Classificação dos reservatórios subterrâneos da Região Metropolitana de São Paulo. Compilação de Hirata e Ferreira (2001).

Domínio	Unidade	Profundidade Média dos poços (m)	Espessura média perfurada (m)	Caráter de Confinamento do Aquífero	Capacidade Específica (m <sup>3</sup> /h/m)	Vazão Média dos Poços (m <sup>3</sup> /h)
SAC	Aquífero de Rochas Granítóides	198,5	50	livre	0,2	9,07
	Aquífero de Rochas Metamórficas	176,4	50	livre	1,4	17,50
SAS	Aquífero Resende	165,5	100	livre a semiconfinado	0,9	15,20
	Aquífero São Paulo	129,0	100	Livre a semiconfinado	0,5	9,50

### 3.2.2 Distrito Federal

O DF situa-se na porção central da Faixa de Dobramentos Brasília (Marini *et al.*, 1981), e se estende para norte/noroeste, ocupando a Faixa de Dobramentos Paraguaí/Araguaia e a parte sul do Cráton Amazônico. A capital Brasília encaixa-se no contexto tectônico da Província Estrutural Tocantins, em que ocorre uma transição das porções internas, de grau metamórfico maior, para as externas, de grau metamórfico menor.

Segundo Campos e Freitas-Silva (1998), no DF há a disposição de quatro grupos litológicos distintos: Paranoá, Canastra, Araxá e Bambuí, além das suas respectivas coberturas de solos residuais ou coluvionares.

Estratigraficamente na base da região, o Grupo Paranoá, de idade neoproterozóica, ocupa cerca de 65% da área do DF e foi subdividido em sete unidades litoestratigráficas, descritas e diferenciadas por Faria (1995) e cuja proposta de denominação em formações litológicas foi efetivada por Campos *et al.* (2013), que utiliza símbolos correlacionáveis para cada unidade, compondo assim, da base para o topo com as sequências deposicionais, a Sequência Paranoá: Formação Ribeirão São Miguel (SM), Formação Córrego Cordovil (R<sub>1</sub>), Formação Serra da Boa Vista (Q<sub>1</sub>), Formação Serra Almécegas (R<sub>2</sub>), Formação Serra do Paraná (Q<sub>2</sub>), Formação Ribeirão Piçarrão (S), Formação Ribeirão do Torto (A), Formação Serra da Meia Noite (R<sub>3</sub>), Formação Ribeirão Contagem (Q<sub>3</sub>), Formação Córrego do Sansão (R<sub>4</sub>) e Formação Córrego do Barreiro (PC).

De todo o pacote da sequência deposicional supracitada, cerca de 65% se encontra no território do Distrito Federal, parte da área de estudo, e serão mais detalhados a seguir, segundo os mesmos autores.

A Formação Serra do Paraná ( $Q_2$ ) é composta por quartzitos de espessura decimétricas a métricas, com granulação média a grossa e de coloração amarelada-ocre. No topo são comuns leitos e canais conglomeráticos finos feldspáticos, com grânulos e seixos subangulosos a arredondados. Comumente encontram-se estratificações cruzadas tabulares reviradas, acanalados e do tipo espinha de peixe, com raras marcas onduladas. Na forma mais comum os quartzitos estão silicificados e fraturados.

A Formação Ribeirão Piçarrão (S) é composta pela maior variabilidade, com 05 (cinco) litofácies, sendo um conjunto de metassiltitos esverdeados homogêneos com possíveis intercalações arenosas compondo metarrítitos e lentes de calcários e dolomitos, mais raramente. Algumas estruturas sedimentares presentes são acamamento plano-paralelo, laminação plano-paralela, cruzada ou truncada e marca de ondas.

A Formação Ribeirão do Torto (A) é composta por ardósias homogêneas de cor cinza esverdeada e apresenta contato transicional com a unidade anterior. Caracterizada por ardósias, com clivagens ardosianas típicas marcadas por foliações metamórficas penetrativas. Próximo ao contato com a unidade superior ocorrem intercalações sítico-argilosas indicando a passagem para unidade de metarrítito sobreposta.

A Formação Serra da Meia Noite ( $R_3$ ) corresponde a um metarrítito arenoso com intercalações de quartzitos e materiais pelíticos (metassilitos e ardósias) decimétricos a métricos. Comumente encontra-se o acunhamento lateral e o aspecto lenticular dos estratos, além de estratificações plano-paralela, marcas onduladas, estratificações lenticulares e diques de areia.

A Formação Ribeirão Contagem ( $Q_3$ ) é composta por quartzitos finos a médios, brancos a cinza claros, bem selecionados e bastante silicificados. Devido à silicificação, o aspecto maciço é constante, mas comumente encontram-se marcas onduladas e estratificações cruzadas tabulares, acanaladas e do tipo espinha de peixe.

A Formação Córrego do Sansão ( $R_4$ ) é composta por metarrítitos argilosos homogêneos com intercalações centimétricas de materiais síticos, argilosos e estratos de quartzito finos rosados a avermelhados. Os níveis arenosos apresentam estruturas do tipo laminações cruzadas, laminações cruzadas, estratificações plano-paralelas e *hummocks*. Além disso, os bancos arenosos possuem apresentam base planta e topo ondulado

A Formação Córrego do Barreiro (PC) é predominantemente pelítica com ardósias e metassiltitos argilosos bastante laminados e com lentes de mármores finos. São comuns os níveis com quartzitos médios, grossos e conglomeráticos. Comumente encontram-se na base, brechas calcárias silicificadas distribuídas sem controle estratigráfico definido

Sobreposto ao Grupo Paranoá, o Grupo Canastra, de idade mesoproterozóica, ocupa cerca de 15% da área total do DF e é constituído essencialmente por filitos variados com lentes decamétricas de mármore finos e quartzitos finos silicificados e cataclasados (Freitas-Silva e Campos, 1998).

Por sua vez, sobrepondo o Grupo Canastra, o Grupo Araxá corresponde a cerca de 5% da área total do DF e é constituído por xistos variados, principalmente muscovita xistos, além de, mais restritamente, clorita xistos, quarto-muscovita xistos, granada xistos e lentes de quartzitos micáceos (Freitas-Silva e Campos, 1998).

De mesma idade do Grupo Araxá e no topo da sequência estratigráfica do DF, o Grupo Bambuí, que corresponde a cerca de 15% do território, e consiste em um pacote pelito-carbonatado-arcoseano, representado por metassiltitos laminados, metassiltitos argilosos e bancos de arcóseos. Correlaciona-se esse grupo a seis tipos petrográficos que afloram no DF: siltitos, folhelhos e arcóseos da Formação Serra da Saudade e da base da Formação Três Marias, e pelitos, calcários e dolomitos da Formação Sete Lagoas e da Formação Santa Helena.

A partir do contexto geológico regional, Campos e Freitas-Silva (1998) diferenciam três grandes grupos de aquíferos no DF, que correspondem à classificação maior dos reservatórios subterrâneos de água, o Domínio Aquífero Poroso, o Domínio Aquífero Fraturado e o Domínio Fissuro-Cárstico. Para esses domínios, há uma divisão em subsistemas, evidenciando assim a imensa diversificação dos domínios por conta da variação de tipos litológicos dentro das unidades litoestratigráficas (Tabela 2).

O domínio poroso é representado por materiais inconsolidados tais como solos, saprolitos e aluviões. Esse domínio possui espessuras variando de poucos centímetros até 80 m, com ampla predominância (mais de 60% das ocorrências) de espessuras entre 15 e 25 m, grande extensão e continuidade lateral e, de forma geral, homogêneos. Compõe o sistema de água subterrânea rasa e os aquíferos relacionados a esse sistema são classificados como aquíferos livres e/ou suspensos. Por serem aquíferos rasos e livres, são suscetíveis à contaminação por agentes externos (Campos, 2004).

O domínio fraturado é restrito a zonas que variam de alguns metros a centenas de metros e são aquíferos livres ou confinados, de extensão lateral variável, fortemente anisotrópicos e heterogêneos. Com raras exceções, esse domínio está limitado a profundidades pouco superiores a 250 m. O principal fator que controla a condutividade hidráulica desses aquíferos é a densidade das descontinuidades do corpo rochoso. O domínio é dividido em quatro conjuntos distintos, denominados de sistemas aquíferos Paranoá, Canastra, Araxá e Bambuí, com classificação baseada nos grupos de formações geológicas (Campos, 2004).

O domínio fissuro-cárstico representa os aquíferos que possuem características de fraturamento, assim como os aquíferos do domínio fraturado, mas que incluem rochas

carbonáticas em sua composição. As rochas carbonáticas presentes nesse conjunto correspondem a calcários, dolomitos, margas e mármore. Essas rochas ocorrem na forma de lentes e são responsáveis por constituir os aquíferos com as vazões mais expressivas do Distrito Federal, compreendendo subsistemas do Sistema Paranoá e do Sistema Canastra (Castanheira, 2016).

**TABELA 2:** Classificação dos reservatórios subterrâneos de água do Distrito Federal. Compilação de Campos e Freitas-Silva (1998).

Domínio	Sistema	Subsistema	Vazão Média dos Poços (m <sup>3</sup> /h)
Fraturado	Poroso	-	< 1,0
	Paranoá	S/A	12,5
		A	4,5
		R <sub>3</sub> /Q <sub>3</sub>	12,0
		R <sub>4</sub>	6,5
	Canastra	F	7,5
	Bambuí (topo)	-	6,0
	Araxá	-	3,5
	Fissuro-Cárstico	Paranoá	9,0
		Canastra	F/Q/M

### 3.3 Hidrogeoquímica

Atualmente, as concessionárias responsáveis pelos sistemas de abastecimento público de água na RMSP e no DF possuem alguns sistemas integrados, que utilizam captação de água subterrânea como forma complementar de abastecimento. Por serem águas de diferentes origens, estas possuem características químicas e físico-químicas próprias e, por isso, necessitam de tratamentos de padronização para que se tornem aptas à ingestão humana.

#### 3.3.1 Região Metropolitana de São Paulo

As águas subterrâneas da RMSP apresentam, em geral, boa qualidade química e estão aptas para o consumo humano, embora haja algumas áreas com concentrações naturais de fluoreto, ferro e manganês que podem inviabilizar seu uso imediato (Bertolo et al., 2014). Em grandes centros urbanos pode haver o efeito da ação antrópica na contaminação da água subterrânea, entretanto, as reservas mais suscetíveis a esse tipo de contaminação são as alocadas em aquíferos rasos, não atingindo tão facilmente os aquíferos mais profundos, já que diversas contaminações sofrem processos de biodegradação aeróbia e/ou anaeróbia relativamente rápidos. Dessa forma, as reservas de

aquíferos mais profundos, como as águas do SAC, surgem como uma boa alternativa, que dispensa tratamentos mais custosos para sua mistura com outras reservas de água tratada.

A qualidade das águas subterrâneas na RMSP é uma preocupação da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) que, em parceria com o DAE, implementou uma rede integrada de monitoramento desse manancial, que considera desde o nível d'água, até a determinação de parâmetros de qualidade, e divulga, anualmente, o IPAS (Indicador de Potabilidade das Águas Subterrâneas).

Segundo Bertolo *et al.* (2015), a RMSP possui muitas áreas com potencial contaminação de aquíferos, por conta de fontes de poluição associadas com vazamentos de esgotos, de tanques de combustíveis em postos de serviços e de substâncias químicas em áreas industriais. Entretanto, todas essas fontes se relacionam com áreas mais densamente urbanizadas, restando pelo menos 50% de áreas rurais e de florestas na RMSP.

O relatório mais recente divulgado pela CETESB (CETESB, 2018), que levantou os dados de qualidade da água subterrânea de 2016 a 2018 de todo o estado de São Paulo, o IPAS para os sistemas de aquíferos da RMSP foi de 61,4% (Aquífero Pré-Cambriano) e 44,4% (Aquífero São Paulo). Esses percentuais indicam que a qualidade da água subterrânea na região é classificada como regular e, localmente, necessitam de certos tratamentos para estarem aptas ao consumo humano. As substâncias que conferem ao Aquífero Pré-Cambriano não conformidade ao padrão de potabilidade e que possuem potencial risco à saúde humana são o Arsênio e o Chumbo. Já para o Aquífero São Paulo, as desconformidades são relativas aos padrões de Ferro e Manganês, que representam características organoléticas indesejáveis para o consumo da água *in natura*.

### 3.3.2 Distrito Federal

No DF, os aquíferos do domínio poroso exercem função de filtro e regulagem da vazão, pois recebem a infiltração de água da chuva e alimentam o domínio mais profundo, o fraturado. Este, portanto, é o responsável pela manutenção de qualidade da água subterrânea do aquífero sotoposto (Mizuno, 2012).

O controle das análises de qualidade das águas subterrâneas do DF fica a cargo da ADASA e da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB). Essa rede faz o controle quantitativo e qualitativo das águas dos aquíferos da região e é uma importante ferramenta de tomadas de decisões das agências.

Segundo Castanheira (2016), os principais usos que afetam a qualidade dos aquíferos do DF são a expansão da ocupação urbana, a inexistência de infraestrutura pública de saneamento básico, a utilização de esgotamento sanitário inadequado e o alto potencial poluidor das atividades em meio rural, como o uso de agrotóxicos e criação de

animais. Os dois principais sistemas de aquíferos do DF (poroso e fraturado) possuem águas de composições químicas diferentes.

As águas do domínio intergranular são mais ácidas, com menor concentração de sólidos totais dissolvidos, menor condutividade elétrica e, possivelmente, são mais jovens do que as águas do domínio fraturado (Lousada e Campos, 2005). Além disso, tanto os aquíferos rasos como os profundos, são pouco mineralizados devido à alta taxa de circulação da água e à baixa reatividade das rochas dos reservatórios (Campos *et al.*, 2007).

Segundo Arraes *et al.* (2006), de forma geral, a análise hidroquímica das águas do DF mostra que o cálcio é o cátion dominante, seguido pelo magnésio. Quanto aos ânions, há o predomínio do bicarbonato. As águas associadas ao domínio fraturado são classificadas, de forma geral, como bicarbonatadas cálcicas, enquanto que as águas do domínio poroso são classificadas como cloretadas sódicas (Mizuno, 2012).

Segundo Castanheira (2016), em seu estudo de diagnóstico da classificação da qualidade das águas dos aquíferos ou porções de aquíferos do Distrito Federal, 65,65 % dos aquíferos do DF apresentam águas de excelente qualidade e 15,7 % apresentam águas no limite da potabilidade para o consumo humano sem necessidade de tratamento.

### **3.4 Gestão de recursos hídricos**

Uma crise hídrica ocorre quando uma bacia hidrográfica sofre uma estiagem que reduz as precipitações pluviométricas aquém da quantidade mínima necessária para atender a suas demandas (Neto, 2015). Dessa forma, o sistema de abastecimento público daquela bacia passa a requerer reservas de água suficientes que garantam a segurança hídrica da região ou novas alternativas que supram tanto a demanda já existente como a futura.

#### *3.4.1 Região Metropolitana de São Paulo*

Segundo Capobianco (2018), na RMSP, o evento de estiagem ocorrido entre 2014 e 2016, foi agravado pela grande vulnerabilidade do sistema de governança hídrica da região, que operava em seu limite perante o crescimento populacional, além da má gestão do sistema de distribuição, da falta de saneamento e consequente contaminação dos cursos d'água e degradação dos mananciais. O crescimento da demanda não ocorre somente pelo crescimento da população e dos setores industriais, mas também pela necessidade de extensão nos sistemas de tratamento da rede distribuidora (CBH-AT, 2009).

Fica explícito que, ao se estudar uma crise hídrica, não se pode considerar fatores isolados como os condicionadores da situação. É preciso compreender como todos esses fatores interagem entre si, levando a um resultado de falta d'água para a população.

De acordo com o documento “Crise Hídrica, Estratégia e Soluções da SABESP para a Região Metropolitana de São Paulo” (SABESP, 2015), duas alternativas para a superação do período de crise hídrica foram propostas e implementadas:

- Rodízios: interrupções planejadas do fornecimento de água à população, baseadas em regras, com o objetivo de reduzir a vazão disponibilizada para o uso e, consequentemente, reduzir a vazão de retirada de água do manancial; e
- Redução das vazões retiradas do Sistema Produtor Cantareira: estratégia com base central em três pontos: i) implantação do Programa de Bônus, incentivando a redução do consumo de água; ii) transferência de água de outros sistemas produtores para a área atendida pelo Sistema Cantareira; e iii) intensificação do Programa de Combate às Perdas, melhorando assim, a manutenção do sistema como um todo.

Com a análise da gestão e das ações adotadas para enfrentar a crise hídrica nas duas regiões, é nítida a ausência ou pouca utilização das fontes de águas subterrâneas, tanto nas obras emergenciais como nos posteriores planejamentos para compor o cenário de segurança hídrica.

### *3.4.2 Distrito Federal*

No DF, o aumento populacional e a urbanização sem planejamento causaram uma ocupação de áreas críticas, que se constituiriam em locais de importância fundamental para a recarga dos aquíferos e que hoje passam por processos de impermeabilização do solo e destruição das nascentes. Dessa forma, a questão da água e de melhoria da segurança hídrica para a região é vista muito além de uma questão ambiental, mas como uma questão estratégica, já que o DF é a unidade da Federação com menor disponibilidade hídrica do país (Paviani e Brandão, 2018).

A crise hídrica na região começou com os baixos níveis dos reservatórios Descoberto e de Santa Maria (os maiores do sistema de abastecimento) após o fim da temporada chuvosa. Todavia, anteriormente, o “Atlas Brasil 2010: Resultado por estado”, da Agência Nacional de Águas (ANA, 2010) já alertava que o DF necessitaria de investimentos em seu sistema de abastecimento público para suprir a demanda futura com o crescimento populacional.

Segundo Paviani e Brandão (2018), algumas ações da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB) para responder à crise instalada foram:

- Racionamento de água nas áreas urbanas e rurais (encerrado em junho de 2018);
- Suspensão de novas permissões para perfurações de poços;

- Redução da vazão de água extraída do Sistema Descoberto; e
- Início das obras de construção de dois grandes empreendimentos, o Sistema Corumbá e o Sistema Lago Paranoá.

### 3.5 Sistemas de abastecimento de água

#### 3.5.1 Região Metropolitana de São Paulo

O abastecimento público da RMSP, segundo informativo no portal da SABESP (SABESP, 2019), é composto por oito sistemas, que compõem o Sistema Integrado Metropolitano. São eles: o Sistema Cantareira, o Alto Tietê, o Guarapiranga, o Rio Grande, o Rio Claro, o Alto Cotia, o Baixo Cotia e o São Lourenço (Tabela 3).

O Sistema Cantareira, maior sistema produtor da RMSP, é composto por seis represas, que juntas possuem uma capacidade de armazenamento de quase 1 bilhão de m<sup>3</sup> de água. As represas são a Atibainha, Cachoeira, Jacareí e Jaguari, localizadas na Bacia Hidrográfica dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (PCJ) e as represas Paiva Castro e Águas Claras, localizadas na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (BAT). A capacidade de produção é de 33 m<sup>3</sup>/s de água. O tratamento é realizado na estação de tratamento do Guaraú, a maior instalação de tratamento da Grande São Paulo, com destinação de água para cerca de 6,5 milhões de pessoas das zonas Norte, Central e parte das zonas Leste e Oeste da capital paulista, bem como os municípios de Barueri, Caeiras, Cajamar, Carapicuíba, Francisco Morato, Franco da Rocha, Guarulhos, Osasco e São Caetano do Sul.

O Sistema Alto Tietê, segundo maior sistema produtor da RMSP, é composto pelas represas Ponte Nova, Paraitinga, Biritiba, Jundiaí e Taiaçupeba, que juntas possuem capacidade de armazenamento de cerca de 575 milhões de m<sup>3</sup> de água. A capacidade de produção é de 15 m<sup>3</sup>/s. O tratamento é realizado na estação de Taiaçupeba, para atender a 4,2 milhões de habitantes da zona leste de São Paulo e dos municípios de Arujá, Ferraz de Vasconcelos, Itaquaquecetuba, Guarulhos, Mauá, Mogi das Cruzes, Poá e Suzano.

O Sistema Guarapiranga é composto pelas represas Guarapiranga, Capivari e Billings (braço Taquecetuba), que juntas armazenam cerca de 175 milhões m<sup>3</sup> de água. A capacidade de produção é de 15 m<sup>3</sup>/s. O tratamento é realizado na estação do Alto da Boa Vista, fornecendo água para cerca de 4,9 milhões de habitantes das zonas Sul e Sudoeste da capital, além dos municípios de Cotia, Embu das Artes, Itapecerica da Serra e Taboão da Serra.

O Sistema São Lourenço é composto pelo reservatório Cachoeira do França e possui capacidade de armazenamento de 88 milhões de m<sup>3</sup> de água. O tratamento é realizado na estação de Vargem Grande Paulista, que possui capacidade de tratamento de 6,4 m<sup>3</sup>/s de

água, para atender a 2 milhões de habitantes dos municípios de Barueri, Carapicuíba, Cotia, Itapevi, Jandira, Santana do Parnaíba e Vargem Grande Paulista.

O Sistema Rio Grande é composto pela represa Billings (braço Rio Grande) e possui capacidade de armazenamento de 110 milhões de m<sup>3</sup> de água. O tratamento é realizado na estação Rio Grande, produzindo cerca de 5,5 m<sup>3</sup>/s, para atender a 1,2 milhão de pessoas nos municípios de Diadema, Santo André e São Bernardo do Campo.

O Sistema Rio Claro é composto pela represa do Ribeirão do Campo, possui capacidade de armazenamento de 13,6 milhões m<sup>3</sup> de água e recebe água proveniente da transposição do Rio Guaratuba. São tratados cerca de 4 m<sup>3</sup>/s para atender 1,5 milhão de pessoas de parte da zona leste de São Paulo e parte dos municípios de Mauá, Ribeirão Pires e Santo André.

**TABELA 3:** Situação dos sistemas produtores gerenciados pela SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo). Fonte: site da SABESP, 2019.

Sistema	Armazenamento (m <sup>3</sup> )	Capacidade de Produção Média (m <sup>3</sup> /s)	Participação média na rede de abastecimento (%)
Cantareira	1 bilhão	33	40,67
Alto Tietê	575 milhões	15	18,48
Guarapiranga	171 milhões	15	18,48
São Lourenço	88 milhões	6,4	7,89
Rio Grande	110,2 milhões	5,5	6,78
Rio Claro	13,6 milhões	4	4,93
Alto Cotia	17 milhões	1,2	1,48
Baixo Cotia		1,05	1,29

O Sistema Alto Cotia é composto pelas represas Pedro Beicht e Cachoeira da Graça. Juntamente com o Sistema Baixo Cotia, possui capacidade de armazenamento de cerca de 17 milhões m<sup>3</sup> de água. O tratamento é feito na estação Alto Cotia, com produção de 1,2 m<sup>3</sup>/s, para atender cerca de 410 mil habitantes dos municípios de Cotia, Embu das Artes, Embu-Guaçu, Itapecerica da Serra e Vargem Grande Paulista

O Sistema Baixo Cotia é composto pela represa Isolina Inferior. O tratamento é realizado na estação Baixo Cotia, que possui capacidade de produção de 1,05 m<sup>3</sup>/s, para atender a cerca de 400 mil pessoas dos municípios de Barueri, Itapevi e Jandira.

Além disso, existem os sistemas isolados e menores, como o Ribeirão da Estiva, que possui capacidade de reservatório de 5.000 m<sup>3</sup> de água e atende o município de Rio Grande da Serra. Os municípios de Biritiba Mirim, Juquitiba, Guararema, Juquitiba, Mairiporã, Pirapora do Bom Jesus, São Lourenço da Serra, Salesópolis e Santa Isabel são atendidas por sistemas próprios, que utilizam manancial superficial e/ou subterrâneo para captação de água e distribuição.

### 3.5.2 *Distrito Federal*

No DF há cinco sistemas produtores controlados pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB), que captam tanto água superficial, como água subterrânea, abastecendo assim, a população da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal (RIDE), que além da área urbana e conurbada do DF, é formada por 19 municípios de Goiás e três de Minas Gerais. Ao todo, a CAESB é responsável por 25 pontos de captações de água superficial, 16 unidades de tratamento de água e um conjunto de poços profundos para captação de água subterrânea.

Vale ressaltar que os Sistemas Descoberto e Torto/Santa Maria possuem as duas principais Estações de Tratamento de Água (ETAs) da região, com capacidade média de 5,15 m<sup>3</sup>/s e 3,32 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, sendo as responsáveis pelo atendimento de mais de 80% da população do DF (Tabela 4).

**TABELA 4:** Situação dos sistemas produtores gerenciados pela CAESB (Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal). Fonte: CAESB, 2018.

SISTEMA PRODUTOR	PRINCIPAIS MANANCIAIS	Capacidade de Produção Média (m <sup>3</sup> /s)	Participação na rede de abastecimento (%)
Integrado Descoberto	Barragem do rio Descoberto	5,15	52,71
Integrado Torto/Santa Maria	Barragem Santa Maria e ribeirão do Torto	3,32	34,01
Integrado Sobradinho/Planaltina	Superficiais (rio Piripau e outros) e sub	0,94	9,60
Isolado Brazlândia	Superficiais e subterrâneos	0,15	1,49
Isolado São Sebastião	Poços subterrâneos	0,21	2,19

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Apresentação

Os métodos utilizados no presente trabalho de formatura têm sua sequência esquematizada no desenho de pesquisa apresentado na Figura 1.

Primeiramente, houve a preocupação em se estudar a contribuição do manancial subterrâneo em situações de crises hídricas locais, abordar sua real importância e as suas potencialidades de contribuição para a rede de abastecimento público, visando pesquisar o papel dos aquíferos com a segurança hídrica dos grandes centros urbanos.

Posteriormente, realizou-se a escolha da RMSP e do DF como áreas de estudo, por serem centros urbanos que passaram recentemente (2014 na RMSP e 2016, no DF) por

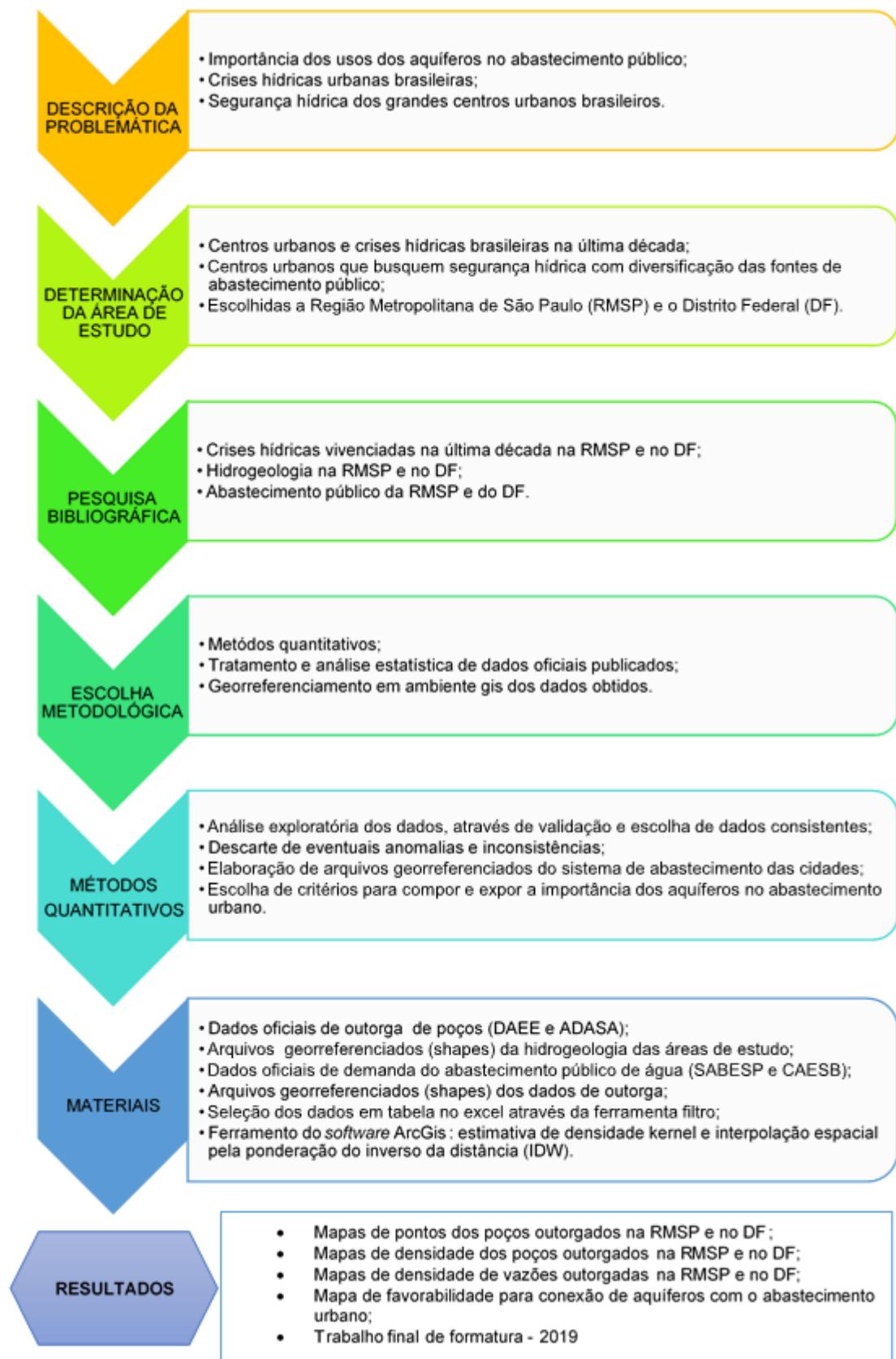
crises hídricas. As duas regiões buscaram alternativas que pudessem garantir o abastecimento público durante e após as respectivas crises, como o racionamento de vazão, ampliação e construção de novos sistemas produtores e a diversificação das fontes de abastecimento.

Em seguida, foram realizadas pesquisas bibliográficas acerca do tema, para melhor entendimento dos motivos das crises hídricas da última década, das características geológicas, hidrogeológicas e dos sistemas de abastecimento público das regiões estudadas. Nessa etapa, foram compilados os dados disponíveis, dentre eles os dados oficiais de outorgas de poços dos órgãos responsáveis de cada região.

Optou-se, então, por métodos quantitativos para analisar os dados oficiais publicados, com tratamento, análise estatística e posterior georreferenciamento e interpolação, em ambiente GIS, dos dados de interesse. Realizou-se uma análise exploratória dos dados de outorga e de demanda adquiridos, objetivando a eliminação de eventuais anomalias e inconsistências.

A análise exploratória foi realizada através do software Excel – Microsoft Office Professional Plus 2016, a partir da ferramenta de filtro, com critérios estabelecidos (apresentados no capítulo 5). Após o tratamento dos dados, utilizou-se o software ArcMap – ArcGis Desktop 10.5 para georreferenciamento, interpolação espacial e elaboração de mapas em ambiente GIS, através dos métodos de estimativa de densidade *kernel* e de interpolação espacial pela Ponderação do Inverso da Distância (IDW).

Após a análise estatística, foram estabelecidos critérios para classificar a favorabilidade da conexão dos usuários privados do manancial subterrâneo com a rede de abastecimento público.



**FIGURA 1:** Roteiro da metodologia utilizada no presente trabalho de formatura.

#### **4.1 Considerações críticas sobre a natureza dos dados**

Na realização das análises estatísticas alguns detalhamentos de decisões tomadas e considerações críticas devem ser pontuadas.

O ponto mais importante a ser ressaltado é a dificuldade e as limitações que os dados divulgados proporcionam. A maioria das informações são inconsistentes e de difícil acesso. Os resultados adquiridos nesse estudo foram baseados nos dados que estão publicados e podem haver discrepâncias com informações que, possivelmente, não foram divulgadas de forma clara pelos meios responsáveis.

Na análise dos registros cadastrados na RMSP, o campo ‘USUARIO’ indexado como ‘OUTROS’, que segundo classificação da Instrução Técnica DPO/DAEE-SP Nº 10, de 30/05/2017, atualizada em 02/04/2018, significa uso em atividades que não se enquadram nas demais discriminadas por aquela Instrução, averiguou-se que as finalidades cadastradas correspondentes são de uso privado, preponderantemente com a finalidade sanitária. Na análise dos registros cadastrados na RMSP, no campo ‘USUARIO’ indexado como ‘CONCESSION’ e ‘US.COMUNIT’, verificou-se que as finalidades respectivas cadastradas, predominantemente, classificam-se como ‘COMÉRCIO E SERVIÇOS’, conforme classificação da Instrução Técnica DPO/DAEE-SP Nº 10, de 30/05/2017, atualizada em 02/04/2018, caracterizando uso privado, em sua maioria com a finalidade sanitária.

Na análise dos registros cadastrados na RMSP, no campo ‘USUARIO’ indexados como ‘(VAZIAS)’, a qual não consta classificação da INSTRUÇÃO TÉCNICA DPO/DAEE-SP Nº 10, de 30/05/2017, atualizada em 02/04/2018, verificou-se que todos os 11 registros possuem dados de vazão iguais a zero e seus respectivos campos ‘SITUAC\_ADMIN(DAEE)’ estão cadastrados como ‘LIC PERFURACAO’, e como são caracterizados de finalidade sanitária, esses poços foram considerados de usos privados.

As informações sobre os usos e finalidades no cadastro da ADASA para o DF são compostas por mais de um registro para cada característica, assim têm-se: ‘FINALIDADE 1’, ‘FINALIDADE 2’, ‘SUBFINALIDADE 1’, etc., bem como os dados de vazões outorgadas.

No cadastro de outorga do manancial subterrâneo da ADASA, todos os processos com situação “Arquivada”, “Em análise”, “Indeferida” e sem *status* atribuído foram retirados dos arquivos utilizados. Já no cadastro de outorga do manancial subterrâneo da ADASA, estão incluídos tanto ‘Outorgas de Direito de Uso’ quanto ‘Registros de Uso’.

Os atos de outorga e de registo publicados antes de 2016, isto é, anteriores à crise hídrica do DF, também estão presentes na planilha de dados disponibilizada pela ADASA, sendo utilizados na análise aqueles com situações administrativas que possibilitam a operação do poço.

Como orientação dos dados disponibilizados, a ADASA alertou que existem dois conjuntos de vazões outorgadas. A primeira delas fornece o valor em litro por hora, enquanto a segunda apresenta o valor em litro por dia. Em muitas situações, o produto entre o número de horas de captação e a vazão horária outorgada não correspondem ao valor atribuído na respectiva coluna L/dia. Isso se deve ao arredondamento do tempo de captação (horas/dia), sempre para um valor inteiro acima. A estimativa da demanda mensal e anual outorgada para o usuário é feita a partir do segundo grupo de vazões, em L/dia, tendo em vista que fornece o valor mais aproximado do consumo real do usuário. Recomendou-se utilizar o valor L/h apenas em casos em que não se tenham disponíveis registros de vazão em L/dia, o que fora acatado na presente análise.

Além disso, a ADASA repassou que o banco de dados geográficos da agência está em constante processo de consolidação e revisão dos atos de outorga, de modo que continuamente novos processos estão sendo incluídos, enquanto outros revistos. Nesse sentido, é importante destacar que existirão interferências com ausência de informações, como número dos atos, data de publicação ou mesmo valores de vazão. Normalmente, essas lacunas são encontradas em atos antigos.

#### **4.2 Eventuais dificuldades surgidas e alterações nos objetivos originais**

A elaboração do conceito da conexão dos usos privados dos poços subterrâneos com o abastecimento público passou por aprimoramentos e evolução das ideias durante o desenvolvimento deste projeto, e por essa razão os métodos inicialmente adotados foram modificados no decorrer da pesquisa.

A primeira concepção da conexão entre o manancial subterrâneo e o sistema de abastecimento público considerava a ligação das múltiplas águas (superficial, subterrânea e reúso) para atendimento da demanda de consumo dos grandes centros urbanos. Subsequentemente, vislumbrava uma possível revisão da gestão integrada dos sistemas de abastecimento público para que tais usuários fossem inseridos de modo mais racional e proveitoso para a sociedade.

No entanto, a estatística oficial das outorgas analisadas trouxe aos pesquisadores envolvidos a concepção de que a porção do manancial subterrâneo outorgado para os usuários privados possui tamanha expressividade a ponto de não apenas compor a segurança hídrica das localidades pesquisadas, mas ser componente fundamental na resiliência atual das cidades. Desse modo, o conceito da conexão traz a relação diretamente proporcional dos volumes outorgados e utilizados pelos usuários privados do manancial subterrâneo com o bom funcionamento, ainda que atualmente irregular, dos abastecimentos públicos das regiões analisadas.

Em frente ao conceito de conexão reformulado, fez-se necessário rever os objetivos, métodos e materiais do Projeto Inicial desse trabalho de conclusão de curso. No entanto, cabe registrar que foram utilizadas todas as áreas de conhecimentos – hidrogeologia, estatística, geoprocessamento e recursos hídricos – propostas inicialmente, além de serem executados, e nessa monografia apresentados, todos os produtos prometidos.

## 5. RESULTADOS

Para a RMSP, os dados foram adquiridos através do site do DAEE, no portal de Outorgas e na seção de “Relatório de Recursos Hídricos cadastrados e outorgados pelo DAEE” (DAEE, 2019). Os dados foram acessados no dia 25 de março de 2019. Ao todo, foram obtidas 39 planilhas, uma para cada município da RMSP, com dados de todas as outorgas cadastradas no sistema DAEE, as quais contemplam o manancial subterrâneo e superficial. O número obtido de total de outorgas é de 28.769, sendo 11.512 referentes ao manancial subterrâneo. Dentre essas, 9.079 com situações administrativas que permitam que os poços estejam em operação.

A filtragem dos dados, contabilizando os usuários públicos e privados e as diferentes finalidades, segue o disposto no fluxograma esquemático a seguir (Figura 2), de acordo com as etapas de A a H, estabelecidas com o intuito de excluir dados inconsistentes.

A primeira etapa de filtragem é a etapa A, na qual foram selecionadas as outorgas de poços com usos para captação ou extração de água subterrânea. A etapa B selecionou os poços de acordo com a respectiva situação administrativa. Foram escolhidas as outorgas com situações que possibilitassem a operação do poço, e excluídas as seguintes situações: desativado; excluído; requerimento indeferido; tamponado; e outorgas sem classificação.

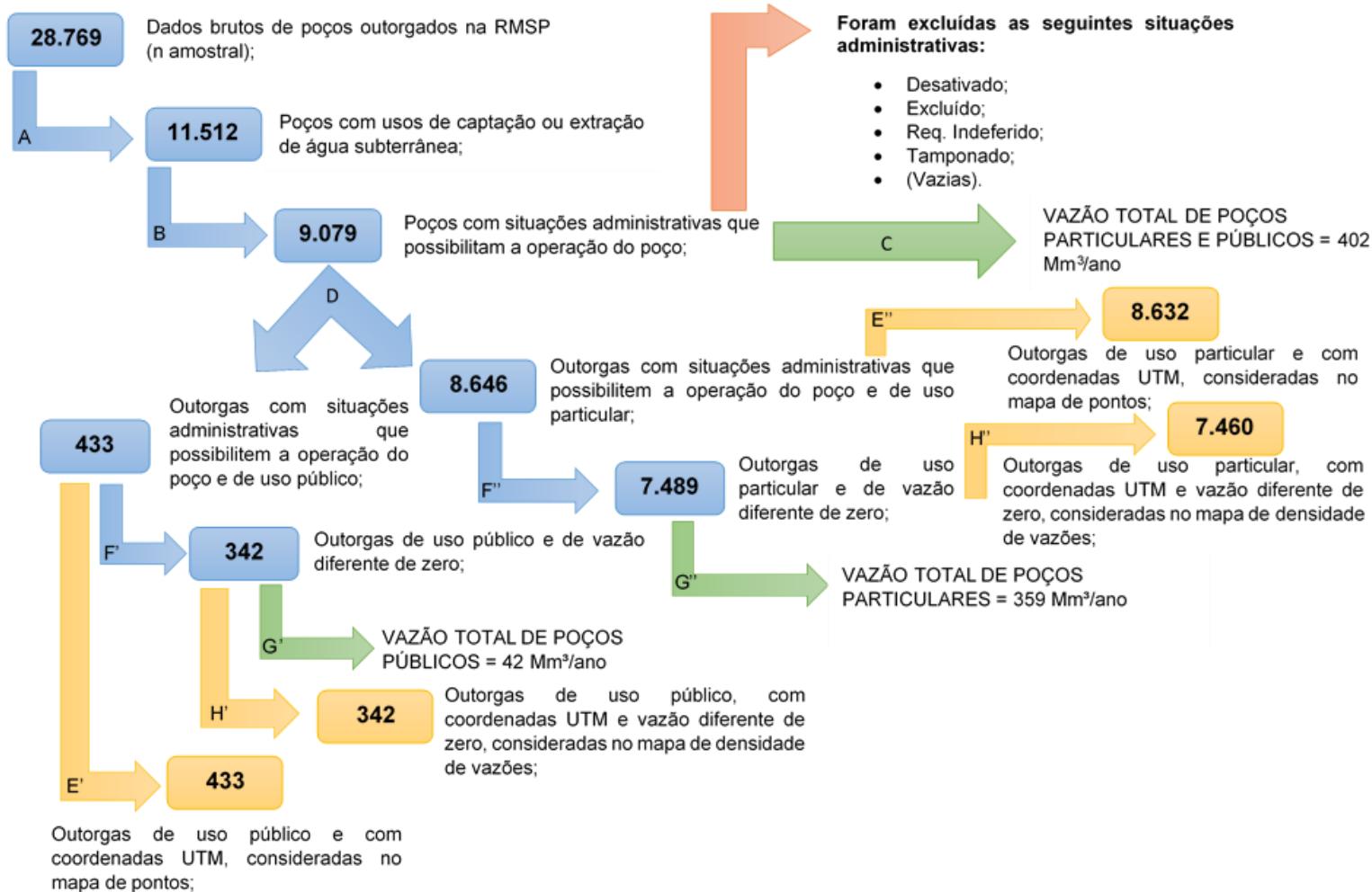
Na etapa C foi calculada a vazão total outorgada para os 9.079 poços selecionados, entre particulares e públicos. O valor da vazão outorgada por poço ( $Q$ ), em  $\text{m}^3/\text{ano}$ , foi obtido através da equação a seguir, multiplicando-se os valores de  $q$  (vazão em  $\text{m}^3/\text{h}$ ),  $h$  (horas por dia),  $d$  (dias por mês) e  $m$  (meses por ano):

$$Q = q * h * d * m \quad (1)$$

Vale ressaltar que, dentre os poços selecionados na etapa C, ocorrem três situações distintas: outorgas com vazão horária (' $q$ ') e informações de regime de operação (' $h$ ', ' $d$ ' e ' $m$ ') diferentes de zero; outorgas com vazão horária diferente de zero, mas sem informações de regime de operação; e outorgas com vazão horária igual a zero, com ou sem informações do regime de operação. Se a outorga se enquadrasse no primeiro caso, com todas as informações completas, aplicou-se a equação 1. Outorgas enquadradas no segundo caso tiveram seus valores de  $h$ ,  $d$  ou  $m$  iguais a zero, substituídos, respectivamente, por 1 (uma hora por dia), 30 (trinta dias no mês) e 12 (doze meses no ano). Posteriormente, aplicou-se a equação 1. Outorgas enquadradas na terceira situação

foram descartadas da análise. Todos os valores de **Q** foram somados, resultando no valor total de vazão outorgada para os poços privados e públicos, em operação.

Na etapa D, separaram-se para análise as outorgas de poços de usos públicos das outorgas de usos privados. Os dados obtidos e a classificação dos usuários das outorgas de poços em operação dos usos públicos e privados estão individualizados e dispostos na Tabela 5, considerando a categorização publicada na Instrução Técnica DPO/DAEE-SP Nº 10, de 30/05/2017, atualizada em 02/04/2018 e na Resolução Conjunta SMA/SERHS/SES nº 3, de 21/06/2006. Assim, combinou-se o processamento estatístico para a RMSP (Tabela 6) aos dados de demanda de água da RMSP em 2018 (SABESP, 2018), o que permitiu concluir o dimensionamento da conexão dos usos privados com o abastecimento público da região.



**FIGURA 2:** Fluxograma esquemático da análise exploratória realizada com os dados do DAEE de outorgas de poços para a RMSP, março de 2019.

**TABELA 5:** Classificação da finalidade das outorgas de usuários privados e públicos, quantidade de outorgas e vazão outorgada (m<sup>3</sup>/ano) por finalidade, para as outorgas de poços em operação da RMSP. Fonte: Instrução Técnica DPO/DAEE-SP nº10, de 30/05/2017 e Resolução Conjunta SMA/SERHS/SES nº3, de 21/06/2006.

ABREVIACÃO DO USUÁRIO	CLASSIFICAÇÃO	USO	QUANT.	VAZÃO (m <sup>3</sup> /ano)
AQUICULTOR (Aquicultura)	<b>Rural:</b> uso em atividade rural, como aquicultura e dessedentação de animais, exceto a irrigação.	PRIVADO	27	381.877
AVICULTOR (Avicultura)	<b>Rural:</b> uso em atividade rural, como aquicultura e dessedentação de animais, exceto a irrigação.	PRIVADO	6	260.640
COMERCIANT (Comerciante)	<b>Comércio e Serviços:</b> uso em empreendimentos comerciais e de prestação de serviços (shopping center, posto de gasolina, hotel, clube, hospital etc.), para o desenvolvimento de suas atividades incluindo o uso sanitário.	PRIVADO	404	11.013.998
CONCESSION (Concessionária)	<b>Comércio e Serviços:</b> uso em empreendimentos comerciais e de prestação de serviços (shopping center, posto de gasolina, hotel, clube, hospital etc.), para o desenvolvimento de suas atividades incluindo o uso sanitário.	PRIVADO	99	4.629.240
CONDOMINIO	<b>Doméstico:</b> uso sanitário em residências, urbano ou rural, incluindo consumo humano.	PRIVADO	720	35.324.191
CONSTRUTOR	<b>Comércio e Serviços:</b> uso em empreendimentos comerciais e de prestação de serviços (shopping center, posto de gasolina, hotel, clube, hospital etc.), para o desenvolvimento de suas atividades incluindo o uso sanitário.	PRIVADO	132	2.358.243
CRIADOR	<b>Rural:</b> uso em atividade rural, como aquicultura e dessedentação de animais, exceto a irrigação.	PRIVADO	5	442.584
EMPSERVILAV (Empresa de Serviço de Lavagem)	<b>Comércio e Serviços:</b> uso em empreendimentos comerciais e de prestação de serviços (shopping center, posto de gasolina, hotel, clube, hospital etc.), para o desenvolvimento de suas atividades incluindo o uso sanitário.	PRIVADO	3	24.604
INDUSTRIAL	<b>Industrial:</b> uso em empreendimentos industriais, nos seus sistemas de processo, refrigeração, uso sanitário, combate a incêndios e outros.	PRIVADO	2734	126.225.535
IRRIG/AQUI (Irrigação/Aquicultura)	<b>Irrigação:</b> uso em irrigação de culturas agrícolas.	PRIVADO	2	11.980
IRRIGANTE	<b>Irrigação:</b> uso em irrigação de culturas agrícolas.	PRIVADO	121	2.289.569
LOTEADOR	<b>Doméstico:</b> uso sanitário em residências, urbano ou rural, incluindo consumo humano.	PRIVADO	173	7.523.325

SIGLA USUARIO	CLASSIFICAÇÃO	USO	QUANT.	VAZÃO (m³/ano)
MINERADOR	<b>Mineração:</b> toda água utilizada em processos de mineração por meio de desmonte hidráulico ou para lavagem de material minerado, incluindo uso sanitário	PRIVADO	105	10.030.429
OUTROS	<b>Outros:</b> uso em atividades que não se enquadram nas acima discriminadas.	PRIVADO	163	3.451.986
PECUARISTA	<b>Rural:</b> uso em atividade rural, como aquicultura e dessedentação de animais, exceto a irrigação.	PRIVADO	2	316
PUBLICO	<b>Doméstico:</b> uso sanitário em residências, urbano ou rural, incluindo consumo humano.	PÚBLICO	432	42.354.044
SOLALT I (Solução Alternativa Coletiva Tipo II)	<b>Solução Alternativa Coletiva Tipo I:</b> modalidade de abastecimento com captação de água subterrânea destinada a uso próprio, incluindo entre outros poços comunitários e condominiais.	PRIVADO	2328	117.553.386
SOLALT II (Solução Alternativa Coletiva Tipo II)	<b>Solução Alternativa Coletiva Tipo II:</b> modalidade de abastecimento com captação de água subterrânea destinada a uso de terceiros, por meio da distribuição por veículos transportadores.	PRIVADO	196	21.235.155
SUINOCULT (Suíno Cultura)	<b>Rural:</b> uso em atividade rural, como aquicultura e dessedentação de animais, exceto a irrigação.	PRIVADO	1	14.400
TERMOELETTR (Termoelétrica)	<b>Industrial:</b> uso em empreendimentos industriais, nos seus sistemas de processo, refrigeração, uso sanitário, combate a incêndios e outros.	PÚBLICO	1	9.000
US. COMUNIT (Uso Comunitário)	<b>Comércio e Serviços:</b> uso em empreendimentos comerciais e de prestação de serviços (shopping center, posto de gasolina, hotel, clube, hospital etc.), para o desenvolvimento de suas atividades incluindo o uso sanitário.	PRIVADO	168	5.306.230
US. RURAL (Uso Rural)	<b>Rural:</b> uso em atividade rural, como aquicultura e dessedentação de animais, exceto a irrigação.	PRIVADO	443	4.517.736
US. URBANO (Uso Urbano)	<b>Doméstico:</b> uso sanitário em residências, urbano ou rural, incluindo consumo humano.	PRIVADO	803	7.232.035
(VAZIAS)	<b>NÃO CLASSIFICADA</b>	PRIVADO	11	0

**TABELA 6:** Resumo da análise exploratória e do processamento estatístico dos dados de outorgas de poços em operação disponibilizados pelo DAEE para a RMSP.

DADOS DA RMSP (DAEE)		OBSERVAÇÃO DO CADASTRO		RESULTADO
TOTAL DE OUTORGAS ('n' AMOSTRAL)				28.769
ETAPA A:		INCLUI OS USOS:		
OUTORGAS PARA USO DO MANACIAL SUBTERRÂNEO		CAPTAÇÃO SUBTERRÂNEA - PORTARIA	65	
		CAPTAÇÃO SUBTERRÂNEA	11.424	
		EXTRAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA	23	
		TOTAL	11.512	
ETAPA B:		EXCLUÍDAS AS SITUAÇÕES ADMINISTRATIVAS: DESATIVADO; EXCLUÍDO; REQUERIMENTO INDEFERIDO; TAMPONADO; (VAZIOS)		
OUTORGAS COM SITUAÇÃO ADMINISTRATIVA QUE POSSIBILITA A OPERAÇÃO DO POÇO <b>(USOS PÚBLICOS e USOS PRIVADOS)</b>		TOTAL	9.079	
ETAPA C:		VAZÕES OUTORGADAS <b>(USOS PÚBLICOS e USOS PRIVADOS)</b>		VAZÃO TOTAL (Q) 402 MILHÕES (m <sup>3</sup> /ano)
ETAPA D:		INCLUI OS USUÁRIOS PÚBLICOS E PRIVADOS DA TABELA 5		
OUTORGAS PARA USO DO MANACIAL SUBTERRÂNEO, COM SITUAÇÃO ADMINISTRATIVA QUE POSSIBILITA A OPERAÇÃO DO POÇO <b>(USOS PÚBLICOS e PRIVADOS)</b>		TOTAL (PÚBLICOS)	433	
		TOTAL (PRIVADOS)	8.636	
ETAPA E':		UTILIZADO EM: MAPA DENSIDADE DE POÇOS OUTORGADOS		
OUTORGAS COM COORDENADAS UTM <b>(USOS PÚBLICOS)</b>		TOTAL	433	
ETAPA F':				
OUTORGAS PARA USO DO MANACIAL SUBTERRÂNEO, COM SITUAÇÃO ADMINISTRATIVA QUE POSSIBILITA A OPERAÇÃO DO POÇO E COM DADO DE VAZÃO <b>(USOS PÚBLICOS)</b>		TOTAL	342	
ETAPA G':		VAZÕES OUTORGADAS <b>(USOS PÚBLICOS)</b>		VAZÃO TOTAL (Q) 42 MILHÕES (m <sup>3</sup> /ano)
ETAPA H':		UTILIZADO EM: MAPA DE DENSIDADE DE VAZÕES OUTORGADAS		
OUTORGAS PARA USO DO MANACIAL SUBTERRÂNEO, COM SITUAÇÃO ADMINISTRATIVA QUE POSSIBILITA A OPERAÇÃO DO POÇO, COM DADO DE VAZÃO E COORDENADAS UTM <b>(USOS PÚBLICOS)</b>		TOTAL	342	
ETAPA E'':		UTILIZADO EM: MAPA DENSIDADE DE POÇOS OUTORGADOS		
OUTORGAS COM COORDENADAS UTM <b>(USOS PRIVADOS)</b>		TOTAL	8.632	
ETAPA F'':				
OUTORGAS PARA USO DO MANACIAL SUBTERRÂNEO, COM SITUAÇÃO ADMINISTRATIVA QUE POSSIBILITA A OPERAÇÃO DO POÇO E COM DADO DE VAZÃO <b>(USOS PRIVADOS)</b>		TOTAL	7.489	
ETAPA G'':		VAZÕES OUTORGADAS <b>(USOS PRIVADOS)</b>		VAZÃO TOTAL (Q) 359 MILHÕES (m <sup>3</sup> /ano)
ETAPA H''		UTILIZADO EM: MAPA DE DENSIDADE DE VAZÕES OUTORGADAS		
OUTORGAS PARA USO DO MANACIAL SUBTERRÂNEO, COM SITUAÇÃO ADMINISTRATIVA QUE POSSIBILITA A OPERAÇÃO DO POÇO, COM DADO DE VAZÃO E COORDENADAS UTM <b>(USOS PRIVADOS)</b>		TOTAL	7.460	

Para o DF, os dados foram adquiridos através de solicitação à ADASA no dia 30 de julho de 2019. Ao todo, foram recebidos os dados de 5.921 poços, com situações administrativas de outorgas válidas e vencidas. Parte dos dados foram consistidos pela própria agência, que retirou os processos com as situações “arquivado”, “em análise” ou “indeferido”.

A filtragem dos dados seguiu o fluxograma esquemático a seguir (Figura 3), de acordo com as etapas de A a E, estabelecidas com o intuito de excluir dados inconsistentes ou que não pudessem ser utilizados no estudo.

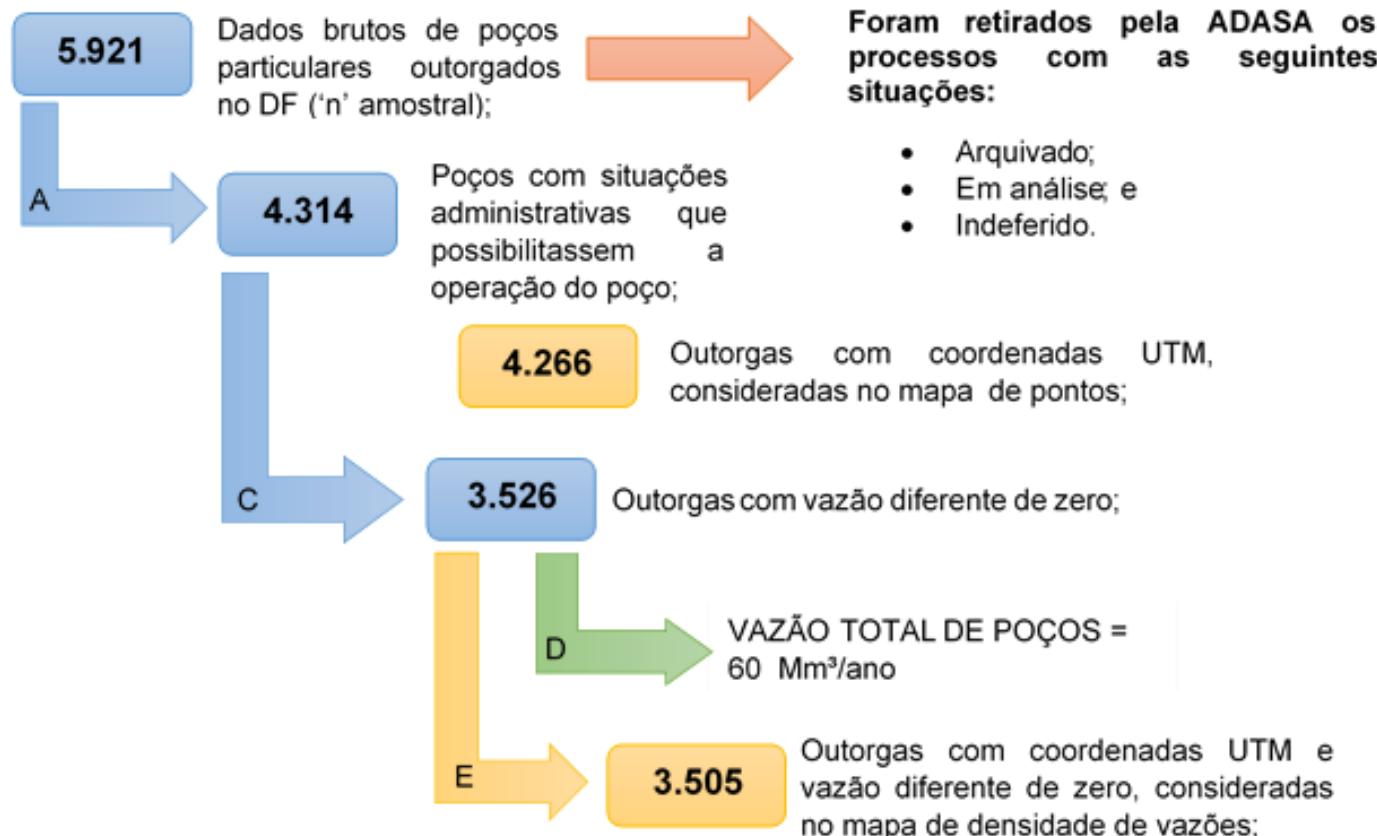
A primeira etapa de filtragem foi a etapa A, no qual foram selecionadas 4.314 outorgas de poços, com situações administrativas que possibilassem a operação do poço. Nesse caso, foram excluídas as outorgas com a situação administrativa “vencida”.

A etapa B selecionou 4.266 outorgas, que além de possuírem situações administrativas que possibilassem a operação do poço, possuíam dados de coordenadas UTM consistentes e que permitiam a utilização do dado em ambiente GIS, para a confecção do mapa de pontos.

A etapa C excluiu as outorgas de poços com vazão igual a zero, retirando-as da etapa D, do cálculo da vazão total outorgada, e da etapa E, de seleção dos dados com vazão diferente de zero e com coordenadas UTM consistentes, para utilização na confecção do mapa de densidade de vazões.

Vale ressaltar que a vazão total foi calculada a partir da somatória da equação 1, com a diferença de que, para a RMSP, o valor da vazão outorgada é horária, enquanto que para o DF, o valor da vazão outorgada é diário. Por fim, multiplicou-se esse valor pelo número de dias outorgados em cada mês.

Para maior detalhamento das informações adquiridas, realizou-se uma análise estatística das finalidades e usos no cadastro da ADASA (Tabela 7). Existem cinco grupos de finalidades para cada interferência (poço outorgado), conforme solicitado pelo usuário. Assim como prática da própria agência, convencionou-se adicionar as finalidades em ordem decrescente de importância. Como exemplo, um dado usuário pode solicitar as finalidades de Irrigação, Criação de Animais e Abastecimento Humano, cada uma com demandas específicas, solicitadas no requerimento de outorga. Nessa pesquisa foram considerados os primeiros dados e os mais precisos, ou seja, o da ‘FINALIDADE 1’, para caracterização dos usos e das vazões referentes a esses usos. O resumo da análise exploratória dos dados de outorga de poços no DF é apresentado na Tabela 8.



**FIGURA 3:** Fluxograma esquemático da análise exploratória realizada com os dados da ADASA de outorgas de poços para o DF, julho de 2019.

**TABELA 7:** Classificação das finalidades das outorgas de usuários privados, quantidade de outorgas e vazão outorgada (m<sup>3</sup>/ano) por finalidade, para as outorgas de poços em operação do DF. Fonte: ADASA.

FINALIDADE	Nº DE OUTORGAS PRIVADAS	VAZÃO (m <sup>3</sup> /ano)
ABASTECIMENTO HUMANO	1.669	31.451.099,73
ABASTECIMENTO HUMANO-CRIAÇÃO DE ANIMAIS	71	1.707.550,3
ABASTECIMENTO HUMANO-CRIAÇÃO DE ANIMAIS-INDUSTRIAL	3	684.375
ABASTECIMENTO HUMANO-CRIAÇÃO DE ANIMAIS-INDUSTRIAL-IRRIGAÇÃO	5	90.457,85
ABASTECIMENTO HUMANO-CRIAÇÃO DE ANIMAIS-IRRIGAÇÃO	90	738.550,751
ABASTECIMENTO HUMANO-CRIAÇÃO DE ANIMAIS-IRRIGAÇÃO-PSICULTURA	16	175.017,865
ABASTECIMENTO HUMANO-CRIAÇÃO DE ANIMAIS-IRRIGAÇÃO-USO COMERCIAL	2	0
ABASTECIMENTO HUMANO-CRIAÇÃO DE ANIMAIS-USO COMERCIAL	1	0
ABASTECIMENTO HUMANO-INDUSTRIAL	12	148.346,95
ABASTECIMENTO HUMANO-INDUSTRIAL-IRRIGAÇÃO	1	0
ABASTECIMENTO HUMANO-IRRIGAÇÃO	60	463.902,21
ABASTECIMENTO HUMANO-IRRIGAÇÃO-LAZER	1	0
ABASTECIMENTO HUMANO-IRRIGAÇÃO-PSICULTURA	9	51.542,745
ABASTECIMENTO HUMANO-IRRIGAÇÃO-USO COMERCIAL	4	15.492,425
ABASTECIMENTO HUMANO-LAZER	1	0
ABASTECIMENTO HUMANO-USO COMERCIAL	2	0
CRIAÇÃO DE ANIMAIS	166	1.336.953,277
CRIAÇÃO DE ANIMAIS-INDUSTRIAL	1	7.300
CRIAÇÃO DE ANIMAIS-IRRIGAÇÃO	19	80.199
CRIAÇÃO DE ANIMAIS-IRRIGAÇÃO-LAZER	1	21.728,45
CRIAÇÃO DE ANIMAIS-IRRIGAÇÃO-PSICULTURA	1	42.285,25
INDUSTRIAL	141	4.121.647,54
INDUSTRIAL-IRRIGAÇÃO	3	51.465
IRRIGAÇÃO	1.692	18.109.068,18
IRRIGAÇÃO-OUTROS	1	6.205
IRRIGAÇÃO-PSICULTURA	3	76.261,275
IRRIGAÇÃO-USO COMERCIAL	6	62.790,585
OUTROS	143	289.401,9
USO COMERCIAL	156	737.933,39
(VAZIAS)	34	0
<b>TOTAL</b>	<b>4.314</b>	<b>60 Mm<sup>3</sup>/ano</b>

**TABELA 8:** Resumo da análise exploratória e do processamento estatístico dos dados de outorgas de poços em operação disponibilizados pela ADASA para o DF.

DADOS DE OUTORGAS DO DF (ADASA)	OBSERVAÇÃO DO CADASTRO	RESULTADO
TOTAL DE OUTORGAS DE USO DO MANACIAL SUBTERRÂNEO – USO PRIVADO ('n' AMOSTRAL)		5.921
<b>ETAPA A:</b>		
OUTORGAS PARA USO DO MANACIAL SUBTERRÂNEO E SITUAÇÃO ADMINISTRATIVA QUE POSSIBILITA A OPERAÇÃO DO POÇO	<u>EXCLUIDA A SITUAÇÃO ADMINISTRATIVA: VENCIDA</u>	
	TOTAL	4.314
<b>ETAPA B:</b>		
OUTORGAS COM COORDENADAS UTM	<b>UTILIZADO EM:</b> MAPA DENSIDADE DE POÇOS OUTORGADOS	
	TOTAL	4.266
<b>ETAPA C:</b>		
OUTORGAS PARA USO DO MANACIAL SUBTERRÂNEO, SITUAÇÃO ADMINISTRATIVA QUE POSSIBILITA A OPERAÇÃO DO POÇO E COM DADO DE VAZÃO	TOTAL	3.526
<b>ETAPA D:</b>		
VAZÃO OUTORGADA	VAZÃO TOTAL (Q)	60 Mm <sup>3</sup> /ano
<b>ETAPA E:</b>		
OUTORGAS PARA USO DO MANACIAL SUBTERRÂNEO, COM SITUAÇÃO ADMINISTRATIVA QUE POSSIBILITA A OPERAÇÃO DO POÇO, COM DADO DE VAZÃO E COORDENADAS UTM	<b>UTILIZADO EM:</b> MAPA DE DENSIDADE DE VAZÕES OUTORGADAS	
	TOTAL	3.505

Ambas análises estatísticas possibilitaram a seleção dos dados, dentro do universo de interesse que possuíssem atributos de coordenadas geográficas, para se disponibilizar em mapas a conexão dos usuários privados do manancial subterrâneo com a rede de abastecimento público das regiões de estudo. Os critérios de seleção para tal georreferenciamento estão na Tabela 6 (RMSP) e Tabela 8 (DF).

Os mapas elaborados a partir dos dados outorgados dos mananciais subterrâneos foram:

- Mapa de densidade dos poços outorgados para usos privados;
- Mapa de vazão outorgada para usos privados;
- Mapa de favorabilidade para conexão dos usos privados do manancial subterrâneo com a rede de abastecimento público (conceito *i*); e
- Mapa de favorabilidade para estudos da conexão dos usos privados do manancial subterrâneo com a rede de abastecimento público (Conceito *ii*).

Os mapas de densidade de poços outorgados (mapas 1 e 2) foram feitos a partir da estimativa de densidade de *kernel*, que é capaz de calcular a densidade dos pontos em uma vizinhança ao redor de cada poço outorgado. Basicamente, calcula-se a influência da presença de cada ponto no mapa em todos os outros pontos da vizinhança. Utilizou-se esse método para calcular a densidade de poços outorgados nas áreas estudadas, objetivando a

análise de locais com mais poços existentes e, possivelmente, com maiores potenciais de contribuições na estabelecida conexão dos poços privados à rede de abastecimento público.

Os mapas de vazão, mapas 3 e 4, foram elaborados utilizando o método de interpolação espacial pela Ponderação do Inverso da Distância (IDW), que pressupõe que os pontos mais próximos entre si são mais parecidos do que os pontos mais distantes. Dessa forma, para predizer um valor para um ponto não medido, o IDW usará os valores conhecidos, sendo que os pontos mais próximos terão maior peso que os pontos mais distantes (Jakob e Young, 2016). A fórmula de cálculo é:

$$Z(s_o) = \sum_{i=1}^N \gamma_i Z(s_i)$$

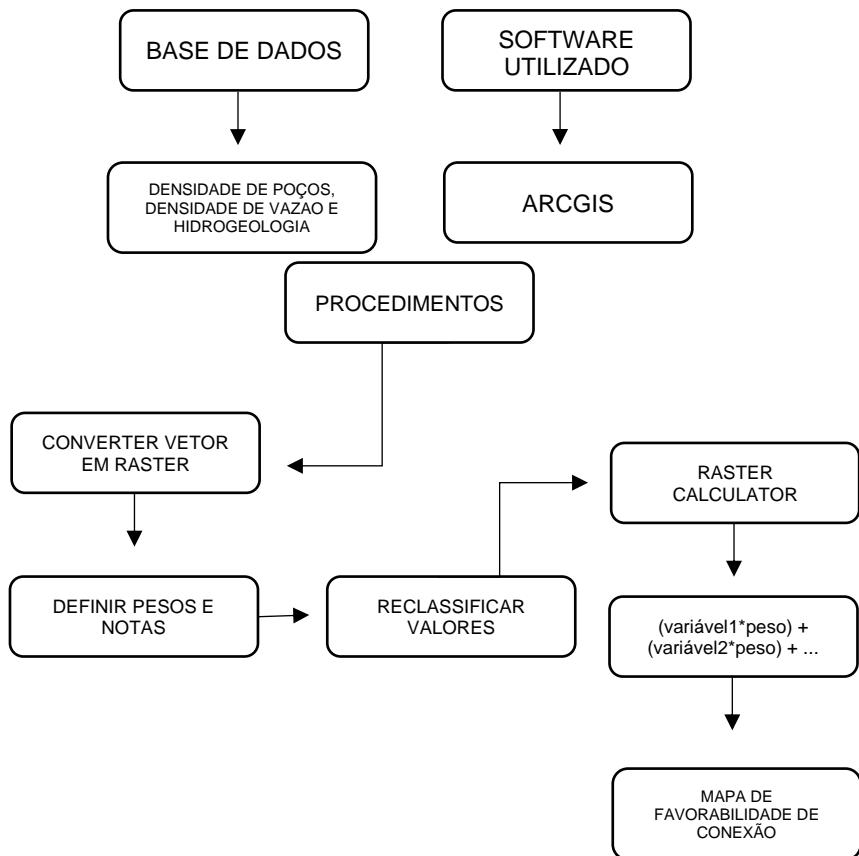
onde  $Z(s_o)$  é o valor a ser predito para a posição  $s_o$ ,  $N$  é o número de pontos existentes a serem utilizados ao redor do valor de  $Z(s_o)$ ,  $\gamma_i$  são os pesos de cada ponto conhecido e  $Z(s_i)$  é o valor observado na posição conhecida  $s_i$ .

Esse método simples e clássico é recomendado para regiões com alta densidade de amostras. Recomenda-se usar essa técnica para estimar superfícies com variações suaves e para uma interpretação preliminar da interpolação de uma superfície (Deus, 2010).

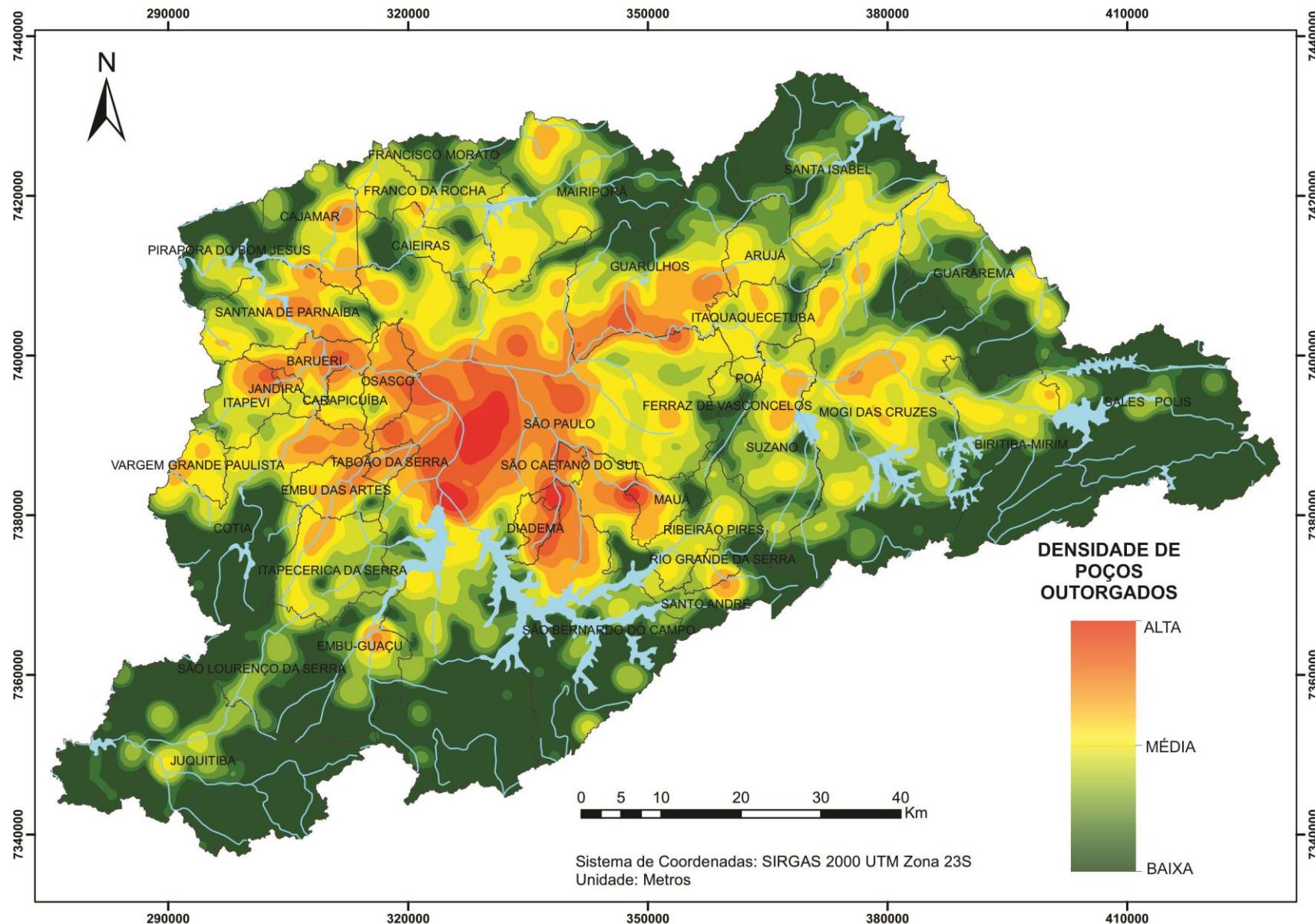
Para a elaboração dos mapas de favorabilidade para conexão dos usos privados do manancial subterrâneo com a rede de abastecimento público (conceito *i* e *ii*), mapas 5 a 8, foi utilizada uma análise multicritério, através do método de álgebra de mapas, que associa a cada local de uma dada área de estudo um valor quantitativo ou qualitativo, que permite a investigação combinada de variáveis e a geração de um mapa como produto final (Cordeiro *et al.*, 2004). O processo seguiu o fluxograma a seguir (Figura 4) e o tutorial no Anexo I.

Os mapas 5 e 6 revelam as áreas onde o uso privado do manancial subterrâneo é essencial para suprir a demanda das cidades, necessitando de atenção especial dos gestores de recursos hídricos, a fim de assegurar a segurança hídrica das regiões escolhidas nessa pesquisa para estudo.

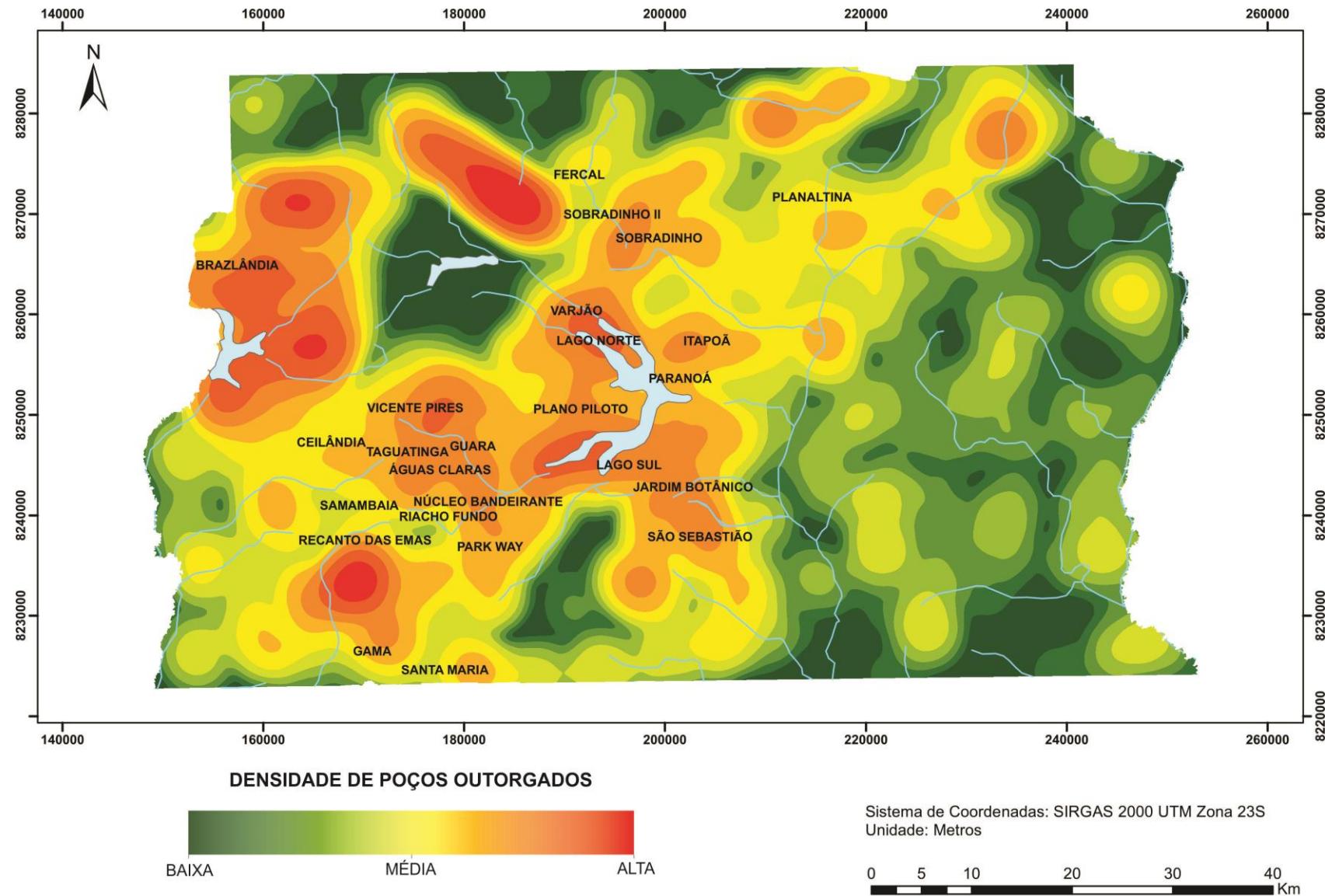
Os mapas 7 e 8 revelam as áreas onde o uso privado do manancial subterrâneo futuramente poderia realizar um aporte de água bruta para os componentes dos sistemas de abastecimento público, ou seja, para fins de regularização dos reservatórios superficiais ou para aumento de volume de água bruta para tratamento nas ETAs, as quais podem ser alvos de estudos futuros sobre a viabilidade dessa conexão. Para os cálculos dos mapas do conceito *ii* foram utilizados somente as informações alocadas dentro de uma área de raio de 10 km a partir de cada ETA da região, com o intuito de demonstrar os locais prioritários para futuros estudos, por conta da proximidade com os sistemas de abastecimento.



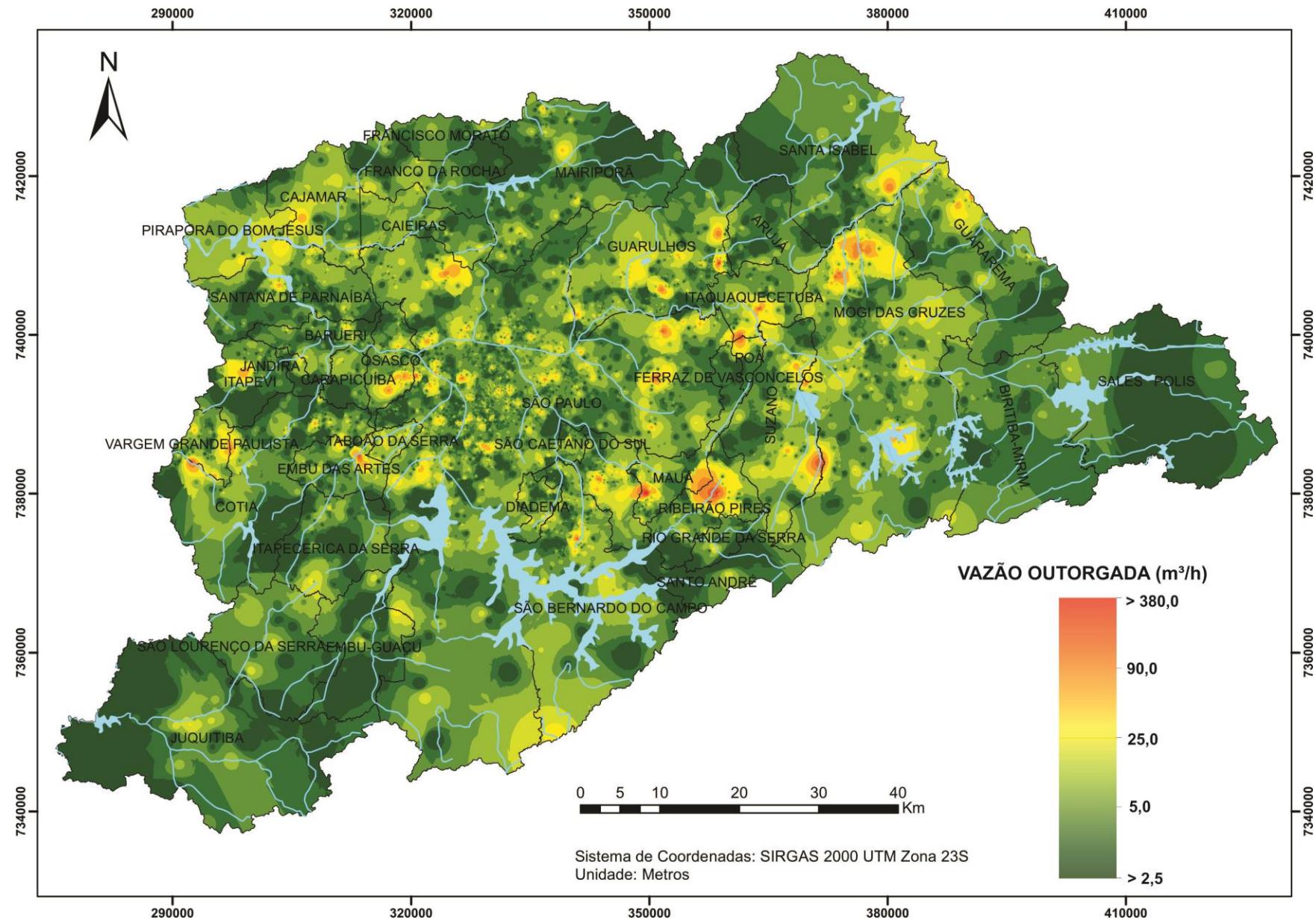
**FIGURA 4:** Fluxograma esquemático do método utilizado para a confecção dos mapas de favorabilidade para conexão dos usos públicos e privados das múltiplas águas no abastecimento da RMSP e do DF.



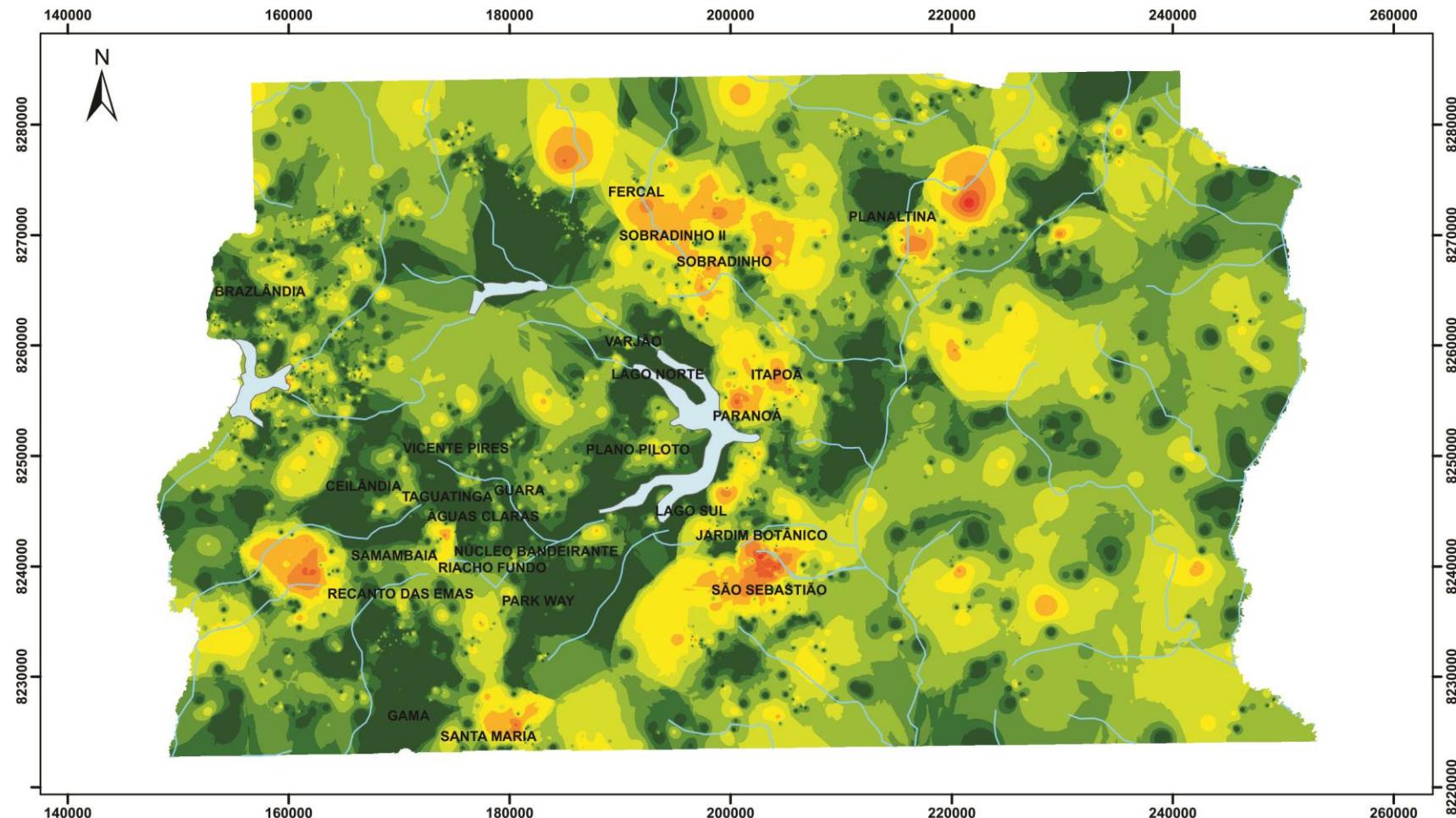
**FIGURA 5:** Mapa 1- Densidade de poços outorgados na RMSP.



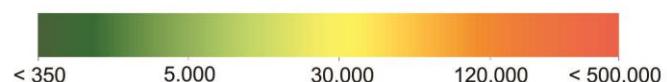
**FIGURA 6:** Mapa 2- Densidade de poços outorgados no DF.



**FIGURA 7:** Mapa 3- Vazão outorgada na RMSP.



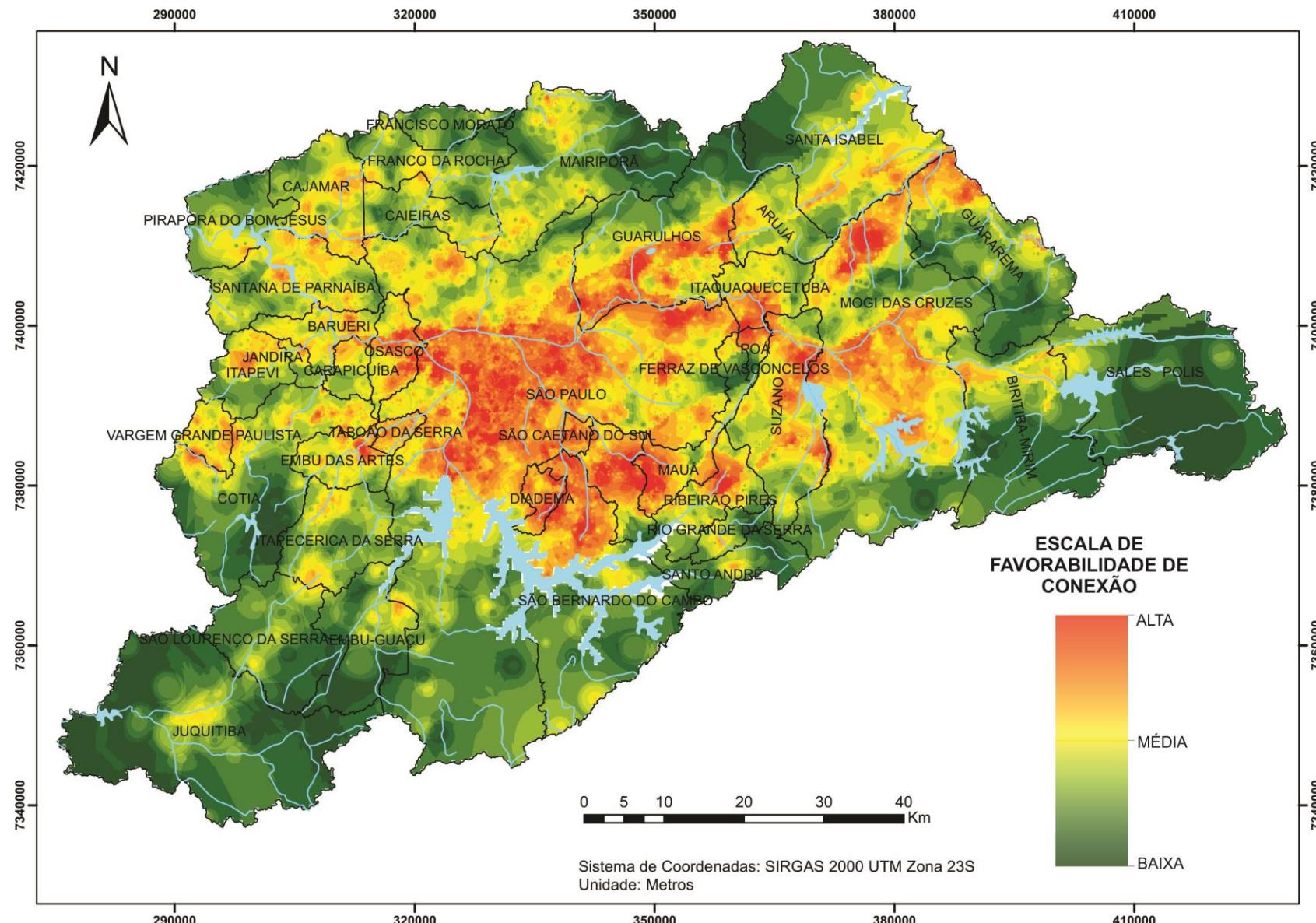
VAZÃO OUTORGADA (m<sup>3</sup>/ano)



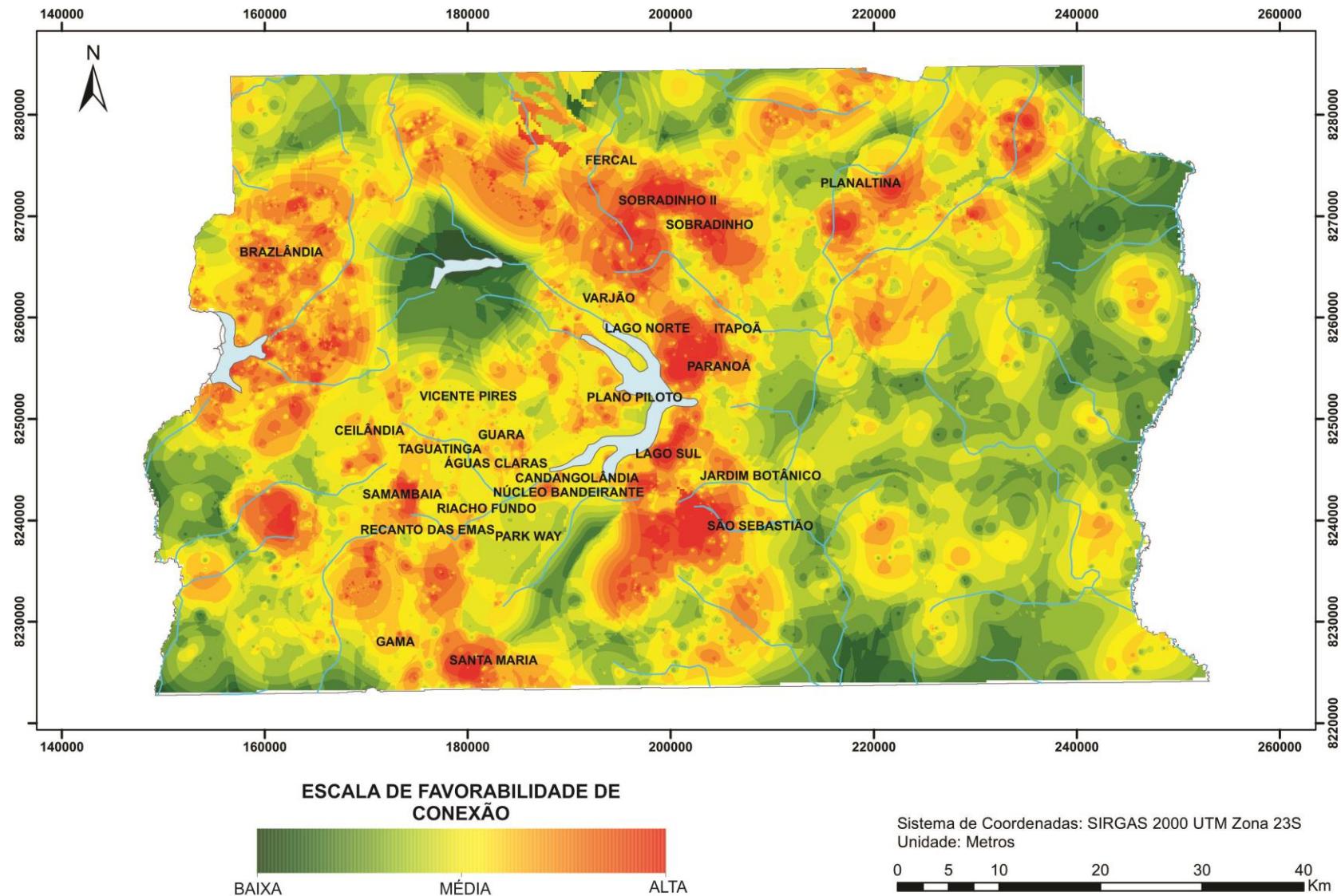
Sistema de Coordenadas: SIRGAS 2000 UTM Zona 23S  
Unidade: Metros

0 5 10 20 30 40 Km

FIGURA 8: Mapa 4- Vazão outorgada no DF.



**FIGURA 9:** Mapa 5- Favorabilidade para conexão dos usos públicos e privados das múltiplas águas no abastecimento da RMSP (Conceito i).



**FIGURA 10:** Mapa 6- Favorabilidade para conexão dos usos públicos e privados das múltiplas águas no abastecimento do DF (Conceito i).

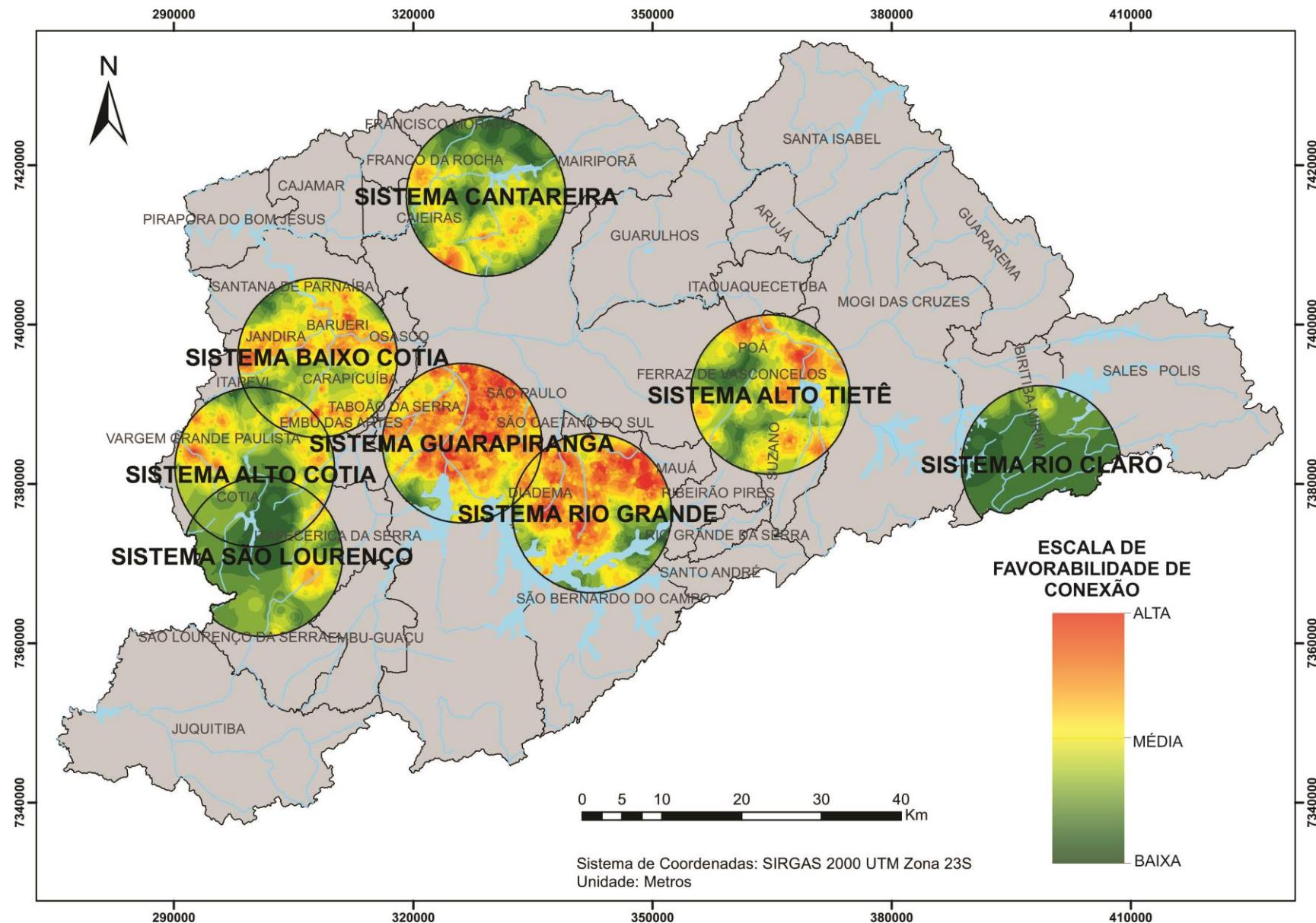
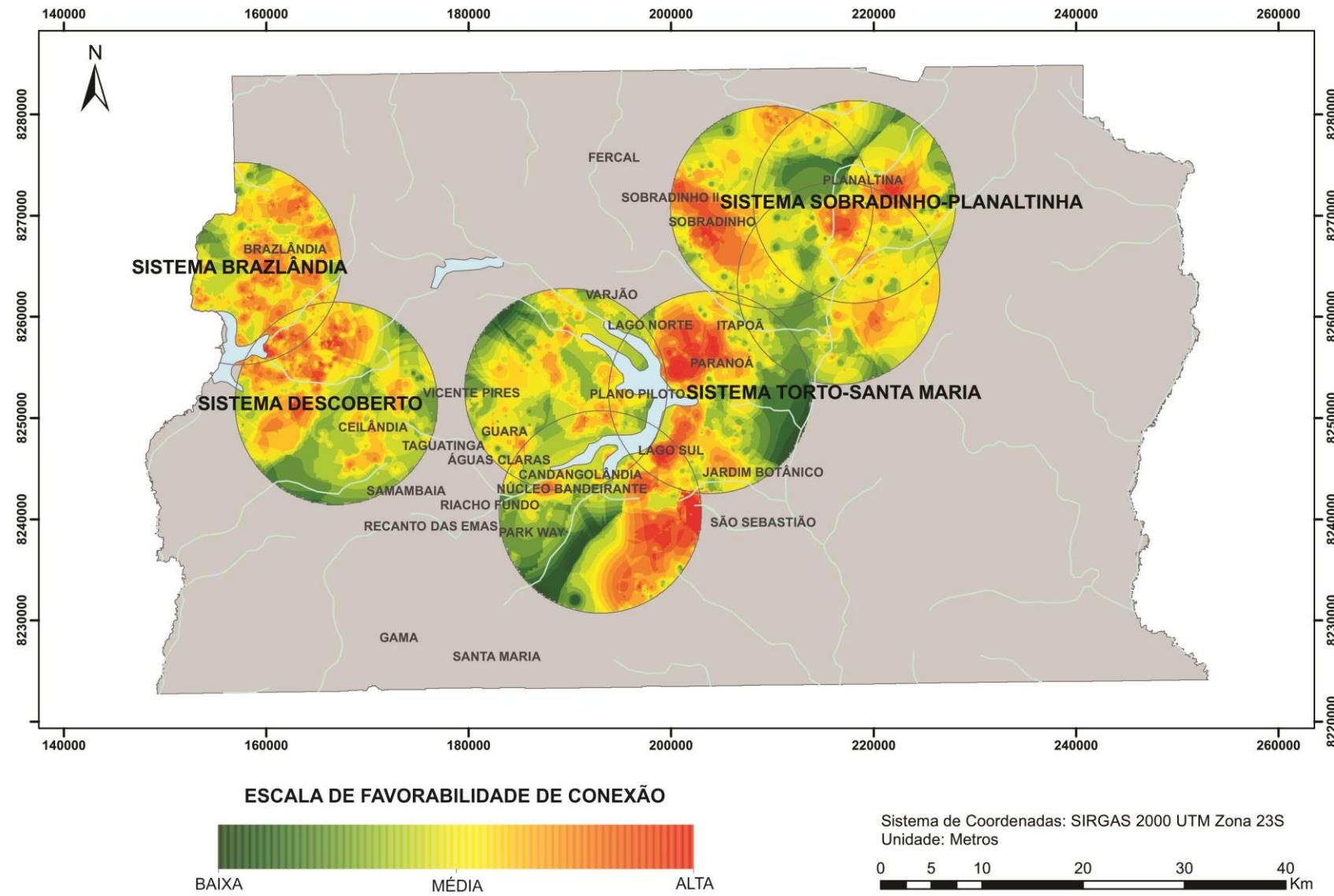


FIGURA 11: Mapa 7 - Favorabilidade para conexão dos usos públicos e privados das múltiplas águas no abastecimento da RMSP (Conceito ii).



**FIGURA 12:** Mapa 8 - Favorabilidade para conexão dos usos públicos e privados das múltiplas águas no abastecimento do DF (Conceito ii).

## 6. DISCUSSÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Ao analisar os mapas de favorabilidade para conexão dos usos privados do manancial subterrâneo com a rede de abastecimento público da RMSP (conceito i e ii) observou-se que as regiões com maior número de outorgas de poços, consequentemente são as que possuem maiores favorabilidades de conexão, como os municípios de São Paulo, Diadema, São Caetano do Sul, Mauá, Guarulhos e Ribeirão Pires. Esses municípios são densamente urbanizados e, por conta das indústrias e comércios, possuem alta quantidade poços outorgados. Vale ressaltar que municípios como Vargem Grande Paulista, Jandira, Barueri, Mogi das Cruzes e Guararema, apesar de menor quantidade de outorgas de poços, também possuem ótimos potenciais de conexão dos mananciais. Quanto aos sistemas produtores da RMSP, observa-se um alto índice de conexão de, praticamente, todos os sistemas da região, levantando pontos de interesse para futuros estudos.

Em relação aos resultados do DF, observou-se muitas regiões com maior favorabilidade de conexão, como Brazlândia, Sobradinho, Paranoá, Lago Sul, São Sebastião, Santa Maria e Planaltina. Grande parte dessas regiões administrativas se localizam na porção central do distrito, mais urbanizada. Os sistemas produtores do DF se localizam nas regiões que possuem maior favorabilidade de conexão e, portanto, facilitam a infraestrutura de possíveis conexões físicas entre os mananciais.

Tomado o dado de demanda total de água 2018 para RMSP, publicado pela Companhia de Abastecimento Público (SABESP, 2018), no valor de 1.194,6 Mm<sup>3</sup>/ano, as vazões outorgadas para usuários públicos e privados do manancial subterrâneo dessa região, obtidas em março de 2019, no valor de 402 Mm<sup>3</sup>/ano correspondem a 33% da demanda da companhia. Ao todo, 89% desse volume é atribuído a usuários privados, que destinaram recursos próprios, não estatais, para construírem infraestruturas que supram as demandas de água (Tabela 9).

Considerando-se os dados oficiais do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) sob responsabilidade do Ministério da Cidades, em 2016 o volume de consumo de água subterrânea da população da RMSP era de 15,20 milhões m<sup>3</sup>/ano, o que corresponde a 1,27% da demanda da SABESP no ano de 2018. Ainda que o SNIS apenas considere dados dos usos públicos do manancial subterrâneo, esse valor é cerca de três vezes menor que a vazão outorgada para usuários públicos na RMSP, de 42 Mm<sup>3</sup>/ano, sem contar obviamente, com a total desconsideração dos usos privados no mosaico de segurança hídrica da região.

Tais dados são primordiais para consubstanciar o conceito da conexão dos usos privados do manancial subterrâneo com o abastecimento público, em especial em que se descreve como Conceito i, pois dimensiona tal dependência.

Em tempos de mudanças climáticas e disponibilidade de recursos limitada, é evidente que as companhias de saneamento não teriam a possibilidade técnico-financeira de oferecer água para o usuário que, atualmente, encontra-se nos mananciais subterrâneos, sendo esse usuário de fundamental importância para segurança hídrica regional.

**TABELA 9:** Resumo da análise dos dados de outorgas dos mananciais subterrâneos da RMSP.

OUTORGAS MANANCIAL SUBTERRÂNEO DAEE- SP	VAZÃO (Mm <sup>3</sup> /Ano)	VAZÃO (%)	QTD. DE OUTORGAS	QTD. DE OUTORGA S TOTAL (%)	OUTORGAS COM DADOS DE VAZÃO	OUTORGAS COM DADOS DE VAZÃO (%)
USO PÚBLICO	42	10,7	433	4,77	342	4,36
USO PRIVADO	359	89,3	8646	95,22	7489	95,64
TOTAL	402	100	9079	100	7831	100

Reforçando a conexão estudada, a mesma situação foi evidenciada no DF. Pois, segundo a CAESB (2018), a demanda total de água no DF é de, aproximadamente, 176,9 Mm<sup>3</sup>/ano. Logo, a vazão outorgada pela ADASA para manancial subterrâneo, no volume de 60 Mm<sup>3</sup>/ano, corresponde a 33% da demanda de consumo do DF. Em dissonância, o dado oficial obtido no SNIS apresenta o valor consumido derivado do manancial subterrâneo no DF no valor de 8,47 Mm<sup>3</sup>/ano.

Sob a ótica conservadora cabe, na presente discussão da conexão dos usos privados do manancial subterrâneo com o abastecimento público, acrescentar a estimativa de que 60% das vazões outorgadas são consideradas ociosas (diferença entre a vazão outorgada e a exploração efetiva do poço) e de que cerca de 80% dos poços operantes no Brasil, são poços não oficializados (Hirata *et al.*, 2019). Ambas as informações mostram o potencial dimensionamento do uso dos aquíferos para a manutenção da operação adequada dos sistemas de abastecimento público urbano.

Os mapas de favorabilidade para conexão dos usos privados do manancial subterrâneo com a rede de abastecimento pública (Conceito *i*), mapas 5 e 6, revelaram que a conexão se apresenta com altas taxas (em uma escala de 1 a 10, calculada pelo método utilizado, foi considerado uma alta taxa de conexão os pontos acima de 6) em 30% do território da RMSP, e 28% do território do DF, indicando os lugares em que as políticas públicas de recursos hídricos envolvendo o manancial subterrâneo devem ser revistas e reformuladas, a fim de manter ou ampliar os usuários privados nesse manancial, uma vez que a companhia de abastecimento público teria dificuldades em atender uma eventual migração desses usuários.

Os mapas de favorabilidade para conexão dos usos privados do manancial subterrâneo com a rede de abastecimento pública (Conceito *ii*), mapas 7 e 8, revelaram as áreas de maiores interesses para futuros estudos, onde há alta probabilidade da conexão dos usuários privados do manancial subterrâneo com o abastecimento público. Na RMSP essa área corresponde a 385 Km<sup>2</sup>, e no DF a 500 Km<sup>2</sup>.

## 7. CONCLUSÕES

A pesquisa realizada validou, através de análise estatística, do geoprocessamento, de conhecimentos hidrogeológicos consolidados e elementos da gestão de recursos hídricos, o real dimensionamento da conexão dos usuários privados do manancial subterrâneo com o abastecimento público.

Verificou-se que os dados oficiais relevados pelos gestores nos instrumentos das políticas públicas, como o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento -SNIS, subestimam a importância dos usuários privados de poços, e diretamente diminuem a importância dos aquíferos para suprimento das demandas hídricas das cidades. Assim, inibem ações efetivas para melhor aproveitamento das múltiplas águas e implementação das soluções alternativas promissoras, as quais podem assegurar a segurança hídrica dos grandes centros urbanos.

Os dados regionais da RMSP e do DF revelaram que os volumes outorgados aos usuários privados do manancial subterrâneo correspondem, respectivamente, a 30% e 33% das demandas hídricas desses grandes centros, alertando para o zelo e cuidado que a gestão de recursos hídricos e a sociedade devam devotar a questão.

A pesquisa também conclui que, em termos territoriais, 30% da RMSP e 28% do DF possuem áreas onde os usuários privados do manancial subterrâneo estão auxiliando na resiliência hídrica local, sobressaltando o aspecto positivo da locação de água difusa dessa fonte.

Em termos de qualidade, os mananciais subterrâneos das duas áreas de estudo apresentam indicadores qualitativos que variam de regular a boa, demonstrando que os usuários dos mananciais subterrâneos são tão bem servidos de qualidade de água, como os usuários dos mananciais superficiais, validando assim, possíveis conexões entre os mananciais.

## 8.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADASA (Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal), 2015. *Diretrizes para o desenvolvimento de recarga artificial de aquíferos no distrito federal.* Disponível em: <[http://www.adasa.df.gov.br/images/storage/area\\_de\\_atuacao/recursos\\_hidricos/regulacao/resolucoes\\_estudos/recarga\\_artificial\\_aquiferos\\_df.pdf](http://www.adasa.df.gov.br/images/storage/area_de_atuacao/recursos_hidricos/regulacao/resolucoes_estudos/recarga_artificial_aquiferos_df.pdf)>. Acesso em: 24/01/2019.

ADASA (Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal), 2018. *Avaliação de aquíferos favoráveis para complementação do abastecimento de água no Distrito Federal e locação de poços tubulares profundos: regiões atendidas e não atendidas pelo sistema integrado Descoberto – Santa Maria/Torto.* Disponível em: <[http://www.adasa.df.gov.br/images/storage/area\\_de\\_atuacao/recursos\\_hidricos/regulacao/resolucoes\\_estudos/Relatorio\\_UNESCO\\_Edital\\_006\\_2017\\_Versao\\_Final.pdf](http://www.adasa.df.gov.br/images/storage/area_de_atuacao/recursos_hidricos/regulacao/resolucoes_estudos/Relatorio_UNESCO_Edital_006_2017_Versao_Final.pdf)>. Acesso em: 24/01/2019

ANA (2010). *Atlas Brasil: Abastecimento urbano de água: resultados por estado.* Agência Nacional de Águas. Agência Nacional de Águas; Engecorps/Cobrape, Brasília, 90p., 2010.

ANA (2015). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: regiões hidrográficas brasileiras – Edição Especial - Agência Nacional de Águas. Brasília, 2015.

AquaChem, versão 4.2. Waterloo Hydrogeologic, 2014.

ArcGIS®, versão 10.5. Esri, 2016.

Arraes, T. M., Maia Jr, F. J. P., Costa, P. N., CAMPOS, J. (2006). Caracterização hidroquímica das águas subterrâneas profundas do Distrito Federal. XLIII Congresso Brasileiro de Geologia.

Bertolo, R., Hirata, R., Conicelli, B. (2014). Situação das Reservas e Utilização das Águas Subterrâneas na Região Metropolitana de São Paulo. Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas – USP, 7p.

Bertolo, R., Hirata, R., Conicelli, B., Simonato, M., Pinhatti, A., Fernandes, A. (2015). Água subterrânea para abastecimento público na Região Metropolitana de São Paulo: é possível utilizá-la em larga escala. Revista DAE, 63(199), 6-17.

Campos, J. E. G., Gaspar, M. T. P., Gonçalves, T. D. (2007). Gestão de recursos hídricos subterrâneos no distrito federal: diretrizes, legislação, critérios técnicos, sistema de informação geográfica e operacionalização. *Relatório de Consultoria Técnica-ADASA/IBRD/BNWPP.*

Campos, J. E. G., Dardenne, M. A., Freitas-Silva, F. H., Martins-Ferreira, M. A. C. (2013). Geologia do Grupo Paranoá na porção externa da Faixa Brasília. *Brazilian Journal of Geology*, 43(3), 461-476.

Campos, J.E.G. (2004). Hidrogeologia do Distrito Federal: Bases para a Gestão dos Recursos Hídricos Subterrâneos. *Revista Brasileira de Geociências*, 34(1), p 41-48.

Campos, J.E.G., Freitas-Silva, F. H. (1998) Hidrogeologia do Distrito Federal. In: Inventário hidrogeológico e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal, Brasília: IEMA/SEIMATEC/UnB, 1998. v. 4, p. 01-85.

Capobianco, J.P.R. (2018). In: *Livro branco da água. A crise hídrica na Região Metropolitana de São Paulo em 2013-2015: Origens, impactos e soluções* / São Paulo: Instituto de Estudos Avançados, 2018, p.11-12.

Castanheira, D., Campos, J. E. G. (2018). *Enquadramento dos corpos hídricos subterrâneos do Distrito Federal: parâmetros hidrogeoquímicos e ambientais*. Tese (Mestrado). Brasília: Instituto de Geociências – Universidade de Brasília.

Castanheira, D., Hirata, R., 2019 (em preparação). Gestão Integrada dos Recursos Hídricos: Conectando os Usos Públicos e Privados das Múltiplas Águas. Tese (Doutorado em desenvolvimento). São Paulo: Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo.

CETESB (2019). Qualidade das águas subterrâneas no estado de São Paulo 2016-2018. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/publicacoes-e-relatorios/>>. Acesso em: 22/10/2019

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO TIETÊ - CBH-AT (2009). *Plano de bacia hidrográfica do Alto Tietê*. São Paulo: Fundação de apoio à Universidade de São Paulo (FUSP).

Conicelli, B. P. (2014). *Gestão das águas subterrâneas na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (SP)*. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo.

Cordeiro, J. P., Barbosa, C. C. F., Câmara, G. (2004). Álgebra de campos e objetos. *Análise Espacial de Dados Geográficos*. Capítulo 8

DAEE, 2019. Pesquisa de Dados dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://www.aplicacoes.daee.sp.gov.br/usosrec/fchweb.html>>. Acesso em: 25/03/2019.

Deus, B. V., ZEILHOFER, P., ARAUJO, G., SANTOS, A. D. (2010). Interpolação pluviométrica na bacia do alto e médio rio Teles Pires: uma análise de séries históricas e interpoladores. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife, PE.

Faria, A. (1995). *Estratigrafia e sistemas deposicionais do Grupo Paranoá nas áreas de Cristalina, Distrito Federal e São João D'Aliança-Alto Paraíso de Goiás*. Tese (Doutorado). Brasília: Instituto de Geociências - Universidade de Brasília.

Global Water Partnership (GWP), 2009. *A Handbook for Integrated Water Resources Management in Basins*. Disponível em: <<https://www.inbo-news.org/IMG/pdf/GWP-INBOHandbookForIWRMinBasins.pdf>>. Acesso em: 05/02/2019

Gonçalves, T. D., Roig, H. L., Campos, J. E. G. (2009). Sistema de informação geográfica como ferramenta de apoio à outorga dos recursos hídricos subterrâneos no Distrito Federal. *Revista brasileira de Geociências*, 39(1), 169-180.

Hirata, R. C. A., Ferreira, L. M. R. (2001). Os aquíferos da bacia hidrográfica do alto tietê: disponibilidade hídrica e vulnerabilidade à poluição. *Revista Brasileira de Geociências*, 31(1), 43-50.

Hirata, R., Suhogusoff, A. V., Marcellini, S. S., Villar, P. C., Marcellini, L. (2019). *A revolução silenciosa das águas subterrâneas no Brasil: uma análise da importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento*. São Paulo: Instituto Trata Brasil.

IBGE (1982). Censo demográfico: dados gerais, migração, instrução, fecundidade, mortalidade – São Paulo. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Rio de Janeiro: 1928-1983.

IBGE (1982). IX Recenseamento geral do brasil – 1980. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Rio de Janeiro: 3v. n17.

IBGE (2015). 35MUE250GC\_SIR (shapefile) – 2015. Disponível em: <[ftp://geoftp.ibge.gov.br/organizacao\\_do\\_territorio/malhas\\_territoriais/malhas\\_municipais/municipio\\_2015/](ftp://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_municipais/municipio_2015/)>. Acesso em: 09/04/2019

IBGE (2015). BRUFE250GC\_SIR (shapefile) – 2015. Disponível em: <[ftp://geoftp.ibge.gov.br/organizacao\\_do\\_territorio/malhas\\_territoriais/malhas\\_municipais/municipio\\_2015/](ftp://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_municipais/municipio_2015/)>. Acesso em: 09/04/2019

IBGE (2019). Cidades e Estados. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/df/.html>>. Acesso em: 01/09/2019

Jakob, A. A. E., Young, A. F. (2016). *O uso de métodos de interpolação espacial de dados nas análises sociodemográficas*. Anais, 1-22.

Landim P.M.B. 2006. Sobre Geoestatística e mapas. *Terra e Didática*, 2(1), p.19-33.

Lousada, E. O., Campos, J. E. G. (2016). Proposta de modelos hidrogeológicos conceituais aplicados aos aquíferos da região do Distrito Federal. *Revista Brasileira de Geociências*, 35(3), p 407-414.

Ministério da Saúde, 2017. PORTARIA DE CONSOLIDAÇÃO Nº 5, DE 28 DE SETEMBRO DE 2017.

Mizuno, M. G. M (2012). *Hidroquímica das águas subterrâneas do Distrito Federal*. Tese (Mestrado). Brasília: Instituto de Geociências - Universidade de Brasília.

Neto, J.C.C. (2015). A crise hídrica no Estado de São Paulo. *Revista GEOUSP: Espaço e Tempo (Online)*, 19(3), p 479-484.

Oliver, M.A., Webster, R. (1990). Kriging: a method of interpolation for geographical information systems. *International Journal of Geographical Information System*, 4(3), p.313-332.

Ootto, F. E., Haustein, K., Uhe, P., Coelho, C. A., Aravequia, J. A., Almeida, W., Haarsma, R. (2015). Factors other than climate change, main drivers of 2014/15 water shortage in southeast Brazil. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96(12), 35-40.

Paviani, A., Brandão, A. (2018). *A Crise e o Consumo de água em Brasília*. Brasília: Companhia de Planejamento do Distrito Federal, Texto para Discussão, nº39.

Porto, R.L. (2012). *Fundamentos para gestão da água*. São Paulo.

SABESP (2015). *CHESS – Crise Hídrica, Estratégia e Soluções da Sabesp: para a Região Metropolitana de São Paulo*. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), São Paulo, 2015.

SABESP (2018). Volume de Água e Esgoto. Disponível em: <<http://www.sabesp.com.br/Calandraweb/CalandraRedirect/?temp=2&temp2=3&proj=investidoresnovo&pub=T&nome=Volume+de+aqua+e+esgoto&db=&docidPai=AB82F8DBCD12AE488325768C0052105E&campo1=2018&campo2=A&campo3=R>>. Acesso em: 16/07/2019

SABESP (2019). De onde vem?. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=31>>. Acesso em: 05/08/2019

SEADE (2019). *Perfil dos municípios paulistas*. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br/>>. Acesso em: 08/04/2019.

Secretaria de Estado de Saneamento e Recursos Hídricos (2017). INSTRUÇÃO TÉCNICA DPO Nº 10, DE 30/05/2017.

Secretaria do Meio Ambiente, Secretaria de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento, Secretaria da Saúde (2006). Resolução Conjunta SMA/SERHS/SES - 3, de 21-06-2006.

Yamamoto, J. K., Landim, P. M. B. (2015). *Geoestatística: conceitos e aplicações*. Oficina de textos.

## ANEXO I – TUTORIAL DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO

Para a realização dos cálculos da análise multicritério, primeiramente, foram escolhidas as bases de dados a serem usadas no processo. No nosso caso, são os mapas de vazão outorgada, o mapa de densidade de poços outorgados e o mapa de vazões do sistema aquífero. A ferramenta do software ArcMap utilizada para os cálculos foi a *raster Calculator*, que utiliza arquivos no formato raster e não em vetor para a realização do procedimento. Por isso, as bases de dados, caso estejam no formato vetor (como um *shapefile*), precisam ser convertidas para o formato raster, utilizando a ferramenta *Polygon to Raster*.

Para criar os arquivos no formato raster, em cada base de dados, foi necessário selecionar um campo de valor, que contém as informações utilizadas para os cálculos. No mapa de vazões outorgadas, esse campo foi o valor da vazão. No mapa de densidade de poços outorgados, esse campo foi a densidade de pontos. No mapa de vazões dos sistemas aquíferos, esse campo foi o da vazão média de cada aquífero.

Posteriormente são definidos os pesos de cada base de dados. Caso as informações contidas em cada base de dados possuem as mesmas relevâncias, é possível fazer o procedimento com os mesmos pesos para todas as bases. Esses valores serão utilizados posteriormente. Neste estudo, os pesos foram escolhidos conforme a seguir (Tabela 10):

**TABELA 10:** Pesos das variáveis utilizadas para a elaboração do mapa de favorabilidade de conexão na RMSP e no DF.

VARIÁVEL	Peso (0-1)
VAZÃO OUTORGADA	0,4
DENSIDADE DE POÇOS OUTORGADOS	0,3
VAZÕES DO SISTEMA AQUÍFERO	0,3

Em cada raster, há um conjunto de informações, que precisam ser reclassificadas com notas de 1 a 10, conforme os intervalos dessas informações. Dessa forma, é calculada as influências de cada informação em determinado ponto do mapa de favorabilidade. Neste estudo, tanto para a RMSP, como para o DF, nos mapas de vazão outorgada e de densidade de poços outorgados, as informações interpoladas foram divididas em 10 intervalos geométricos, que são intervalos que possuem, aproximadamente, o mesmo número de pontos em cada classe. No software, a função que realiza a separação desses intervalos está em *Layer Properties, Symbology* e *Classified*. O intervalo com menor valor de vazão outorgada ou quantidade de poços outorgados, foram classificados com a nota mínima (1). Consequentemente, os intervalos com maior valor de vazão outorgada ou maior quantidade de poços outorgados, foram definidos com nota máxima (10).

Em relação ao mapa de hidrogeologia, a classificação se baseou nas vazões dos arquivos no formato *shapefile* disponibilizados pelo IBGE (2019). De acordo com as

informações cadastradas, os pontos ocupados pelo aquífero de maior vazão possuem a nota máxima e os pontos ocupados pelo aquífero de menor vazão possuem nota mínima. Os pesos restantes foram definidos com base nessa proporcionalidade.

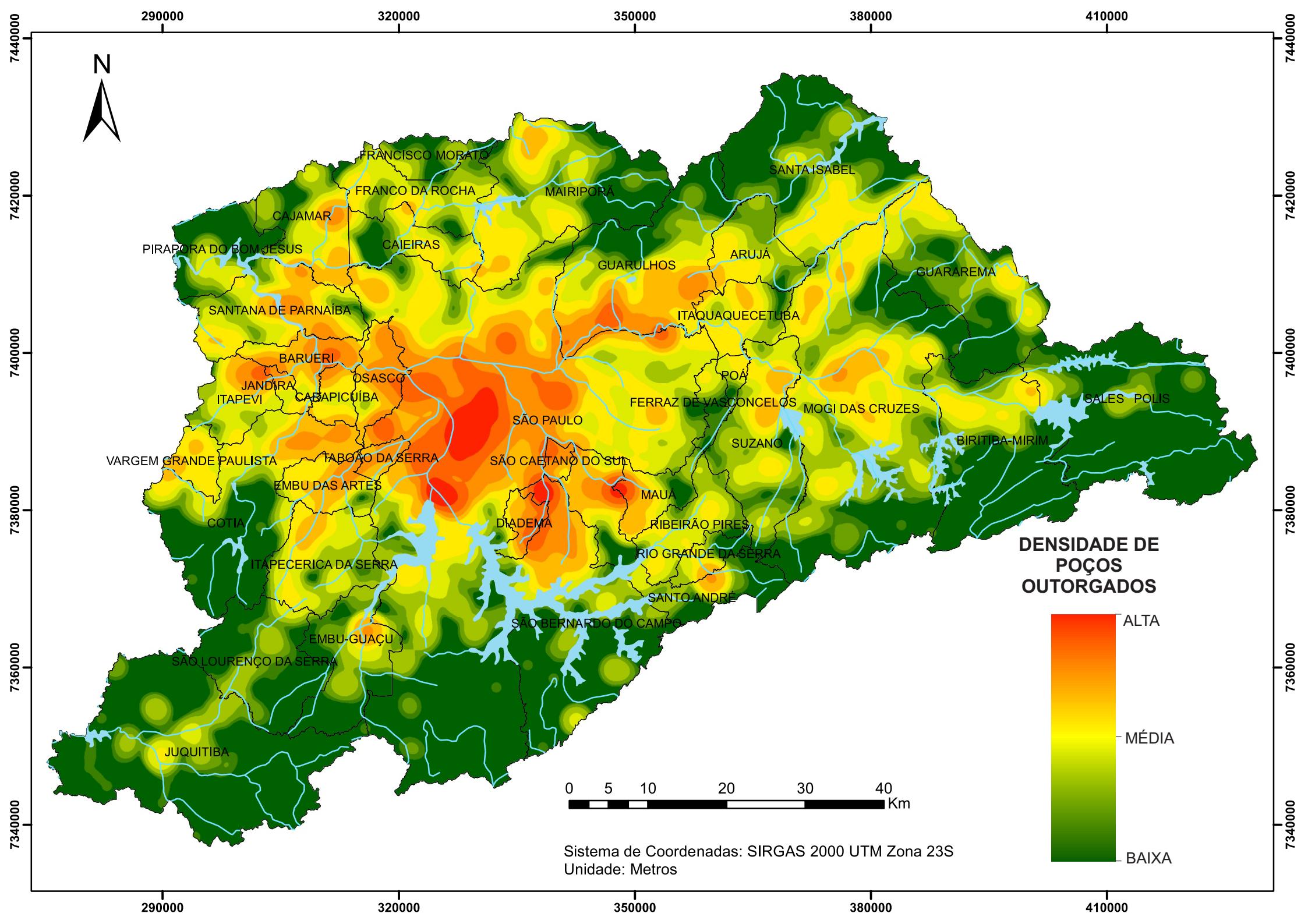
Para reclassificar esses valores no *software*, utilizou-se a ferramenta *Reclassify*, na qual houve a introdução do raster com as informações agrupadas nos intervalos definidos pelo estudo e a reclassificação manual dos valores de cada intervalo. Dessa forma, é dado o peso de cada informação no mapa, variando de 1 a 10.

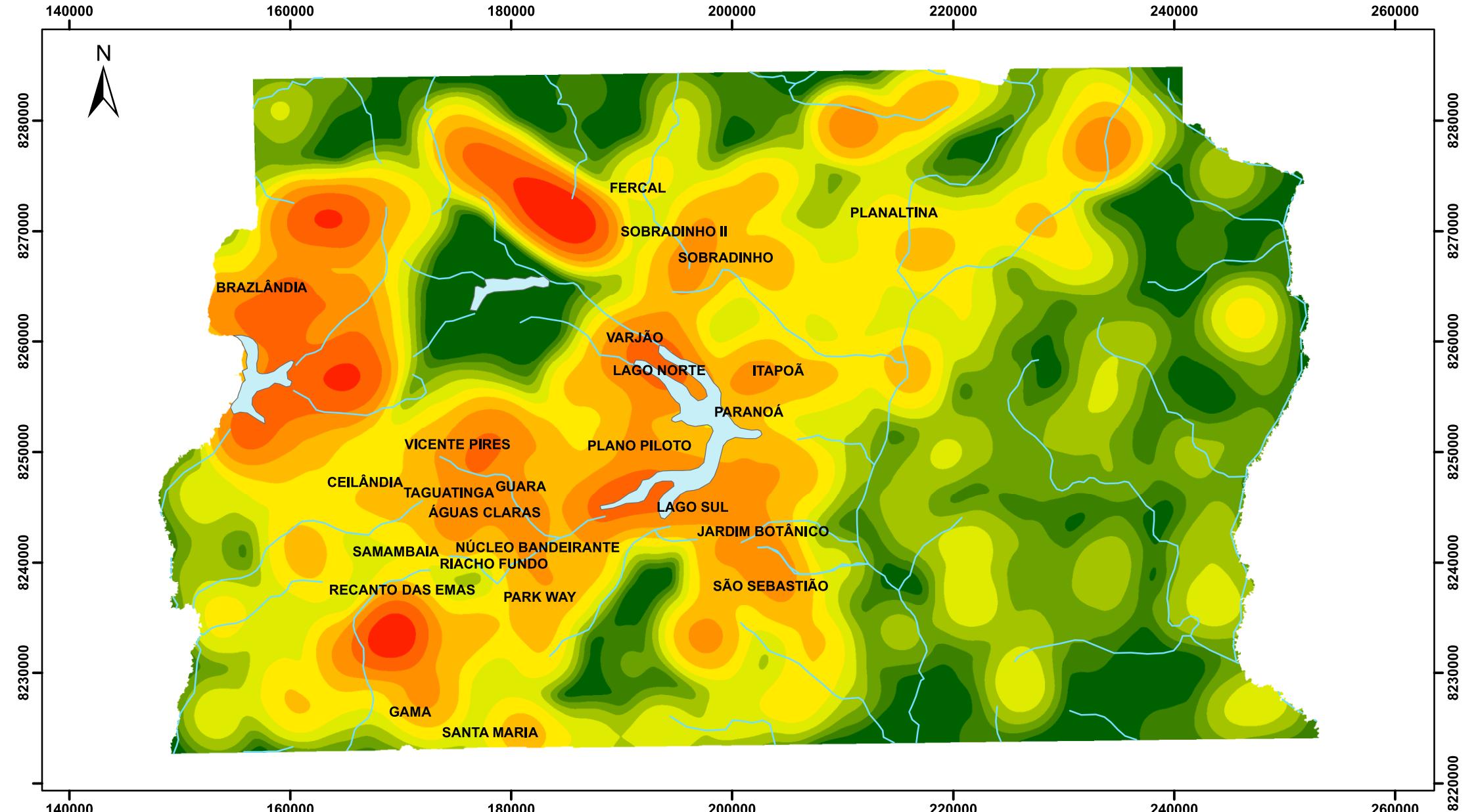
Posto isso, utilizou-se a ferramenta *Raster Calculator*, no qual é calculado todos os pesos dados para as informações utilizadas, introduzindo os arquivos no formato raster e multiplicando pelo seu peso. Nesse estudo, o cálculo ficou dessa forma:

$$(MAPA DE VAZÃO OUTORGADA * 0,4) + (MAPA DE POÇOS OUTORGADOS * 0,3) \\ + (MAPA DE VAZÕES DO SISTEMA AQUÍFERO * 0,3)$$

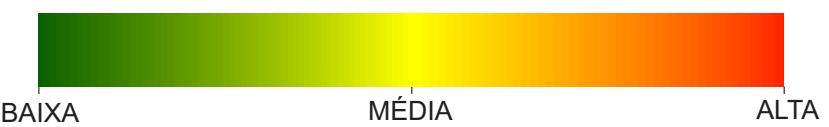
Por fim, com os pesos e as notas definidas, o *software* realiza a álgebra de mapas, resultando em um valor total de 1 a 10 para cada ponto do mapa.

**ANEXO II – MAPAS FINAIS**



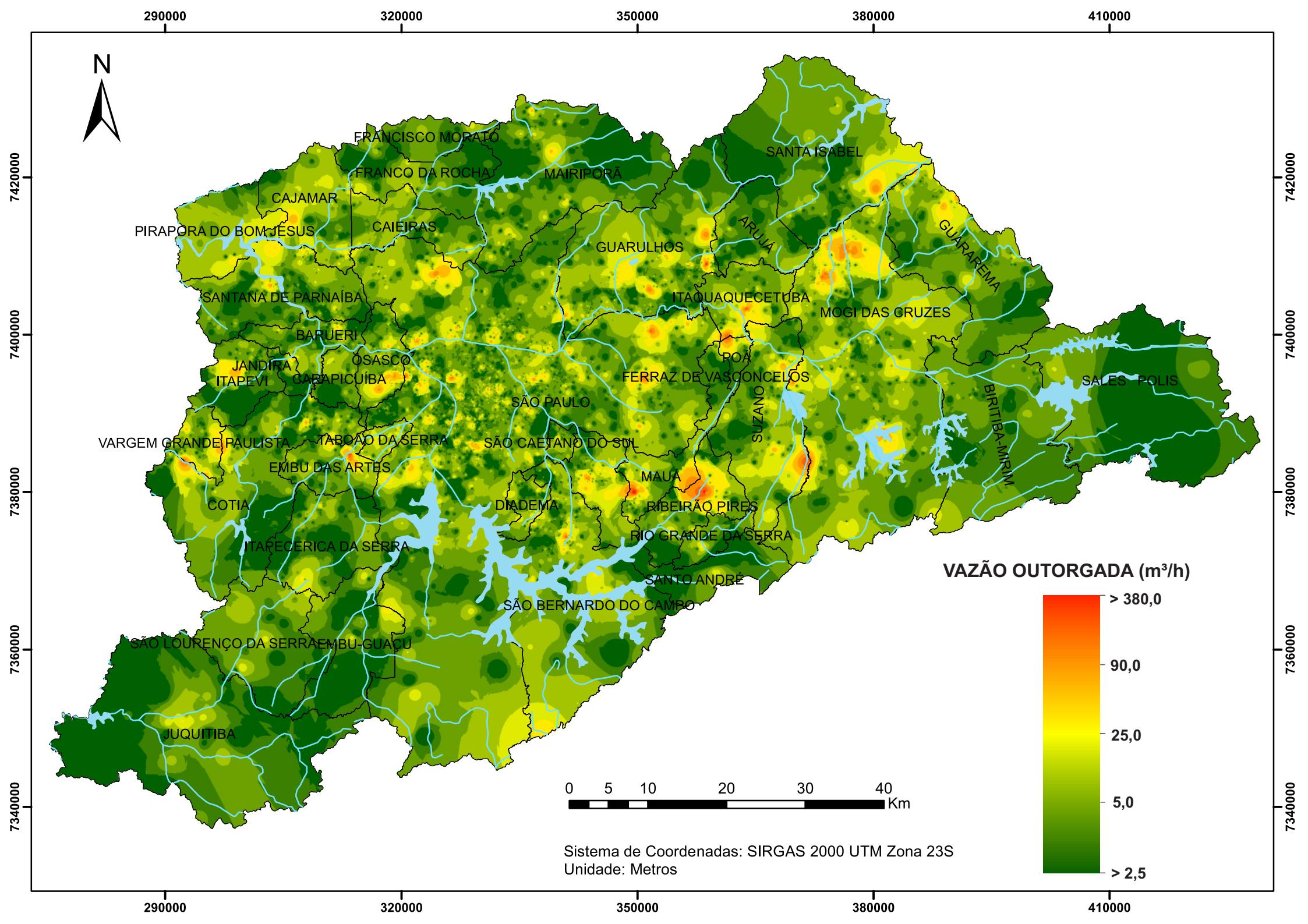


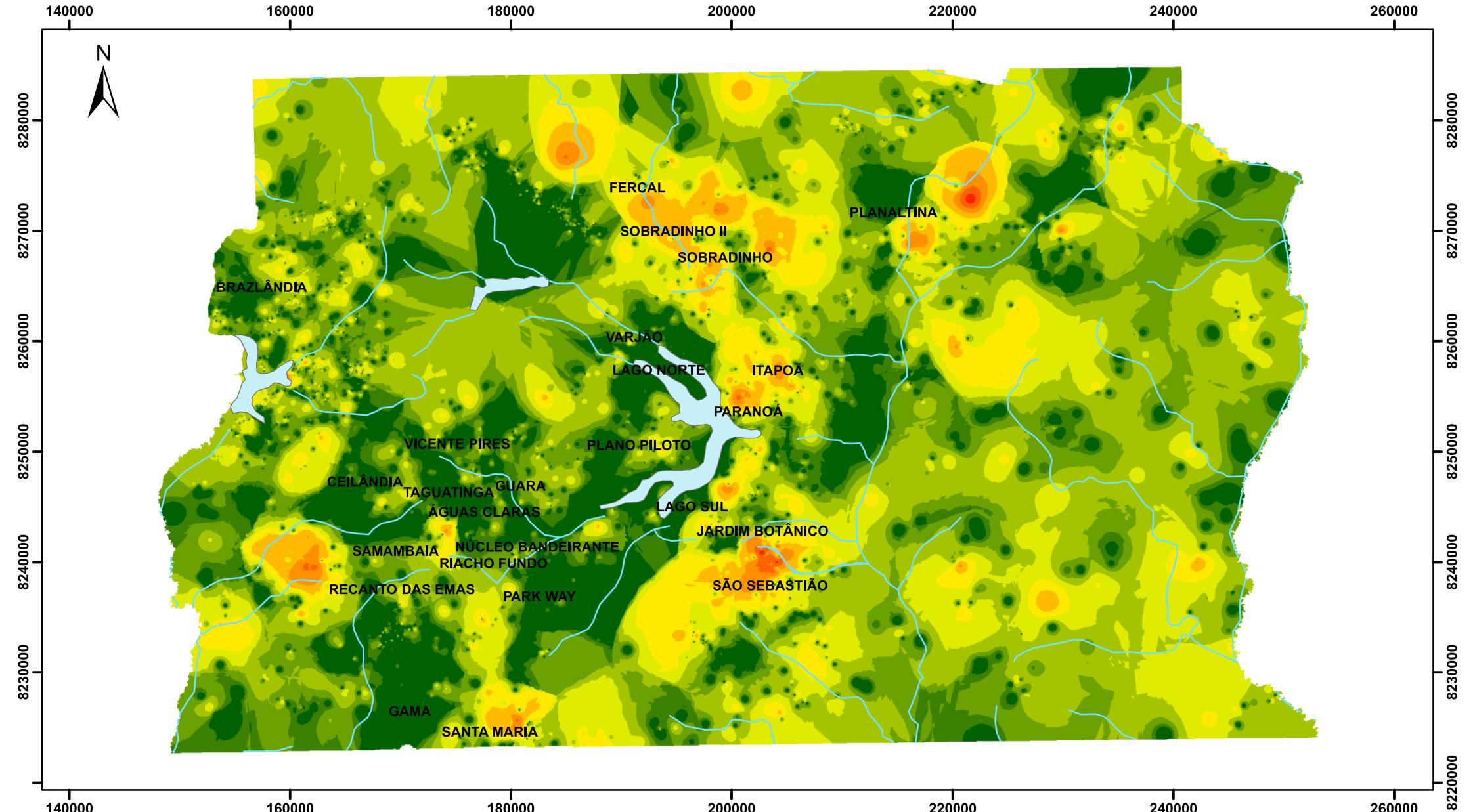
## DENSIDADE DE POÇOS OUTORGADOS



Sistema de Coordenadas: SIRGAS 2000 UTM Zona 23S  
Unidade: Metros

0 5 10 20 30 40 Km

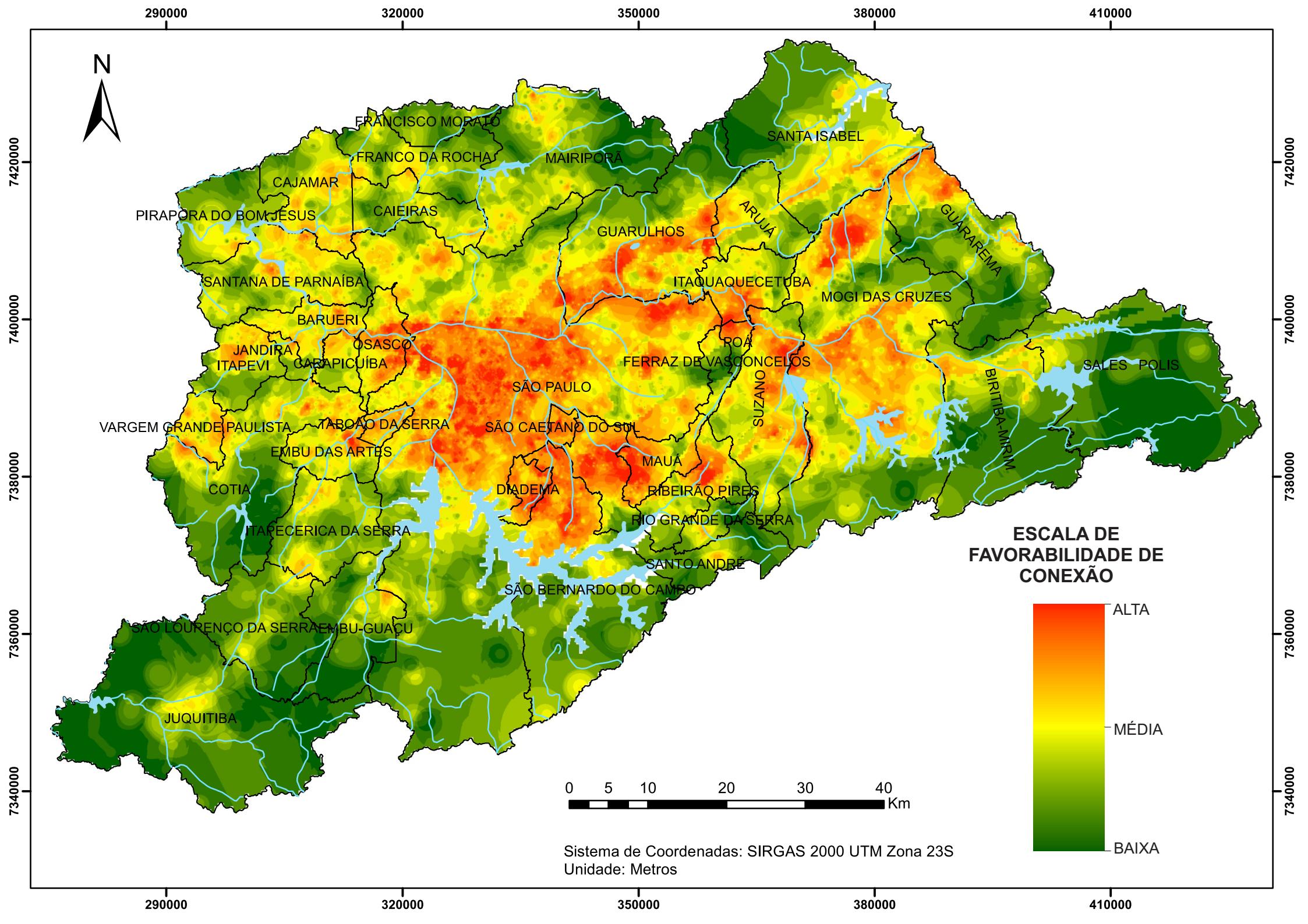


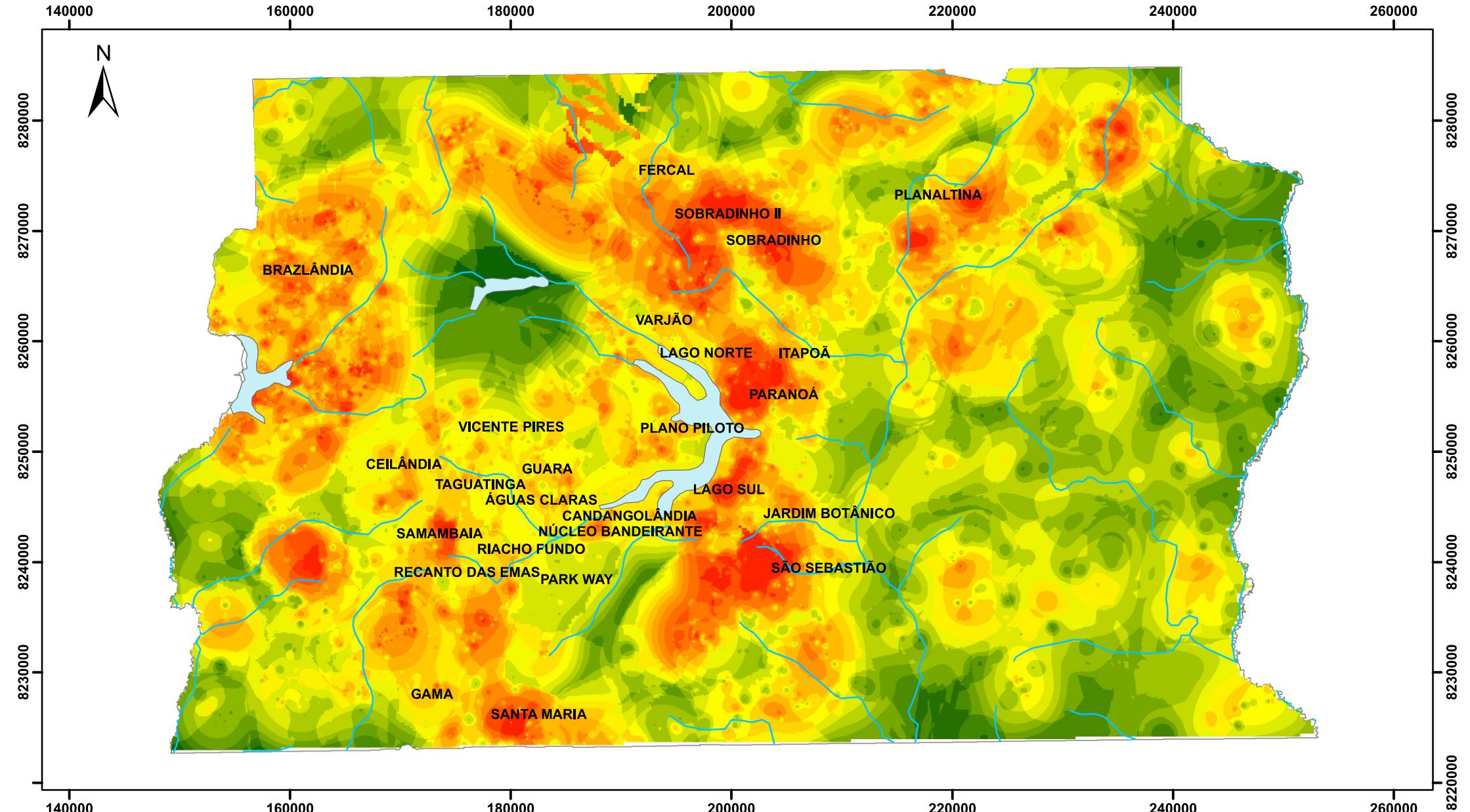


Sistema de Coordenadas: SIRGAS 2000 UTM Zona 23S  
Unidade: Metros

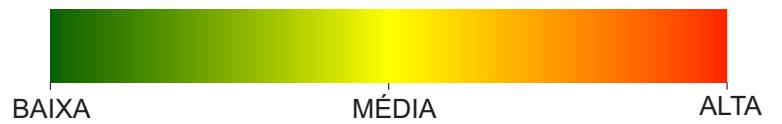
0 5 10 20 30 40 Km

< 350 5.000 30.000 120.000 < 500.000





## ESCALA DE FAVORABILIDADE DE CONEXÃO



Sistema de Coordenadas: SIRGAS 2000 UTM Zona 23S  
Unidade: Metros



