

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

MATEUS FELIPE WEDIG

**OTIMIZAÇÃO DE TRAÇADOS DE SISTEMAS ADUTORES DE ÁGUA UTILIZANDO
TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO**

**CAXIAS DO SUL
2021**

MATEUS FELIPE WEDIG

**OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS ADUTORES DE ÁGUA UTILIZANDO TÉCNICAS DE
GEOPROCESSAMENTO**

Trabalho acadêmico de conclusão de curso, apresentado ao departamento de Área de Ciências Exatas e Engenharias da Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial para obtenção de aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II.

Orientador: Prof. Dr. Taison Anderson Bortolin

**CAXIAS DO SUL
2021**

MATEUS FELIPE WEDIG

**OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS ADUTORES DE ÁGUA UTILIZANDO TÉCNICAS DE
GEOPROCESSAMENTO**

Trabalho acadêmico de conclusão de curso, apresentado ao departamento de Área de Ciências Exatas e Engenharias da Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial para obtenção de aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II.

Banca Examinadora

Orientador Dr. Taison Anderson Bortolin (UFRGS)
Prof. Universidade de Caxias do Sul - UCS

Prof. Dr. Gisele Cemin (UFRGS)
Prof. Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Dr. Renata Cornelli (UFRGS)
Prof. Universidade de Caxias do Sul – UCS

Dedico este trabalho a minha família por estar ao meu lado durante todo o tempo e por serem um tesouro em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ser meu principal alicerce e por me proporcionar realizar o presente trabalho.

Agradeço ao meu orientador Taison Bortolin por todo o conhecimento passado no decorrer deste último ano, pelo constante incentivo e paciência no decorrer do trabalho.

Agradeço a minha mãe Eldi Lucinda Wedig por ser minha heroína, que me ensinou a levar os mais belos valores da vida, os quais carrego comigo. Agradeço pelo cuidado, pela ajuda mesmo nas menores coisas do dia a dia. Agradeço por ensinar que mesmo nos momentos com dificuldades ou muitos afazeres, a não desistir e sempre seguir em frente. Obrigado por ensinar que a gentileza, bondade e amor são umas das maiores forças de uma pessoa.

Agradeço ao meu pai Clarício Wedig, o qual de mesmo modo se tornou meu herói pelas lições ensinadas e pelo apoio frente as batalhas enfrentadas no decorrer do curso. Agradeço por ter me ensinado a ver a vida de forma simples, a fazer todas as coisas sempre dando o melhor de mim e por fim pela dedicação que demonstrou durante toda a sua vida para com sua família.

Agradeço as minhas Irmãs Élen Cristina Wedig Raimann e Cristiane Elisa Wedig Kich pelo apoio e ao meu irmão Gabriel Rodrigo Wedig por ser meu melhor amigo e meu fiel companheiro. Agradeço pela amizade, pelas vivências e por ensinarem a sempre olhar o lado bom da vida e pelo apoio no decorrer do trabalho.

Agradeço a toda a minha família pelo apoio e incentivo na realização do trabalho, por serem uma base forte e por ensinarem que a família é um dos maiores presentes na vida de alguém.

Agradeço aos meus amigos Leonardo Sabat, Alessandro Homem, Marison Torcati e Tiago Scariot pela amizade e pelo tempo convívio na graduação, da mesma forma agradeço as minhas amigas Paula Damin, Letícia Balardin e Patrícia Zembruski pela amizade e por se tornarem pessoas extremamente importantes em minha vida. Agradeço a todos pelo incentivo no decorrer do trabalho.

Agradeço a Universidade de Caxias do Sul, pela excelência no ensino e priorização na evolução do aluno. Agradeço ao corpo docente da UCS pelo empenho, pelo respeito e cuidado que tem aos seus alunos.

Agradeço a todos os colaboradores da Estilo Casarão Serra mais precisamente a Luana Beutler, Fábio Neumann e Rosecler Schneider Neumann pelo incentivo no presente trabalho.

RESUMO

O abastecimento de água potável em um município é de crucial importância para a manutenção de toda sua complexa estrutura de funcionamento. O estudo das condições hidrológicas, e capacidade de abastecimento municipal deve estar atrelado e alinhado com a situação atual e principalmente, prospectando as situações futuras que o mesmo poderá se encontrar. O município de Nova Petrópolis, atualmente encontra-se em uma situação necessitante de novas formas de captação de água conforme dados do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) e ampliação de seu sistema de abastecimento à população Nova Petropolitana. Recentemente realizou a perfuração de dois poços localizados na região de São José do Caí o qual possui direcionamento desse manancial para a ETA do município. Além do escoamento subterrâneo proposto, pode-se utilizar de captação superficial dos mananciais próximos à localização dos poços os quais podem contribuir para o abastecimento municipal. Para o direcionamento da água captada dos mananciais se faz necessário o uso de sistemas adutores. através de seus traçados o custo de implantação é diretamente afetado uma vez que é relativo as características topográficas, geológicas e condições de uso e ocupação do solo. Para a caracterização dos diferentes quesitos influenciadores para traçados de redes adutoras, utilizou-se do método AHP para a criação da relação pesos de influência para cada item considerado. De posse desses valores, utilizou-se da análise multicriterial entre os pesos, no qual o uso do geoprocessamento contribui para o entendimento dos quesitos físicos e espaciais dos locais pertinentes aos traçados propostos, sendo possível a escolha de um traçado visando um caminho de menor custo de implantação. Com base nos traçados gerados, pode-se quantificar preliminarmente os custos de implantação das tubulações da rede adutora e através disto verificou-se o custo de implantação de sistemas separados (captação de água superficial e subterrânea) ou a interligação dos sistemas unificando o sistema de adução. Tais artifícios podem propiciar ao sistema um aprimoramento de seu traçado, compatibilizações antecipadas do projeto e uma prospecção de custos reduzida.

Palavras chave: Adutoras; Abastecimento de água; caminho de menor custo; SIG; AHP.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo Hidrológico	18
Figura 2 - Exemplo esquemático de curva de permanência	20
Figura 3 - Exemplo de poço	21
Figura 4 - Mapa conceitual de recarga natural de aquíferos	22
Figura 5 - Demonstrativo de rede de captação e abastecimento	23
Figura 6 - Componentes e subcomponentes de um sistema de abastecimento de água	24
Figura 7 - Alterações internas nas tubulações	26
Figura 8 – Adutora por gravidade	28
Figura 9 – Adutora por recalque	28
Figura 10 – Adutora mista	28
Figura 11 - Exemplo de grafo	32
Figura 12 - Exemplo de escalas para o método AHP	34
Figura 13 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Caí	36
Figura 14 - Bacia Hidrográfica do Caí	37
Figura 15 - Município de Nova Petrópolis	38
Figura 16 - Barragem Santa Isabel	38
Figura 17 - Captação superficial e subterrânea no município de Nova Petrópolis	40
Figura 18 - Fluxograma para desenvolvimento de traçados de mínimo custo	42
Figura 19 - Mapa de postos fluviométricos ANA	44
Figura 20 – Mapa das bacias hidrográficas em estudo	54
Figura 21 – Curva de permanência	54
Figura 22 – Localização dos poços em estudo	56
Figura 23 – Declividade	57
Figura 24 – Hipsometria	58
Figura 25 – Mapa de uso e ocupação do solo	59
Figura 26 – Mapeamentos de rodovias	60
Figura 27 – Mapeamento de rios	61
Figura 28 – Mapa de declividade com pesos inseridos	62
Figura 29 - Mapa de hipsometria com pesos inseridos	63
Figura 30 – Mapa de uso e ocupação do solo com pesos inseridos	64
Figura 31 – Mapa de distanciamento de rodovias com inserção de pesos	65

Figura 32 – Mapa de distanciamento de rios com inserção de pesos.....	66
Figura 33 – Mapa de custos para sistemas de menor caminho	68
Figura 34 – Traçado de mínimo custo com ponto de captação superficial no estudo	70
Figura 35 – Traçado de mínimo custo com ponto de captação superficial no estudo	71
Figura 36 - Traçado de mínimo custo com ponto de captação subterrâneo	73
Figura 37 - Traçado de mínimo custo com ponto de captação subterrâneo	74
Figura 38 - Traçado de mínimo custo com interligação de mananciais.....	76
Figura 39 - Imagem para o traçado de mínimo custo com interligação de mananciais	77
Figura 40 - Comparação dos traçados obtidos.....	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coeficiente C de Hazen Williams	26
Tabela 2 - Exemplo de comparação par a par	34
Tabela 3 - Poços no Município	39
Tabela 4 - Reclassificação de declividade	46
Tabela 5 - Reclassificação de distanciamento de rodovias	46
Tabela 6 - Reclassificação de altitudes	47
Tabela 7 - Reclassificação de distância de rios	47
Tabela 8 - Reclassificação do mapa de uso do solo	48
Tabela 9 – Tabela de análise de importância par a par	49
Tabela 10 - Projeção populacional	52
Tabela 11 - Tabela de vazões e abastecimento do novo ponto	55
Tabela 12 - Vazões dos poços em análise	56
Tabela 13- Tabela de porcentagem do uso e ocupação do solo	59
Tabela 14 - Pesos atrelados aos critérios propostos	67
Tabela 15 - Custo de instalação de tubulações oriundas de captação superficial	79
Tabela 16– Custo de instalação de tubulações oriundas de apenas um poço de captação	79
Tabela 17 – Custo de instalação de tubulações apenas no trecho de captação subterrânea	80
Tabela 18 – Custo de instalação de tubulações para uma rede completa com interligação de mananciais	80

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	15
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
3.1. PLANOS DE SANEAMENTO E ABASTECIMENTO MUNICIPAL	16
3.2. HIDROLOGIA E HIDROGEOLOGIA PARA O ABASTECIMENTO DE ÁGUA	17
3.2.1. Precipitação e Vazão	18
3.2.2. Captação superficial e subterrânea	20
3.3. SISTEMAS ADUTORES	22
3.3.1. Requisitos para elaboração de um sistema de abastecimento de água	27
3.3.2. Caminhamento da adutora	28
3.4. ANÁLISE DE REDES	30
3.4.1. Sistemas de geoprocessamento (SIG)	30
3.4.1.1. Otimização de traçados	31
3.4.1.2. Problemas de otimização	32
3.4.1.3. Benefícios de otimização	33
3.5. MÉTODO AHP	33
4. ÁREA DE ESTUDO	36
4.1. BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAÍ	36
4.2. MUNICÍPIO DE NOVA PETRÓPOLIS	37
5. METODOLOGIA	41
5.1. OBTENÇÃO DE BASE DE DADOS	43
5.2. PROJEÇÃO POPULACIONAL E ESTUDO DE VAZÕES	43
5.3. DELIMITAÇÃO DA SUB-BACIA	45
5.4. GERAÇÃO DE IMAGENS MATRICIAIS, NORMALIZAÇÃO, RECLASSIFICAÇÃO E INSERÇÃO DE PESOS	45

5.5. INSERÇÃO DE PESOS NAS IMAGENS MATRICIAS E CRIAÇÃO DE MAPA DE MÍNIMO CUSTO	49
5.6. INTERLIGAÇÃO DE MANANCIAS.....	50
5.7. VERIFICAÇÃO DE CUSTO PARA CADA SITUAÇÃO	50
6.1. PROJEÇÃO POPULACIONAL	52
6.2. DELIMITAÇÃO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS	53
6.3. ESCOAMENTO SUBTERRÂNEO	56
6.4. RECLASSIFICAÇÃO E TRATAMENTO DE DADOS DIGITAIS	57
6.4.1. Declividade	57
6.4.2. Hipsometria	57
6.4.3. Uso e ocupação do solo	59
6.4.4. Distância do sistema viário	60
6.4.5. Distância de rios.....	60
6.5. CLASSIFICAÇÃO E PONDERAÇÃO DOS PESOS	61
6.5.1. Declividade	61
6.5.2. Hipsometria	62
6.5.3. Uso e ocupação do solo	63
6.5.4. Distância do sistema viário	65
6.5.5. Distância de rios.....	65
6.6. APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP	66
6.7. INTERLIGAÇÃO DE MANANCIAS.....	69
6.7.1. Apenas Captação Superficial.....	69
6.7.2. Apenas Captação Subterrânea	72
6.7.3. Misto.....	75
REFERÊNCIAS.....	83

1. INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos são bens de relevante valor para a promoção do bem-estar de uma sociedade (TUCCI, 2009) tendo como uma de suas prioridades o abastecimento de água em quantidade e qualidade adequadas (TSUTYIA, 2005). Quando atendidos os requisitos de quantidade e qualidade, o serviço de abastecimento de água traz benefícios com a redução de demanda de serviços de saúde, auxiliando por exemplo, na redução de doenças infecciosas.

O planejamento adequado dos sistemas de abastecimento de água nos municípios garante o atendimento dos diferentes usos da água, permitindo a expansão econômica da região. A construção de uma infraestrutura com capacidade de abastecimento e reservação garante o bom funcionamento de um município e seu desenvolvimento, mesmo em tempos adversos.

Segundo dados do IBGE (2020), em 2020 o Brasil teve um aumento estimado de sua população em 11% se comparado com a população de 2010. Com o crescimento populacional, o número de moradias aumenta acarretando na necessidade de reestruturação da infraestrutura e abastecimento da população sendo necessário, em alguns casos, a procura de novos mananciais para abastecimento criando redes de água interligadas para atendimento às necessidades da população.

Conforme Tsutyia (2005), na seleção de um manancial devem ser considerados todos aqueles que apresentem condições sanitárias satisfatórias. Uma vez encontrados mananciais satisfatórios para a retirada da água, inicia-se a fase de elaboração do projeto de adução da água até a estação de tratamento, podendo então após o tratamento, ser distribuída à população.

“As adutoras e subadutoras são unidades principais de um sistema de abastecimento de água, necessitando de cuidados especiais na elaboração de projetos e na implantação das obras cujo traçado é dependente de vários fatores sendo o mais sensível as características topográficas do terreno” (TSUTYIA, 2005).

Para o aprimoramento dos traçados de adutoras, pode-se utilizar técnicas em sistema de informação geográfica (SIG), pois segundo Elmasri (2004, apud Amaral, 2017) “esses sistemas são utilizados para coletar, modelar, armazenar e analisar informações que descrevem propriedades físicas do mundo geográfico, permitindo

assim gerenciar e manipular informações geográficas”, possibilitando o estudo para ramificações de redes de adução e abastecimento, sendo possível a análise de diferentes caminhos e trajetos avaliando diferentes quesitos (distância, declividade, tipo de solo) visando encontrar caminhos mais adequados e com menor custo.

Para o conhecimento e entendimento dos quesitos de abastecimento municipal de Nova Petrópolis, em 2012 foi elaborado o Plano de Municipal de Saneamento Básico (PMSB) no qual demonstra todas as informações relacionadas ao município quanto à sua estrutura sanitária e de abastecimento. Conforme o PMSB de Nova Petrópolis (2012), os principais mananciais utilizados para o abastecimento da população são o Arroio Santa Isabel e o Arroio Ackermann, situados na localidade de São Jacó, além de poços tubulares para a zona rural.

Nos anos de 2018 e 2019 ocorreu a Agenda NOVA 2050, que propõe um plano de mobilidade urbana para o município criando metas para o decorrer desse período. Dentro do plano, destaca-se a previsão de aumento do município e por consequência a sua infraestrutura deverá acompanhar esse crescimento em tamanho e qualidade. O abastecimento de água no Município de Nova Petrópolis, conforme apresentado no PMSB (2012), atende uma capacidade de 55L/s de água tratada disponível à população, o qual necessita de expansão de sua capacidade. Avaliando a estrutura hídrica do município, pode-se perceber que dentro do perímetro municipal existem outros arroios a serem estudados e avaliados quanto à sua capacidade para uso como manancial. Atualmente existe a possibilidade de expansão da capacidade com a criação de uma rede adutora de poços localizados na Região de São José do Caí, sendo importante também avaliar outras alternativas de captação e implantação de novas redes adutoras interligadas ou não com o sistema de poços.

Para tanto, o presente trabalho visa analisar possíveis pontos para captação de água superficial a partir de um estudo hidrológico de sub-bacias hidrográficas na região das Hortênsias e que poderiam ser integrados ao sistema atual. Após a análise e a verificação de pontos será necessário a avaliação de um traçado para o sistema de recalque utilizando técnicas de geoprocessamento visando encontrar caminhos otimizados com base nas características da região analisando a viabilidade de interligação com sistemas secundários provenientes da retirada de água subterrânea.

2. OBJETIVOS

2.1.OBJETIVO GERAL

Otimizar traçados de sistemas adutores a partir de novos mananciais no município Nova Petrópolis-RS utilizando técnicas de geoprocessamento.

2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos são:

- a) Caracterizar o sistema de abastecimento municipal atual;
- b) Realizar o estudo hidrológico do município encontrando pontos alternativos de captação de água superficial;
- c) Aplicação do método AHP para definição dos graus de importância para os quesitos influenciadores de um sistema adutor;
- d) Aplicar um modelo de otimização baseado em SIG para locação de traçado de adutoras;
- e) Avaliar caminhos mais viáveis para a integração de mananciais superficiais e subterrâneos;
- f) Quantificação preliminar de custo de instalação da tubulação adutora.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica relacionada ao tema proposto, abordando aspectos relativos a plano de saneamento, hidrologia e hidrogeologia, sistemas adutores, análise e otimização de redes por geoprocessamento.

3.1.PLANOS DE SANEAMENTO E ABASTECIMENTO MUNICIPAL

Atualmente, com a promulgação da lei 14.026/2020 ficou definido que a Agência Nacional de Águas e de Saneamento (ANA), passará a referenciar e normatizar diversos quesitos relacionados ao âmbito do saneamento básico compreendendo esferas de execução, normatização e fiscalização (ANA, 2020).

Para atender as demandas crescentes de disponibilidade de água são necessárias estratégias que englobam os sistemas de abastecimento analisando os dimensionamentos, a implantação de projetos e os elevados custos socioambientais e de execução dos sistemas (LACERDA, 2009). Um sistema de abastecimento deve atender a uma população projetada maior que a atual condicionada ao crescimento demográfico que a mesma terá no decorrer dos anos (Tsutyia, 2005).

O abastecimento municipal, compreendido como uma das esferas do saneamento é um direito do cidadão brasileiro, estabelecido pela Constituição Federal Brasileira de 1988 e ampliada pela Lei de Saneamento Básico 11.445 de 2007 (BRASIL). Conforme consta na referida Lei, o abastecimento de água potável é “constituído pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e seus instrumentos de medição”. Os sistemas de abastecimento são os responsáveis por trazer os recursos necessários ao funcionamento de um município ou região.

A NBR 12.211, promulgada em 1992, normatiza os elementos necessários para os estudos de concepção de sistemas de abastecimento de água, sendo dentre um dos seus quesitos abordados a demanda de água necessária, na qual apresenta que para o cálculo da demanda de água devem ser considerados o consumo das ligações medidas, não medidas e o volume de perdas no sistema. Para o atendimento da

demanda é necessário obter uma vazão de dimensionamento de um sistema adutor que compreenda o horizonte de projeto, vazão de adução, período de funcionamento da adução (TSUTYIA 2005).

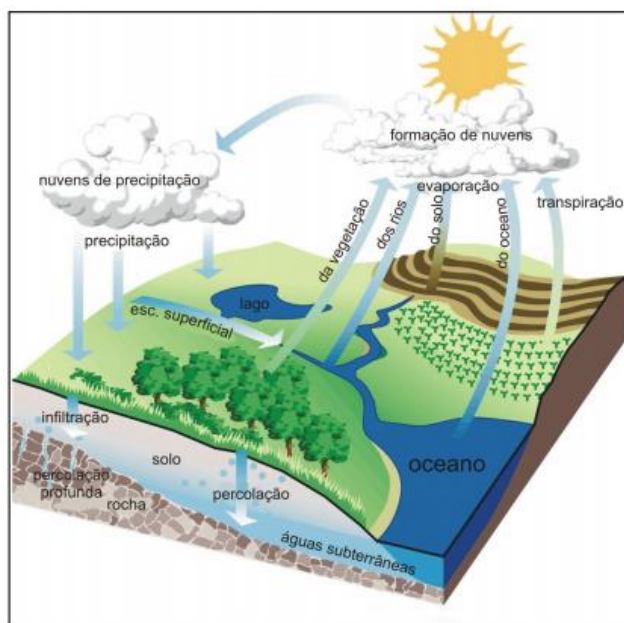
Neste sentido, a existência de mananciais capazes de atender a demanda se faz necessária para que os municípios consigam distribuir água para toda a população e seus usos recorrentes, quer sejam abastecimento humano, irrigação, uso industrial entre outros. Muitos mananciais não possuem qualidade e quantidade suficientes, e o uso integrado de águas superficiais e subterrâneas se torna essencial para que não falte água a curto, médio e longo prazo.

3.2.HIDROLOGIA E HIDROGEOLOGIA PARA O ABASTECIMENTO DE ÁGUA

A hidrologia é a ciência responsável pelo estudo da água na natureza, observando seus fenômenos, distribuição e características na atmosfera, superfície terrestre e subsolo (PINTO, 1976). O correto entendimento do ciclo hidrológico é fundamental para entendimento e concepção de sistemas de abastecimento, uma vez que conforme Tsutyia (2005) é necessário entender o regime de vazões e cota de nível d'água o qual através de estudos hidrológicos avaliará as vazões mínimas e máximas tendo em questão períodos de retorno adequados.

Compreendido como o fenômeno global de circulação de água entre a superfície terrestre e atmosfera (Figura 1), o ciclo hidrológico possui como força motriz a energia solar, gravidade e rotação terrestre (TUCCI, 2009), sendo fator necessário para a manutenção da vida. Pinto (1976) também afirma que esse processo depende da energia solar que mantêm o balanço entre o volume de água contido na terra e na atmosfera.

Figura 1 - Ciclo Hidrológico



Fonte: Paz (2004)

O estudo hidrológico normalmente tem como avaliação principal sua fase terrestre, no qual o elemento fundamental de análise é a bacia hidrográfica, compreendida por uma área de captação natural da precipitação regional a qual direcionará os escoamentos a um ponto comum, denominado de exutório (TUCCI, 2009). O estudo de uma bacia hidrográfica é de crucial importância para entendimento e concepção de um projeto de abastecimento (TSUTYIA, 2005), pois dependendo das características físicas da bacia, o processo de transformação da chuva em vazão será distinto em cada região.

3.2.1. Precipitação e Vazão

A precipitação constitui-se de toda água proveniente da atmosfera a qual atinge a superfície terrestre independente de seu estado podendo ser convectivas, orográficas, frontais ou ciclônicas, granizo, geada, neve e chuva (TUCCI, 2009). A quantidade da precipitação em um determinado local se constitui pela altura de água que caiu em uma superfície plana e impermeável. Para verificação de tal índice podem ser utilizados pluviômetros ou pluviógrafos (PINTO, 1976). Devido à heterogeneidade das chuvas nas bacias, faz-se necessário o cálculo da chuva média na região que pode ser realizado por diferentes métodos tais como média aritmética, isoietas ou método de Thiessen (TUCCI, 2009). Tais postos podem ter falhas na coleta da

informação sendo necessário o preenchimento de falhas que podem ser corrigidas através de métodos de ponderação regional ou regressão linear.

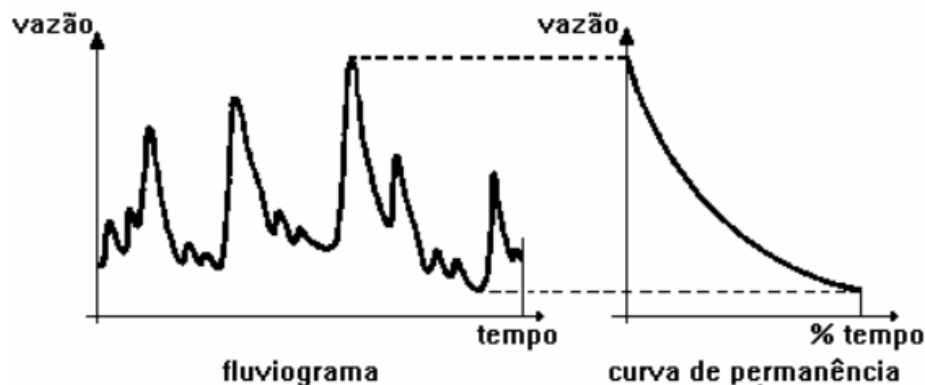
A precipitação ao cair sobre a bacia hidrográfica, tem uma parcela interceptada pela vegetação, uma outra parte infiltrada e uma certa quantidade evaporada. O restante deste balanço originará o escoamento superficial. Fatores antrópicos podem influenciar diretamente o escoamento superficial, uma vez que os desmatamentos favorecem a impermeabilização do solo aumentando os índices de escoamento superficial e diminuição de absorção de água no solo (CÂMARA et. al., 2001).

Para demandas de projeto se faz necessário o entendimento do comportamento dos escoamentos superficiais de uma determinada região, cuja análise está atrelada à contribuição do volume de água que caiu e escoou por uma bacia hidrográfica e que pode ser representado através de um hidrograma.

O hidrograma é definido como um mecanismo gráfico que relaciona vazão no tempo onde podem ser encontrados os parâmetros do escoamento superficial, contendo alguns indícios para identificação do seu comportamento, sendo eles o tempo de retardo, tempo de pico, tempo de concentração, tempo de ascensão, tempo de base e tempo de recessão (TUCCI, 2009). O hidrograma é proveniente de postos fluviométricos sendo feito um estudo sobre fluviogramas complexos advindos de fluviogramas isolados correspondentes aos respectivos períodos de precipitação (PINTO, 1976).

A partir de uma série vazões monitoradas nos fluviogramas, pode-se também obter a curva de permanência. Segundo Colischonn (2011), a curva de permanência é um elemento importante na hidrologia que relaciona a vazão ou nível de um rio à probabilidade de ocorrerem vazões maiores ou iguais aos valores da ordenada (Figura 2). Esta curva pode ser estabelecida com valores diários, semanais ou mensais. Uma vez definidas as vazões de permanência, pode-se utilizar desses parâmetros para analisar um processo de outorga cujo documento é emitido pelos órgãos ambientais competentes, sendo estas vazões atreladas à curva na forma de porcentagem $Q_{50\%}$, $Q_{90\%}$, $Q_{95\%}$, $Q_{99\%}$ (CRUZ e TUCCI, 2008).

Figura 2 - Exemplo esquemático de curva de permanência



Fonte: TUCCI (2008)

Quando aferido a não suficiente capacidade de um leito fluvial em relação à demanda necessária para determinada região, a criação de reservatório é adotada dentro da engenharia como maneira de manter e regularizar as vazões para o abastecimento e continuidade de captação para abastecimento, uma vez que os rios apresentam uma variação sazonal. A criação de um reservatório possibilita outras práticas como produção de energia elétrica, navegação e diluição de despejos (TUCCI, 2009), porém tais itens não serão abordados no presente trabalho. O autor ainda evidencia que a regularização é atrelada ao modo de como a demanda solicitará ao sistema fluvial, podendo ser influenciado pela sazonalidade decorrente de fatores de necessidade como irrigação por exemplo.

3.2.2. Captação superficial e subterrânea

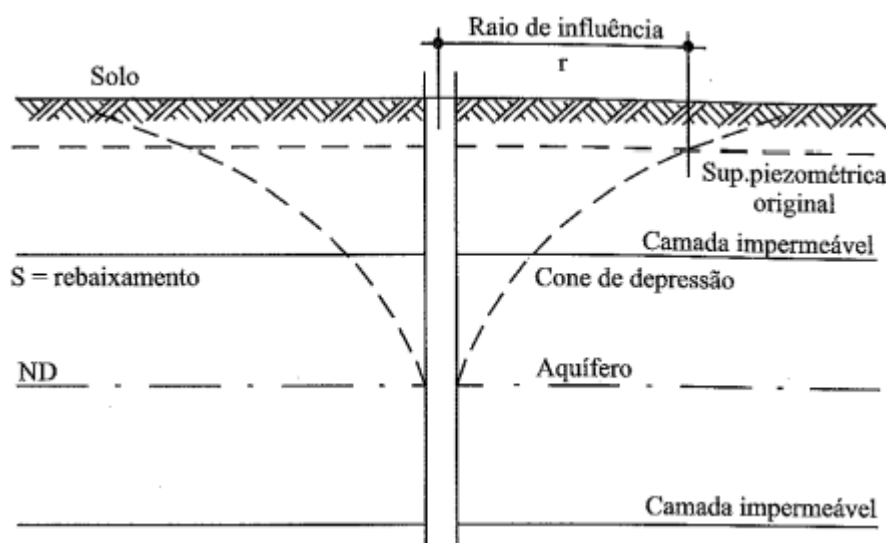
As águas doces superficiais, possíveis para uso humano sem comprometimento ambiental e economicamente viáveis correspondem a 0,001% da água do planeta, porém é suficiente para atender as necessidades de todos os seres humanos, desde que usadas racionalmente, sem desperdícios (REBOUÇAS, 1999, apud CORADI et.al., pág. 1, 2009). A captação de água superficial é um conjunto de processos e mecanismos que interagem entre si construídos juntos a um manancial

que pode ser um curso de água, lagos ou represas, onde deve compreender os seguintes itens (TSUTYIA, 2005):

- a) funcionar ininterruptamente em qualquer época do ano;
 - b) permitir a retirada de água para o sistema de abastecimento em quantidade suficiente ao abastecimento e com a melhor qualidade possível;
 - c) facilitar o acesso para a operação e manutenção do sistema;
 - d) evitar locais sujeitos à formação de bancos de areia;
 - e) evitar margens instáveis;
 - f) local à salvo de inundações;
- cCondições topográficas e geotécnicas favoráveis

Como parte integrante do ciclo hidrológico, as águas subterrâneas contribuem de maneira intrínseca no sistema hidrológico, unindo-se ao escoamento superficial em determinados momentos (TUCCI, 2009). A água subterrânea ocorre em formações rochosas consolidadas e em desagregados não consolidados e seu conhecimento requer estudos verticais dessas formações rochosas (TSUTYIA, 2005). O principal instrumento avaliador das características hidrodinâmicas do aquífero estudado são os poços (Figura 3), a partir de princípios específicos, por exemplo a Lei de Darcy para a porosidade (TSUTYIA, 2005).

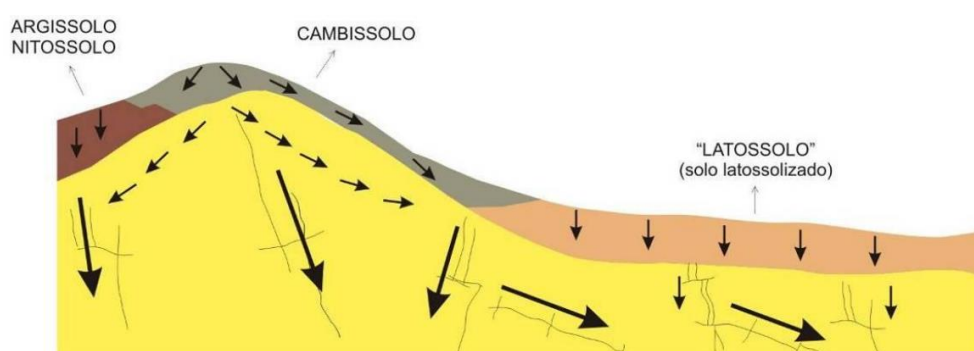
Figura 3 - Exemplo de poço



Fonte: Tsutyia (2005)

Para conhecimento do fluxo de um manancial subterrâneo é necessário o conhecimento de um conjunto de dados físicos do aquífero sendo eles porosidade, condutividade hidráulica, transmissividade hidráulica e carga hidráulica e para quesitos de recarga natural de aquíferos envolvem quesitos de natureza abiótica (solo, litologia, hidrologia uso e ocupação do solo entre outros) e de natureza biótica (cobertura vegetal e microbiologia do solo) Azevedo (2012). A Figura 4 apresenta um modelo referente a recargas naturais de aquíferos

Figura 4 - Mapa conceitual de recarga natural de aquíferos



Fonte: Azevedo (2012)

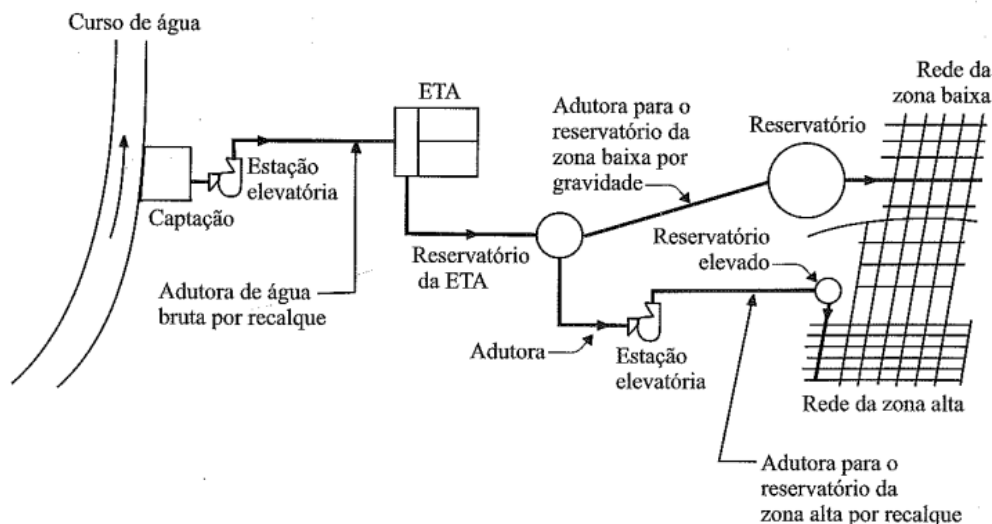
Cadamuro et. al. (2005) em seu trabalho relaciona que a retirada de águas subterrâneas em uma proporção maior do que a capacidade de recarga natural acarreta em uma exploração exacerbada a qual resultará em um aumento do cone de depressão e rebaixamento contínuo do nível freático o qual deve ser evitado. Diamantino (2005) em seu trabalho afirma que em detrimento de situações de insuficiência de recarga natural dos aquíferos mediante as condições regionais e aspectos nos quais dificultam o abastecimento dos aquíferos subterrâneos, seja por percolação de águas pluviais no solo dificultadas pelo avanço da urbanização, dificultando a percolação de águas pluviais no solo diminuem o abastecimento do manancial subterrâneo e aumentam o escoamento superficial e afirma sobre a recarga artificial como meio de intervenção para correção deste problema no qual são projetados sistemas de abastecimento nos aquíferos sendo eles livres ou confinados.

3.3.SISTEMAS ADUTORES

A concepção de um sistema de abastecimento de água está associada a um conjunto de estudos de vários parâmetros de projeto conforme demonstrado na Figura

5, propiciando o correto dimensionamento do sistema a ser implementado (TSUTYIA, 2005). Os sistemas devem disponibilizar água em quantidade e qualidade suficiente para comunidades, indústrias, empresas públicas e privadas de modo geral (FURUSAWA, 2011).

Figura 5 - Demonstrativo de rede de captação e abastecimento



Fonte: Tsutyia (2006)

São considerados mananciais todas as fontes de água superficial ou subterrânea dos quais se retira a água para abastecimento. A disponibilização a população deve satisfazer as demandas de água estipuladas no período de projeto atendendo os quesitos sanitários da qualidade da água disponibilizada Tsutyia (2005). Tucci (2009) diferencia os mananciais em superficiais e subterrâneos.

Segundo Tsutyia (2005) a captação de água é um conjunto de equipamentos, estruturas e dispositivos construídos ou montados junto a um manancial com o intuito de retirada da água para o abastecimento público. Para projetos que visem a captação de águas superficiais e/ou subterrâneas devem ser consideradas as normas pertinentes para tal, compreendidas pela NBR 12.212¹ e NBR 12.213².

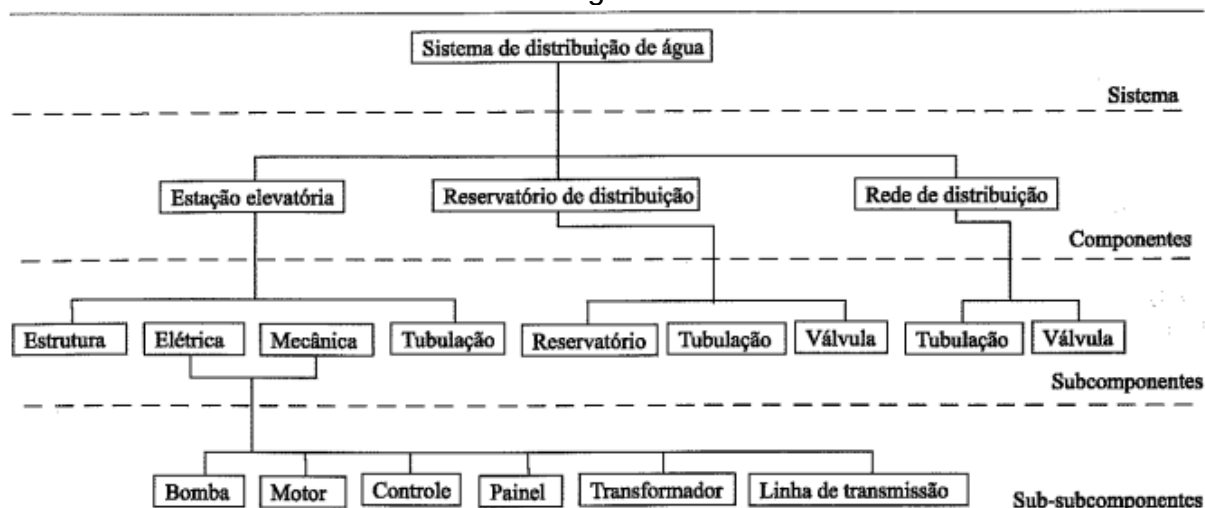
Para o direcionamento da água captada são utilizadas redes adutoras as quais correspondem a um conjunto de obras e equipamentos necessários destinados a recalcar a água para uma unidade seguinte, podendo ainda ser necessário a instalação de booster para aumento da pressão da rede adutora (Tsutyia, 2005). Para

¹ NBR 12.212 – Projeto de Poço e Captação de Água Subterrânea

² NBR 12.213 – Projeto de Captação de Água de Superfície Público.

a concepção de sistemas de bombeamento de água devem ser consideradas normativas específicas como a NBR 12.214³. Observa-se na Figura 6 um detalhamento dos componentes e subcomponentes de um sistema de abastecimento.

Figura 6 - Componentes e subcomponentes de um sistema de abastecimento de água



Fonte: Tsutyia, 2005

Adutoras são canalizações dos sistemas de abastecimento de água doce sendo consideradas como unidades principais de um sistema de abastecimento de água, as quais são responsáveis por conduzir a água as unidades que precedem a rede de distribuição, podendo ser divididas quanto a natureza da água transportada e quanto a energia para a movimentação de água (Tsutyia, 2005).

Para sistemas de abastecimento os projetos de adutoras possuem normativas específicas compreendidas pelas NBRs 12.215⁴ e as NBRs referentes às tubulações utilizadas conforme será abordado mais adiante. O correto dimensionamento dos diâmetros de uma tubulação de condutos forçados é imprescindível e para tanto é importante usar como critérios para dimensionamento a norma NBR 12.215 que aponta elementos tais como perdas de carga, declividade, vazão para dimensionamento.

Azevedo (1998) explica que a perda de carga, que é a perda de energia e pressão de um sistema, está associada à fricção ou atrito de fluídos e comporta-se de modo diferente se comparado com os sólidos. As perdas de carga no regime de

³ NBR 12.214 – Projeto de Sistema de Bombeamento de Água para Abastecimento Público.

⁴ NBR 12.215 – Projeto de Adutora de Água para abastecimento público.

escoamento laminar são exclusivamente dependentes da viscosidade, porém em regime turbulento a perda torna-se um efeito combinado das forças devidas à viscosidade e inércia.

Diferentes métodos são utilizados para cálculo de perda de carga, sendo a fórmula de Hazen Williams (1) e Equação Universal (2) as mais utilizadas e mencionadas na NBR 12.215 de 1992 para obtenção da perda de carga linear. Em acréscimo a perda de carga linear, as singularidades tais como conexões e mecanismos dispostos na rede (FREIRE, 2000) também são responsáveis pela perda de energia do sistema. Conforme Tsutyia (2005) e Freire (2000) as perdas de cargas singulares podem ser calculadas pela Equação 3.

$$J = \frac{10,65 \times Q^{1,85}}{C^{-1,85} \times D^{-4,87}} \quad (1)$$

onde:

J = Perda de carga unitária, m/m

C = Coeficiente de Rugosidade (tabela 1)

Q = Vazão, m³/s

D = Diâmetro, m

$$\Delta h = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (2)$$

onde:

Δh = Perda de carga, m;

f = Coeficiente de atrito;

L = Comprimento da tubulação;

g = Aceleração da gravidade, m/s²;

V = Velocidade média, m/s;

D = Diâmetro, m;

$$\Delta h_L = k \frac{V^2}{2g} \quad (3)$$

onde:

Δh_L = Perda de carga localizada, m;

K = Coeficiente adimensional que depende da singularidade, do número Reynolds, da rugosidade da parede e, em alguns casos, das condições de escoamento.

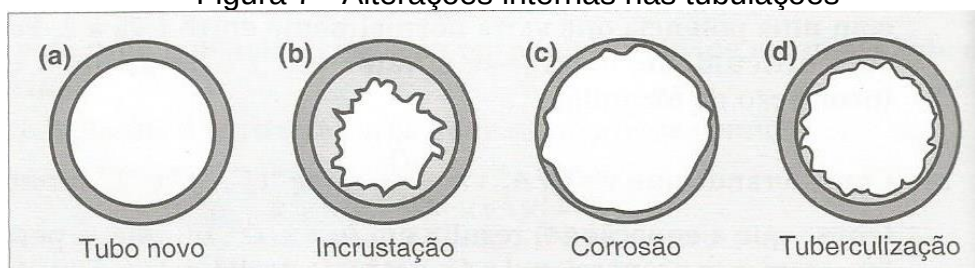
Tabela 1 - Coeficiente C de Hazen Williams

tubos	novos	usados +- 10 anos	usados +- 20 anos
Aço corrugado (chapa Ondulada)	60	-	-
Aço galvanizado roscado	125	100	-
Aço rebitados, novos	110	90	80
Aço soldado comum (revestimento betuminoso)	125	110	90
Aço soldado com revestimento epóxico	140	130	115
Chumbo	130	120	120
Cimento-Amianto	140	130	120
Cobre	140	135	130
Concreto, bom Acabamento	130	-	-
Concreto, Acabamento Comum	130	120	110
Ferro Fundido, revestimento Epóxico	140	130	120
Ferro Fundido, revestimento de Argamassa de cimento	130	120	105
Grês Cerâmico, vidrado (manilhas)	110	110	110
latão	130	130	130
Madeira, em aduelas	120	120	110
Tijolos, condutos bem executados	100	95	90
Vidro	140	-	-
Plástico (PVC)	140	135	130

Fonte: Azevedo (1998)

Azevedo (1998) explica que a incrustação progressiva de substâncias contidas na água escoada (Figura 7), ao longo do tempo de uso da tubulação também influencia na perda de carga, uma vez que o seu diâmetro é modificado, aumentando a velocidade e atrito.

Figura 7 - Alterações internas nas tubulações



Fonte: Netto, 1998

O dimensionamento de sistemas adutores consiste em uma série de etapas oriundas de quesitos hidráulicos associados a demanda da população, sendo parte dele o tipo de tubulação a ser empregada considerando qualidade e quantidade de água, prevenção de vazamentos e trincas, pressão de água e condições econômicas

visando o menor custo (Tsutyia, 2005). Ainda segundo o mesmo autor, os principais materiais empregados para sistemas de abastecimento de água são tubos de aço e ferro fundido dúctil quando utilizados tubos metálicos e na classe de tubos não metálicos são utilizados tubos de PVC-M Defofo, poliéster reforçado com fibra de vidro e concreto protendido.

Outros materiais podem ser empregados, como por exemplo o Polietileno de Alta Densidade, seguindo as normativas estabelecidas na NBR 15802⁵. Referente aos materiais mais utilizados pode-se destacar projetos de tubulações de ferro fundido conforme NBRs 7675⁶, 7560⁷ entre outras, material como o PVC-M DEFOFO delimitado pela NBR 7665⁸.

3.3.1. Requisitos para elaboração de um sistema de abastecimento de água

Para a elaboração de um sistema de abastecimento são necessários estudos para a correta concepção do sistema, tais como a caracterização da área de estudo, análise do sistema de água existente, levantamento dos estudos e planos existentes, estudos demográficos, de reservatórios, estações de tratamento existentes, redes de distribuição, estimativas de custos das alternativas propostas entre outros. Para o estudo de concepção de um projeto de abastecimento deve-se seguir normativa específica, como por exemplo a NBR 12.211⁹ promulgada em 1992.

Conforme Tsutyia (2005), as adutoras são condutos encarregados do transporte de água entre as unidades do sistema de abastecimento que precedem a rede de distribuição. Elas interligam a captação e tomada de água à estação de tratamento de água.

Tsutyia (2005) classifica as adutoras segundo a energia utilizada para movimentação da água: adutora por gravidade, adutora por recalque ou ainda adutora mista. As adutoras por gravidade são aquelas que transportam a água de uma cota mais elevada para a cota mais baixa, como mostrado na Figura 8. Adutoras por

⁵ NBR 15.802 – Sistemas Enterrados para distribuição e adução de água e transporte de esgotos sob pressão – Requisitos para projetos em tubulação de polietileno PE 80 e PE 100 de diâmetro externo nominal entre 63mm e 1600mm

⁶ NBR 7.675 - Tubos e conexões de ferro dúctil e acessórios para sistemas de adução e distribuição de água – Requisitos.

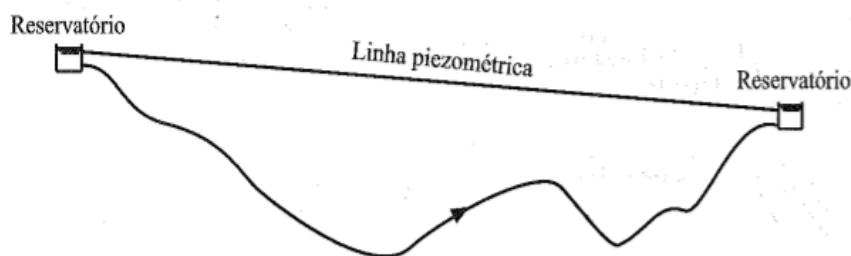
⁷ NBR 7.560 - Tubo de ferro fundido dúctil centrifugado, com flanges roscados ou montados por dilatação térmica e interferência — Especificação

⁸ NBR 7.665 - Sistemas de transporte de água ou de esgoto sob pressão — Tubos de PVC-M DEFOFO com junta elástica — Requisitos

⁹ NBR 12-211 - Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água - Procedimento

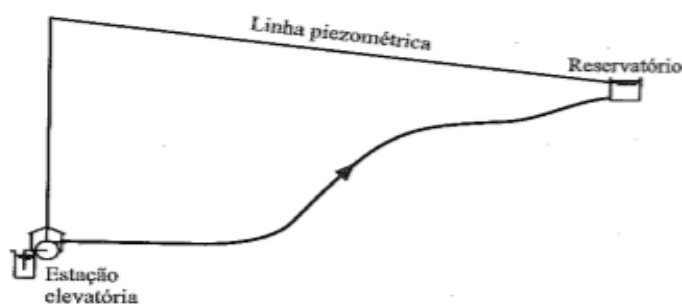
recalque transportam a água de um ponto a outro com a cota mais elevada, através de estações elevatórias, demonstrado na Figura 9. As adutoras mistas se compõem de trechos por recalque e de trechos por gravidade, ilustrado na Figura 10.

Figura 8 – Adutora por gravidade



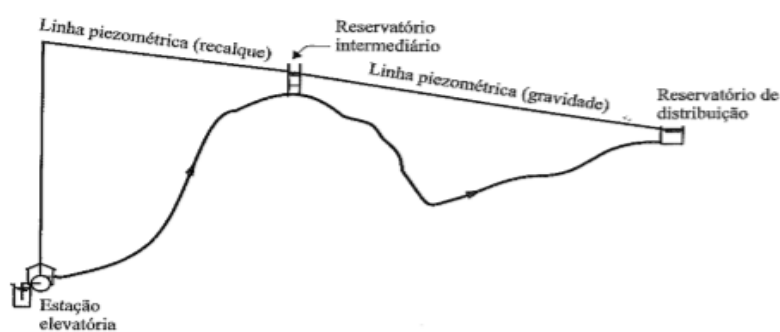
Fonte: Tsutiya (2005).

Figura 9 – Adutora por recalque



Fonte: Tsutiya (2005).

Figura 10 – Adutora mista



Fonte: Tsutiya (2005).

3.3.2. Caminhamento da adutora

Tsutiya (2005) afirma que o traçado da adutora, normalmente é realizado em função das características topográficas do terreno. Entretanto, outros aspectos devem ser considerados para o traçado da adutora, tais como: a influência do plano de carga

e da linha piezométrica; localização e perfil da adutora; faixas de servidão ou desapropriação para a instalação e operação das adutoras. O autor evidencia que os sistemas de abastecimento de água são objeto de licenciamento ambiental por utilizarem recursos ambientais, por serem obras de saneamento que podem causar modificações ambientais.

Já Heller e Pádua (2006) explicam que, o caminhamento da adutora é definido com base em critérios técnicos e econômicos, sendo a sua concepção definida através de levantamentos topográficos, geotécnicos e inspeções de campo, procurando evitar regiões que dificultem sua implantação, operação e manutenção, tais como áreas pantanosas, declividades elevadas vias de tráfego intenso etc. As áreas de implantação devem ser de preferência de domínio público, não sendo possível, a área deve ser desapropriada ou estabelecido um contrato de servidão, podendo nesse caso utilizada pelo proprietário, com restrições decorrentes da servidão.

A NBR 12.215-1: Projeto de adutora de água. Parte 1: Conduto forçado (ABNT, 2017) destaca que o caminhamento da adutora deve procurar sempre o terreno com melhores condições de solo, evitando os rochosos, alagadiços e de baixa resistência, áreas com declividade elevada, pavimento rígido, e qualquer outro obstáculo que comprometa os trabalhos de sua implantação, operação e manutenção. Também ressalta que o projeto deve considerar o eventual trânsito de veículos sobre a faixa da adutora, prevendo-se, neste caso, o recobrimento adequado da adutora ou reforço de sua estrutura.

Quesitos relativos as características do solo são consideradas, uma vez que se sugere evitar a instalação do traçado onde o terreno é rochoso, pantanoso ou que não tenha características adequadas para o recebimento das tubulações, buscando sempre que possível o não corte de árvores nativas. Quanto às inclinações a redes adutoras devem possuir declividades não inferiores a 0,2% em trechos ascendentes e não inferiores a 0,3% em trechos descentes, sendo rejeitado a instalação das tubulações em trechos de adução horizontal (TSUTYIA, 2005).

A altitude entre os pontos caracterizados para o traçado influencia diretamente no orçamento do projeto uma vez que alterará o sistema de bombeamento escolhido, pois segundo Netto (1998), o conjunto motor-bomba deverá vencer a diferença de nível entre os dois pontos mais as perdas de carga em todo o percurso e perdas de carga localizadas devido às peças especiais. A declividade é outro fator que pode

influenciar nas características do sistema pois segundo Rauen (2014), os acidentes geológicos induzidos exigem um maior custo de implantação do sistema adutor.

3.4.ANÁLISE DE REDES

A análise das redes de informações torna-se de crucial importância no âmbito de projetos em diferentes áreas. Atualmente adentrou-se no âmbito de projeto o conceito de otimização econômica dos projetos além de quesitos hidráulicos com o intuito de diminuir o impacto econômico, uma vez que os métodos tradicionais não visam a busca da solução de menor custo (FURUSAWA, 2011).” No estudo dos sistemas hídricos, as técnicas simplificadas de análise e solução evoluíram para os modelos usuais de simulação ou de otimização, ou seja, simular o comportamento da realidade que os sistemas representam e otimizar os processos decisórios que atuam sobre esta realidade” (NEVES, 2009).

3.4.1.Sistemas de geoprocessamento (SIG)

O Geoprocessamento consiste em um conjunto de técnicas capazes de obtenção, análise, transformação, publicação e armazenamento de dados espaciais (ORNELAS, 2011). Um sistema de dados baseado em Sistema de informação geográfica (SIG), quando bem delimitado e trabalhado, pode se tornar de extrema utilidade no âmbito da gestão de recursos hídricos auxiliando na decisão de decisões globais quanto ao gerenciamento das redes (AMARAL, 2017).

O conceito de geoprocessamento não se limita a abastecimento de água, podendo ser utilizado em várias esferas, sendo necessário que cada especialista adeque ou transforme os conceitos de seu projeto, disciplina ou metodologia em representações computacionais (CÂMARA et. al. 2001). Os SIGs atualmente são muito utilizados como ferramentas que auxiliam no gerenciamento dos recursos hídricos, uma vez que podem ser usados em processos de cadastros de usuários de água, monitoramento de quantitativo e qualitativo de água, alerta de eventos, mapeamento e cartografia dentre outros (AMARAL, 2017).

A forma de geração desses dados digitais pode ser estruturada em vetoriais ou matriciais. Conforme Trevisan (2008), os dados vetoriais correspondem analogamente às formas geométricas, onde seus dados podem ser calculados com

estes métodos dando grande exatidão as duas informações, enquanto os dados matriciais se utilizam de leituras pixel por pixel nos quais seus dados processados conseguem realizar diferentes cálculos na forma de obter mapas resultados sendo eles, na maioria dos casos, melhor resolvidos visualmente que mapas vetoriais.

No mercado há várias ferramentas SIG, sendo atualmente um dos mais utilizados o QGIS, por ser um sistema gratuito. O QGIS é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de Código Aberto licenciado segundo a Licença Pública Geral GNU, projeto oficial da Open Source Geospatial Foundation (OSGeo) (QGIS, 2020). O projeto QGIS conta com o apoio de voluntários que trabalham para o aprimoramento e constantemente melhoramento da plataforma, sendo constantes os avanços e funcionalidades do software ao longo do tempo.

3.4.1.1. Otimização de traçados

Por meio das ferramentas de SIG e da análise multicritério, é possível definir regiões para a determinação do melhor caminho (menor custo) entre uma origem e um destino que pode ter vários pontos no qual o traçado determina a melhor solução para quesitos de implantação do sistema adutor com menor custo de implantação (AMARAL, 2017). Neves (2009) afirma que as técnicas simplificadas de análise e solução evoluíram para modelos de simulação e otimização das realidades de projeto, nos quais através de algoritmos pode-se computar diferentes grupos de valores sobre determinadas restrições para obtenção de uma função objetivo.

Ornelas (2011) explica que os modelos de análise multicritério são baseados no cruzamento de informações através de softwares específicos a fim de diagnosticar e prognosticar as diversas situações oriundas de uma região estudada.

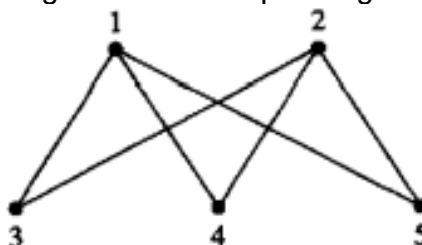
Amaral (2017) afirma em seu trabalho que a otimização de traçados decorre da minimização de um conjunto de planos de custos ponderados com as derivações do traçado escolhido e suas restrições, podendo definir um traçado de melhor caminho ou mínimo custo. Carvalho (2017) menciona em seu trabalho que a criação de rotas de menor caminho contribui para a diminuição dos custos operacionais dos sistemas propostos por projetos elaborados.

3.4.1.2. Problemas de otimização

Problemas de otimização podem ser utilizados para a caracterização de percursos de menor trajeto. Há diferentes problemas que podem ser resolvidos por otimização, dentre os quais pode-se citar o problema do menor caminho, problema do caixeiro viajante, o problema do roteamento de veículos e o problema de localização (AMARAL, 2017). Para a resolução dos problemas de otimização utilizam-se métodos caracterizados pela maximização ou minimização de uma ou mais funções em termos de uma ou mais variáveis de decisão, num determinado domínio, geralmente atreladas a um conjunto de restrições (MARTINHAGO, 2012).

O problema do caixeiro viajante consiste em uma maneira identificação de roteiro ou percurso de menor comprimento que compreenda todos os pontos de um sistema, no qual cada trecho é percorrido apenas uma vez (ORNELAS, 2011; AMARAL, 2017). Amaral (2017) afirma que o problema de menor caminho é um subproblema do caixeiro viajante podendo ainda demonstrar caminhos mínimos apenas, mas tempos e custos mínimos. Para compreensão pode-se utilizar de grafos conforme exemplificado na Figura 11.

Figura 11 - Exemplo de grafo



Fonte: GESRSTING (2004)

Pode-se verificar e perceber através da distância entre os pontos que eles possuem valores distintos se comparados o trecho 1-3 e o trecho 1-5. Gersting (2004) afirma que pode se utilizar grafos ponderados onde cada arco tenha valor numérico ou peso associado. Amaral (2017) exemplifica a metodologia dos grafos ponderados com um sistema onde um nó representado pode ser uma ETA e os arcos podem conter o comprimento (peso) do sistema adutor.

Outro problema a ser adotado, é o problema de roteamento de veículos citado por SILVA (2009) como sendo um problema com o objetivo de encontrar o menor custo de uma viagem (custo total e distância percorrida). Tal problema pode ser aplicado a traçados de adutoras porque conforme Tsutyia (2005), sendo que as redes

adutoras representam grande parte do custo de implantação para um sistema de abastecimento.

3.4.1.3. Benefícios de otimização

Segundo Rodella (2014) os modelos de otimização aplicam-se aos casos em que se procura identificar uma alternativa operacional ótima referente a um sistema, podendo ter diferentes aspectos apontados nos casos, por exemplo comprimento final, áreas de manutenção e operação, quantidades de materiais de proteção entre outros (LACERDA e NETO, 2012).

Os modelos de otimização baseados em SIG podem ser aplicados em diferentes áreas, conforme afirma Neves (2009) podendo ser estendido aos métodos de engenharia econômica. Balbinot (2008) utilizou de técnicas de otimização para avaliação do índice de florestas de uma determinada região, para monitoramento, previsão e prevenção de inundações de determinadas áreas urbanas. O custo de implantação de sistemas adutores pode ser influenciado por técnicas de otimização conforme demonstrado no trabalho de Luz e Neves (2009) no qual otimizam um sistema adutor através de metodologias numéricas lineares. As áreas de aplicabilidade de técnicas de geoprocessamento são vastas, outro exemplo é o trabalho de Amaral (2017) no qual utilizou de informações em SIG para otimização de sistemas adutores, buscando e testando caminhos de mínimo custo de implantação. Carvalho (2006) utilizou de técnicas de geoprocessamento para a otimização da localização de reservatórios na bacia do Rio Coruripe. Carvalho (2017) em seu trabalho, utilizou de técnicas de geoprocessamento para análises multicriteriais referentes a áreas de implantação de aterros sanitários.

3.5. MÉTODO AHP

O método AHP (*Analytic Hierarchy Process*), fora originado no início da década de setenta e teve como criador Tomas L. Saaty, no qual este método tem como base os métodos newtonianos e cartesianos os quais tratam a complexidade buscando decompor os fatores e se necessário subfatores até um nível mais alto onde se torne possível dimensionar e estabelecer relações, para em um segundo momento sintetizar todos os dados. A execução do método AHP se baseia em três etapas distintas sendo elas (MARINS, 2009):

- a) Construção de hierarquias
- b) Definição de prioridades
- c) Consistência lógica

A construção de hierarquias para o método AHP se dá através da decomposição dos fatores frente ao estudo a ser realizado, os quais posteriormente serão avaliadas as prioridades frente à hierarquização estabelecida (SAATY, 1980 apud MARISN. 2009). A Figura 12 apresenta um exemplo de escalas para a classificação dos parâmetros e prioridades integrantes no método AHP a ser executado. Ainda segundo o mesmo autor, estas escalas devem ser analisadas na forma de julgamentos paritários, no qual se faz do uso de matrizes para a elaboração de autovetores, os quais deverão ser utilizados como pesos resultantes para a integração do método par a par (Tabela 2).

Figura 12 - Exemplo de escalas para o método AHP

Figura 11 Exemplo de escalas para o método AHP								
Extremamente	Fortemente		Igualmente		Fortemente		Extremamente	
1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Muito fortemente	Moderadamente				Moderadamente			Muito fortemente
Menos importante					Mais importante			

Fonte: Eastmann (1999, apud Trevisan, 2008)

Tabela 2 - Exemplo de comparação par a par

	Declividade	APP	IEP	UOT	Pesos estatísticos
Declividade	1	1/3	1/5	1/9	0,0499
APP	3	1	1/3	1/5	0,1141
IEP	5	3	1	1/3	0,2554
UOT	9	5	3	1	0,5806

Razão de consistência = 0,028 < 0,10 considerada aceitável. UOT – Uso e ocupação da terra

Fonte: Moreira, 2019

Após a criação da matriz de comparação par a par com os pesos atrelados, se faz necessário a verificação da consistência lógica do resultado dos cálculos. Conforme Colombo (2019), a razão de consistência (RC) entre o índice de consistência (IC) e o índice de consistência randômico deverá estar abaixo de 0,10 para garantir um grau de assertividade uma vez que a ponderação dos dados possui o propósito de demonstrar as condições da área analisada da forma mais real possível Amaral (2017).

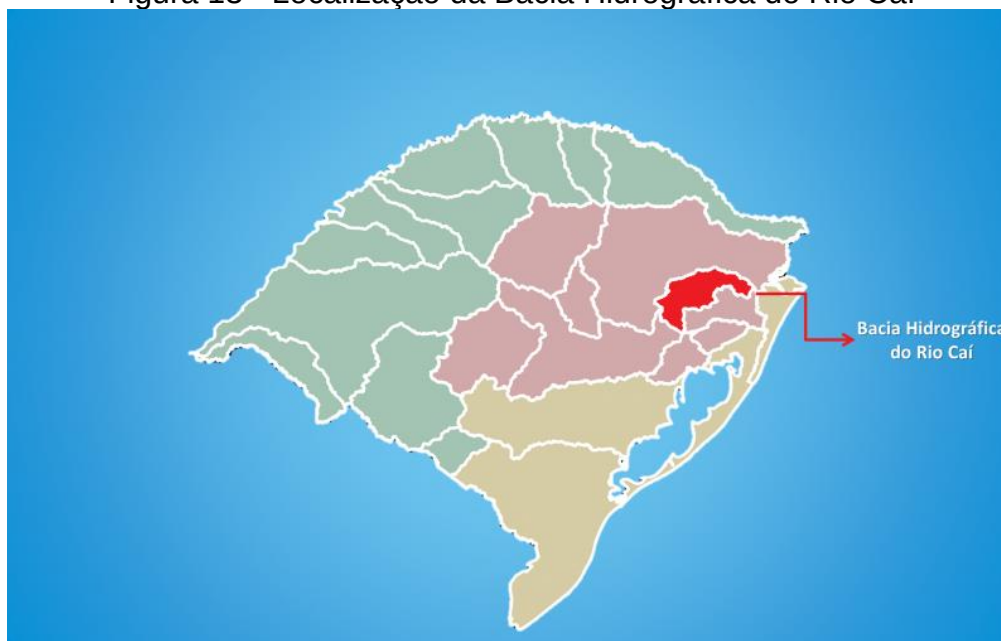
4. ÁREA DE ESTUDO

O presente trabalho tem como área de estudo o Município de Nova Petrópolis, inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Caí compreendida da Região Hidrográfica do Guaíba.

4.1.BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAÍ

Localizada na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul, a Bacia Hidrográfica do Rio Caí está inserida na Região Hidrográfica do Guaíba (Figura 13). A bacia do rio Caí possui 4.945,70 km² abrangendo os municípios de Canela, Caxias do Sul, Montenegro, Bom Princípio, Nova Petrópolis, São Francisco de Paula e Sapiiranga (SEMA RIO GRANDE DO SUL, 2020).

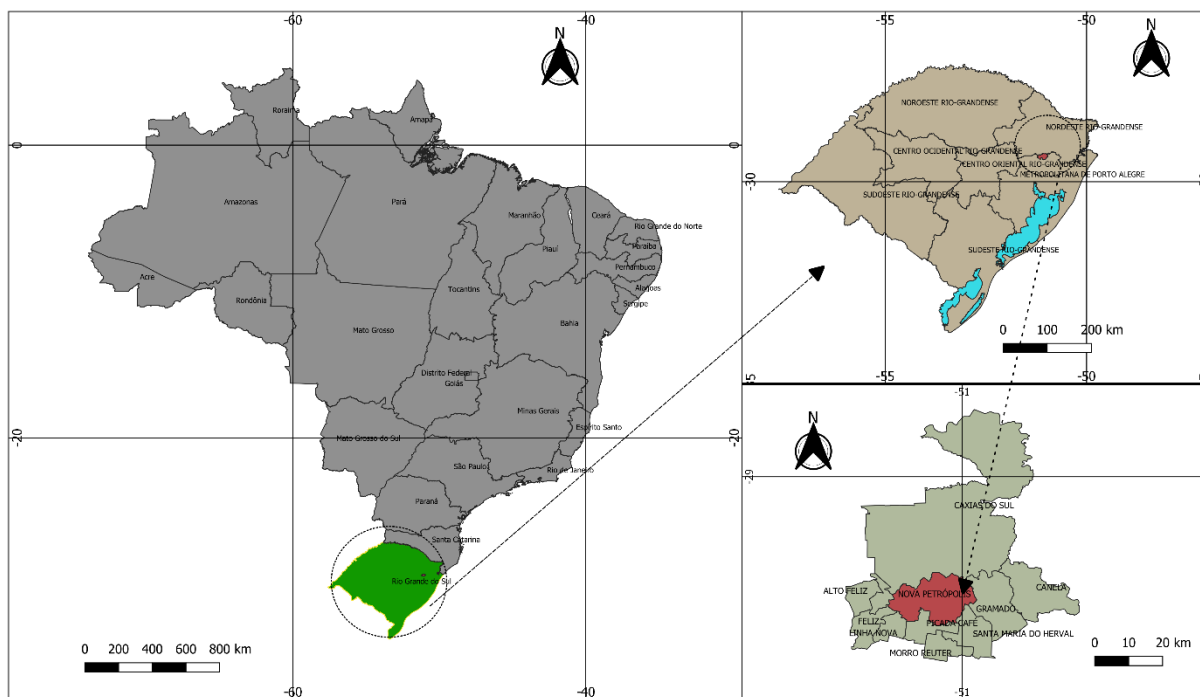
Figura 13 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Caí



Fonte: SEMA RS (2020)

A Bacia Hidrográfica do Rio Caí tem como seus principais afluentes (Figura 14) os arroios Cará, Cadeia, Ferromeco, Mauá, Maratá e Piaí entre outros conforme dispostos nas resoluções CRH nº50/2008 e CRH 51/2009 dispondo do enquadramento da bacia hidrográfica (SEMA RIO GRANDE DO SUL, 2020). O uso dos recursos hídricos da bacia do Rio Caí consiste em irrigação, uso comercial, industrial e abastecimento público. A vazão de referência para outorga é a Q90, definida no Plano de Bacia do Rio Caí.

Figura 15 - Município de Nova Petrópolis



Fonte: O Autor (2021)

Figura 16 - Barragem Santa Isabel



Fonte: NOVA PETRÓPOLIS RS (2012)

Destes pontos, a água é bombeada até a estação de tratamento do Município que é operada pela Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN). A Tabela 3 mostra os dados dos poços municipais e da Corsan.

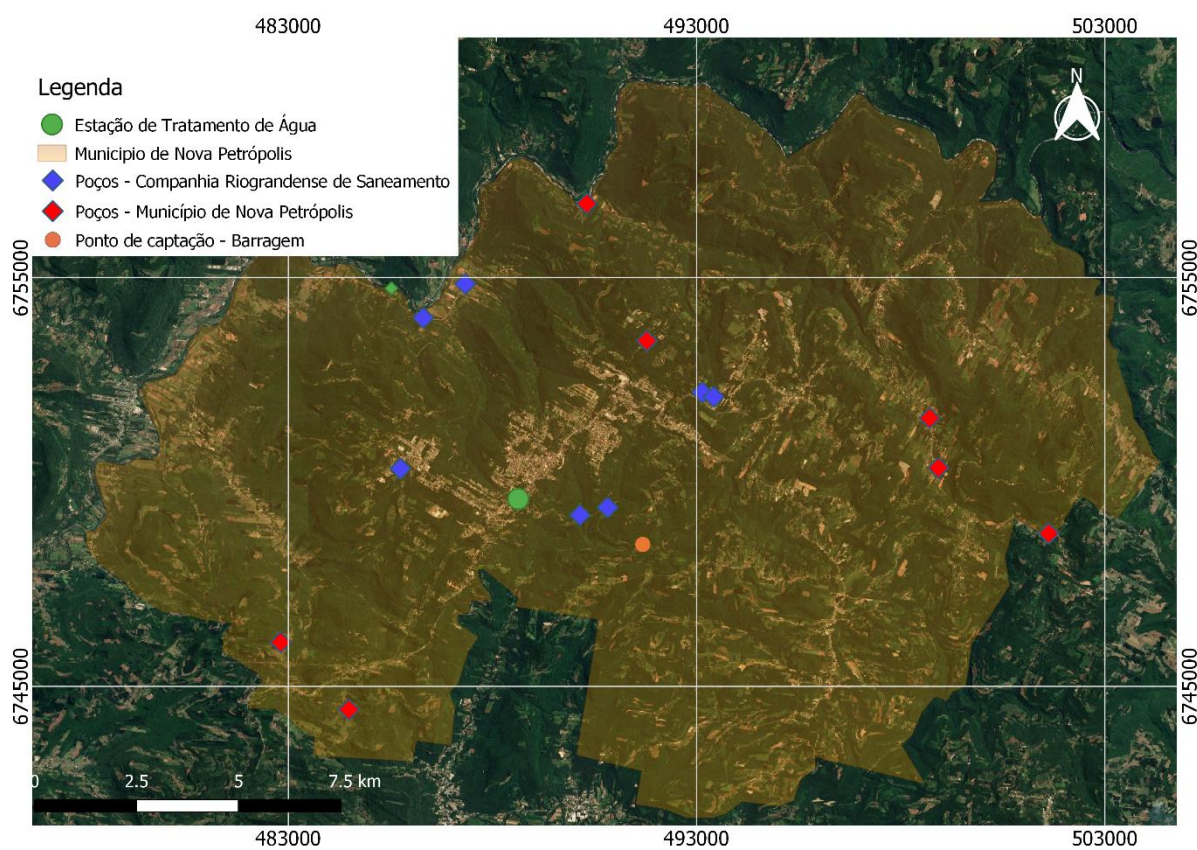
Tabela 3 - Poços no Município

Nome do usuário de água	Vazão média (m³/dia)	Latitude	Longitude
Companhia Riograndense de Saneamento	540,00	-29.343	-51.141
Companhia Riograndense de Saneamento	1260,00	-29.335	-51.131
Companhia Riograndense de Saneamento	140,00	-29.359	-51.071
Companhia Riograndense de Saneamento	420,00	-29.360	-51.068
Companhia Riograndense de Saneamento	150,00	-29.387	-51.102
Companhia Riograndense de Saneamento	450,00	-29.385	-51.095
Companhia Riograndense de Saneamento	168,00	-29.376	-51.147
MUNICÍPIO DE NOVA PETRÓPOLIS	7,20	-29.429	-51.16
MUNICÍPIO DE NOVA PETRÓPOLIS	240,00	-29.318	-51.100
MUNICÍPIO DE NOVA PETRÓPOLIS	95,00	-29.415	-51.177
MUNICÍPIO DE NOVA PETRÓPOLIS	12,00	-29.365	-51.013
MUNICÍPIO DE NOVA PETRÓPOLIS	13,50	-29.348	-51.085
MUNICÍPIO DE NOVA PETRÓPOLIS	54,00	-29.391	-50.983
MUNICÍPIO DE NOVA PETRÓPOLIS	78,07	-29.376	-51.011

Fonte: SEMA (2021)

Existem ainda poços perfurados em localidades nas zonas rurais do município, nos quais é realizado o tratamento de água simplificado direcionando esta água às comunidades do interior sendo de responsabilidade das Associações de Moradores o seu tratamento conforme Figura 17. Dentro do município de Nova Petrópolis, optou-se por se utilizar cada vez mais a perfuração de poços para a retirada de água e assim direcioná-la à população, sendo abertos recentemente dois poços da região de São José do Caí para o abastecimento para a população.

Figura 17 - Captação superficial e subterrânea no município de Nova Petrópolis



Fonte: O Autor (2021)

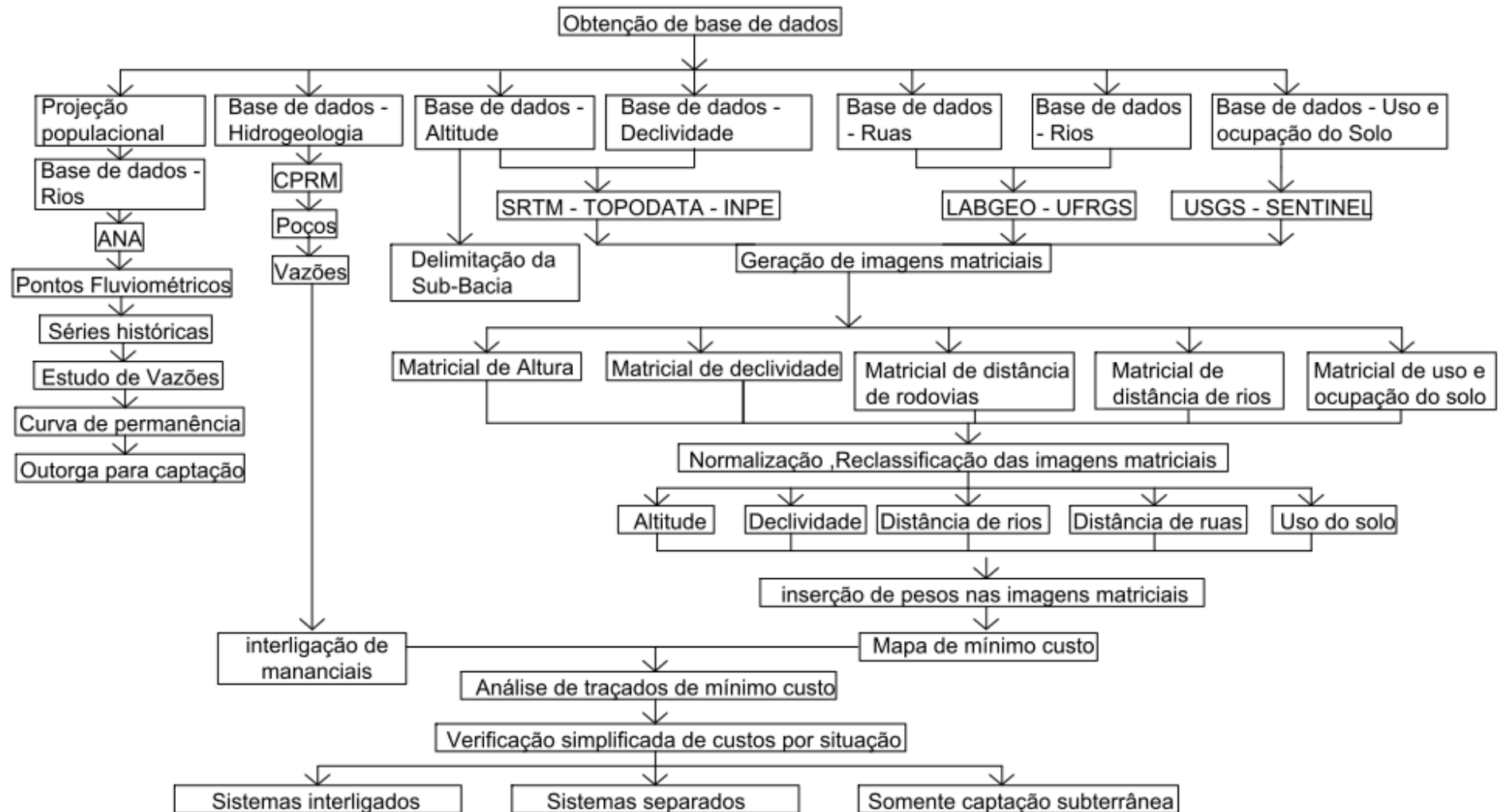
5. METODOLOGIA

A seguir é apresentada a metodologia para realização deste trabalho que conta com uma série de etapas que são apresentadas na Figura 18.

Para a realização do presente trabalho, foi realizado um estudo hidrológico com ênfase nas vazões do Rio Caí no trecho mais próximo aos limites municipais de Nova Petrópolis. Além do escoamento superficial foram utilizados pontos de captação de água subterrânea existentes na localidade de São José do Caí.

Logo, foi avaliado o caminho proposto e outros trajetos relacionados a análises com sistemas de geoprocessamento para a verificação de possibilidades de caminhos de menor custo para a implantação do sistema visando interligação com novos pontos de captação.

Figura 18 - Fluxograma para desenvolvimento de traçados de mínimo custo



Fonte: O Autor (2021)

5.1.OBTENÇÃO DE BASE DE DADOS

Para a elaboração do presente trabalho foram caracterizados os aspectos físicos no município tais como o uso e ocupação do solo, hipsometria, declividade, distância de rios, distância de ruas, poços tubulares e cursos de água.

Para a verificação das informações de hipsometria e declividade, foi utilizada a base de dados do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA, 2021), ajustada para 30 metros por pixel. Para a obtenção dos dados pertinentes aos poços no município de Nova Petrópolis foi utilizado o Sistema de Outorgas (Siout) da Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Rio grande do Sul (SEMA). Para a obtenção do mapa de uso e ocupação do solo foi utilizado o sistema de dados da US Geological Survey (SGUS) com utilização do satélite Sentinel, no qual foi obtida a imagem em formato GeoTiff com resolução de 10 metros por pixel processado.

Para a caracterização do sistema de rios e sistema de água subterrâneas foram utilizados os dados geodésicos na escala de 1:50.000 disponibilizados pelo Laboratório de Geoprocessamento do Centro de Ecologia do Instituto de Biociências (LABGEO) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Para a elaboração dos mapas foram utilizados os softwares QGIS 3.14 e Idrisi Selva.

5.2.PROJEÇÃO POPULACIONAL E ESTUDO DE VAZÕES

A projeção populacional incide diretamente na tomada de decisões para a quantidade de água a captar, influenciando diretamente no manancial escolhido. Para o estudo de projeção populacional se utilizou o modelo de projeção geométrica conforme mostra a Equação 4.

5.3.DELIMITAÇÃO DA SUB-BACIA

Para a delimitação da sub-bacia afluente ao ponto de interesse quanto à captação superficial e obtenção de seus parâmetros relacionados como comprimento e área foi utilizado o software *QGis versão 3.14*, com o plugin *IPH Hydro tools*.

O ponto de captação de interesse está localizado na coordenada 48.5522,00E e 67.54736,00S, o qual não possui dados de vazão. Sob estas condições foi utilizada a metodologia de regionalização de vazões para obtenção das vazões no ponto de interesse, no qual consiste em uma regressão linear tendo como base a área da bacia hidrográfica mais próxima, conforme mostra equação 5.

$$Qb = Qa \frac{Ab}{Aa} \quad (5)$$

onde:

Qa = Vazão de primeiro ponto (m³/s);

Qb = Vazão Corrigida (m³/s);

Aa = Área da bacia do primeiro ponto (m²);

Ab = Área da bacia do ponto a obter a vazão (m²);

5.4. GERAÇÃO DE IMAGENS MATRICIAIS, NORMALIZAÇÃO, RECLASSIFICAÇÃO E INSERÇÃO DE PESOS

Para a execução das análises dos diferentes cenários possíveis para a instalação de um sistema adutor e/ou interligação de mananciais, visando a obtenção de caminhos de menor custo foi utilizado o complemento “*Cost grow*” e “*Path Way*” do software IDRISI.

A avaliação dos diferentes parâmetros foi realizada a partir de bases de dados referente a diferentes fatores intrínsecos à execução de um sistema adutor, tais como distância de implantação em relação às ruas, altitude, declividade e distância de rios e uso do solo. A classificação das imagens consistiu na normalização através da resolução dos mapas obtidos, corrigindo-os para possuírem as mesmas características dimensionais garantindo a correta análise e sobreposição. A inserção de pesos foi realizada através da inserção dos mesmos por categorias adiantes demonstradas de modo a todos os mapas possuírem os mesmos graus atribuídos entre si. Os valores foram elencados com categorização de intervalo 1 a 10 sendo a

categoria 1 o grau com menor custo de implantação, logo fator menor, e o fator 10 no qual com custo de implantação máximo e fator de custo maior.

Para a combinação dos diferentes valores de critérios adotados a partir das imagens matriciais, foi realizada uma reclassificação de seus valores os quais foram adotados os valores de referência apresentados por Amaral (2017). A Tabela 4 mostra os pesos utilizados para o critério declividade.

Tabela 4 - Reclassificação de declividade

Declividade em %	Novos Valores	Custos
0-10	1	1
10-20	2	4
20-30	3	7
>30	4	10

Fonte: Amaral (2017)

O critério de declividade possui fator importante no direcionamento de um sistema adutor, pois acarreta principalmente o item de movimentação de solo para a execução de um sistema. Quando em elevados valores obtêm-se maiores gastos com abertura de valas mais profundas ou aterro quando forem em situações contrárias. Um caminho com declividades muitos desregulares evidenciam maiores pontos de instalação de ventosas, válvulas de limpeza acarretando uma infraestrutura para o a manutenção majorado durante a própria fase de implementação do sistema proposto. Logo, valores maiores de declividade possuem pesos de custos mais elevados, pois influenciam a dinâmica do sistema em toda sua vida útil. A Tabela 5 mostra os pesos utilizados para o critério distância de rodovias.

Tabela 5 - Reclassificação de distanciamento de rodovias

Distância (m)	Novos Valores	Custos
0-30	1	1
30-60	2	4
60-90	3	7
>90	4	10

Fonte: Amaral (2017)

O caminhamento do sistema adutor paralelo a um sistema rodoviário contribui como um facilitador para a implementação de um sistema adutor, pois propicia uma facilidade logística de acesso ao sistema proposto. Conforme o distanciamento entre o eixo da rodovia aumenta, surge a necessidade de abertura de acessos aos pontos de assentamento das tubulações, logo o gasto com maquinário e insumos aumentam. Os valores dividiram-se em quatro fatores sendo eles em ordem crescente conforme distância, uma vez que o custo de implementação de infraestrutura para a tubulação e principalmente acesso é aumentado devido ao distanciamento das vias que propiciam a chegada de materiais, pessoas, maquinário. A Tabela 6 mostra os pesos utilizados para o critério hipsometria.

Tabela 6 - Reclassificação de altitudes

Hipsometria (m)	Novos Valores	Custos
0-252	1	1
252-378	2	3
378-504	3	5
504-630	4	6
630-756	5	8
>756	6	10

Fonte: Adaptado de Amaral (2017)

A altitude está diretamente ligada a implantação do sistema adutor, uma vez que influencia no tipo de tubulação a ser utilizada, quantidade de válvulas de retenção e sistema de apoio, custo energético e mecânico para a elevação da água, já que quanto maior a altitude a ser transposta maior a perda de carga e altura manométrica, e, portanto maiores os custos com energia de bombeamento. Tais critérios foram atribuídos de forma linear conforme o intervalo de hipsometria da região. A Tabela 7 mostra os pesos utilizados para o critério distância de rios.

Tabela 7 - Reclassificação de distância de rios

Distância (m)	Novos Valores	Custos
0-100	1	10
100-200	2	7
200-300	3	4
>300	4	1

Fonte: Amaral (2017)

A distância de rios influencia diretamente a implantação de um sistema adutor e manutenção conforme o decorrer da sua vida útil. Fator importante avaliado fora a distância entre seu eixo, uma vez que o mesmo não se mantém constante com o tempo. Quanto maior a distância paralela do caminamento do sistema melhor será uma possível intervenção do sistema. Pode se levar como exemplo o período de cheia de um leito fluvial, o qual influenciará com o risco do leito atingir a tubulação adutora erodindo a base, dificultando ou em alguns casos impossibilitando uma possível manutenção ou correção. A Tabela 8 mostra os pesos utilizados para o critério uso e ocupação do solo.

Tabela 8 - Reclassificação do mapa de uso do solo

Tipo	Novos Valores	Custo
Floresta	1	5
Agricultura	2	3
Solo exposto	3	3
Urbanização	4	1
Água	5	10

Fonte: O autor (2021)

A utilização dos diferentes pesos atrelados ao quesito uso e ocupação do solo levou em consideração quesitos de implantação, correção e manutenção dos sistemas. Os valores categorizados de 1 a 3 consistidos dos itens urbanização, agricultura e solo exposto tiveram atribuição de pesos com grau 3 devido a maior facilidade de implantação do sistema adutor. No caso em questão regiões urbanizadas possuem tendência de uma maior facilidade de acesso bem como infraestrutura territorial e energética para a implementação do sistema, possuindo um fator de intervenção maior e mais rápido quando solicitado. Os mesmos quesitos foram considerados para os itens de agricultura e solo exposto, porém com grau maior devido a distância que estes têm do centro urbano e menor capacidade de implementação, possuindo a possibilidade de abertura de acessos até o empreendimento.

Quanto ao critério de florestas, fora avaliado a necessidade de um valor mais elevado devido à dificuldade de implementação do sistema adutor, buscando a diminuição da possibilidade de supressão de vegetação buscando não modificar o cenário ambiental consolidado. Com implementações em zonas florestais se faz

necessário a constante manutenção dos acessos criados para a possibilidade de intervenções nos sistemas adutores. Outro ponto avaliado fora a dificuldade de monitoramento do sistema para eventuais falhas ou vazamentos uma vez que a vegetação dificulta o diagnóstico rápido e intervenções. O critério “água” recebeu a atribuição máxima de custo devido à dificuldade de implantação e manutenção das tubulações nesses meios, atravessando leitos fluviais pela superfície (pontes) ou pelas proximidades (tempos de cheia dos leitos fluviais).

A criação de imagens matriciais atreladas a cada um dos critérios gerou um conjunto de mapas com seus parâmetros de pesos inseridos. Após a obtenção dos mesmos, unificou-se todas as imagens matriciais de modo a integrar os diferentes quesitos de projeto (hipsometria, declividade, distância de ruas, distância de rios e uso do solo). Com a reclassificação dos modelos, foi realizada a análise multicriterial dos cinco mapas obtidos, normalizados e já reclassificados, atribuídos os diferentes graus de influência para os mapas conforme tratamento feito a partir de análise par a par de importância entre os modelos.

5.5. INSERÇÃO DE PESOS NAS IMAGENS MATRICIAS E CRIAÇÃO DE MAPA DE MÍNIMO CUSTO

Para a verificação dos traçados de menor caminho foi necessário a utilização de dados matriciais e análise de custo do sistema proposto. Para a verificação dos pesos propostos, utilizou-se de uma comparação por matriz par a par comparando-se os valores abordados. A avaliação consistiu na avaliação entre dois parâmetros separadamente de modo a criar uma relação entre eles, após repetiu-se o procedimento, porém modificando os parâmetros. Após obteve-se o autovetor delimitando os pesos a serem utilizados nas próximas etapas. A tabela 9 demonstra os valores obtidos oriundos da comparação par a par entre os critérios de análise.

Tabela 9 – Tabela de análise de importância par a par

Critérios	Estradas	Rios	Uso do Solo	Declividade	Hipsometria	Pesos
Estradas	1	2	5	7	9	0,48671
Rios	1/2	1	2	5	7	0,27205
Uso do Solo	1/5	1/2	1	2	5	0,13696
Declividade	1/7	1/5	1/2	1	2	0,06610
Hipsometria	1/9	1/7	1/5	1/2	1	0,03819

Fonte: O Autor (2021)

Com a criação da matriz par a par, fez-se o cálculo de consistência dos dados, no qual obteve-se valor de consistência 0,021 evidenciando consistência nos dados lançados. Logo, foi aplicado uma análise de sobreposição de múltiplos critérios, aos diferentes shapefiles criados para a verificação ponderando-se diferentes pesos onde fora obtido um mapa de custo de implantação para cada pixel processado.

5.6.INTERLIGAÇÃO DE MANANCIAIS

De posse das bases de dados definidas e as posições dos poços de captação subterrâneo foi realizada a verificação de interligação dos mananciais subterrâneos utilizados, uma vez que o processo de tratamento desse montante retirado pode ser mais simplificado. Em um segundo momento, analisou-se a condição de sistemas de captação superficial e subterrâneo independentes com direcionamento à ETA. Em uma terceira etapa foi verificada a possibilidade de interligação de mananciais superficiais e subterrâneos.

Para a criação dos traçados de mínimo custo, fora utilizado o mapa de custos por pixel obtido através da análise multicriterial dos mapas reclassificados em conjunto com os plugins “*Cost grow*” e “*Path way*” do software Idrisi. A estação de tratamento de água fora inserida como ponto final do trajeto e os pontos de captação superficial e subterrânea foram inseridos conforme as necessidades de cada teste proposto. Por fim utilizou-se dos plugins para a delimitação dos traçados utilizando os pontos propostos. Uma vez definidos os traçados de mínimo custo para cada situação, retirou-se os dados de comprimento de tubulação para as verificações e criação de levantamento de custos preliminar conforme demonstrado no capítulo a seguir.

5.7.VERIFICAÇÃO DE CUSTO PARA CADA SITUAÇÃO

Uma vez finalizado o processo de determinação dos traçados de mínimo custo através da ponderação dos pesos das diferentes imagens matriciais, se utilizou de composições para a criação de pré-orçamentos de cada situação (sistemas interligados, sistemas separados, e sistema proveniente apenas de captação subterrânea) para a verificação do impacto de cada proposta levantada. Através de composições dos bancos de dados SINAPI e SICRO criou-se uma base de dados para a realização dos levantamentos de custos do presente. Foram consideradas as aberturas de valas, inserção de tubulações, aterro de vala para a criação do

orçamento macro proposto para diferentes situações oriundas das variações de trajetos através dos traçados com interligação de mananciais ou não.

Abordou-se separadamente os trajetos das tubulações oriundas diretamente dos pontos de captação podendo ser inseridos como “peças chaves” para elaboração de um levantamento para cada situação.

6. RESULTADOS

A partir da execução das etapas propostas na metodologia, foram obtidos os resultados que serão detalhados a seguir.

6.1.PROJEÇÃO POPULACIONAL

A Tabela 10 apresenta os dados obtidos oriundos da projeção populacional proposta.

Tabela 10 - Projeção populacional

Nomenclatura	Ano (t)	População medida / estimada (censo)	Geométrica (habitantes)	Volume projetado (m³/dia)
P0	2017	22066	-	4413,2
P1	2018	22400	-	4480
P2	2019	22735	-	4547
P3	2020	-	23077	4615,4
P4	2021	-	23424	4684,8
P5	2022	-	23777	4755,4
P6	2023	-	24134	4826,8
P7	2024	-	24498	4899,6
P8	2025	-	24866	4973,2
P9	2026	-	25240	5048
P10	2027	-	25620	5124
P11	2028	-	26006	5201,2
P12	2029	-	26397	5279,4
P13	2030	-	26794	5358,8
P14	2031	-	27197	5439,4
P15	2032	-	27606	5521,2
P16	2033	-	28022	5604,4
P17	2034	-	28443	5688,6
P18	2035	-	28871	5774,2
P19	2036	-	29306	5861,2
P20	2037	-	29747	5949,4
P21	2038	-	30194	6038,8
P22	2039	-	30648	6129,6
P23	2040	-	31110	6222
P24	2041	-	31578	6315,6

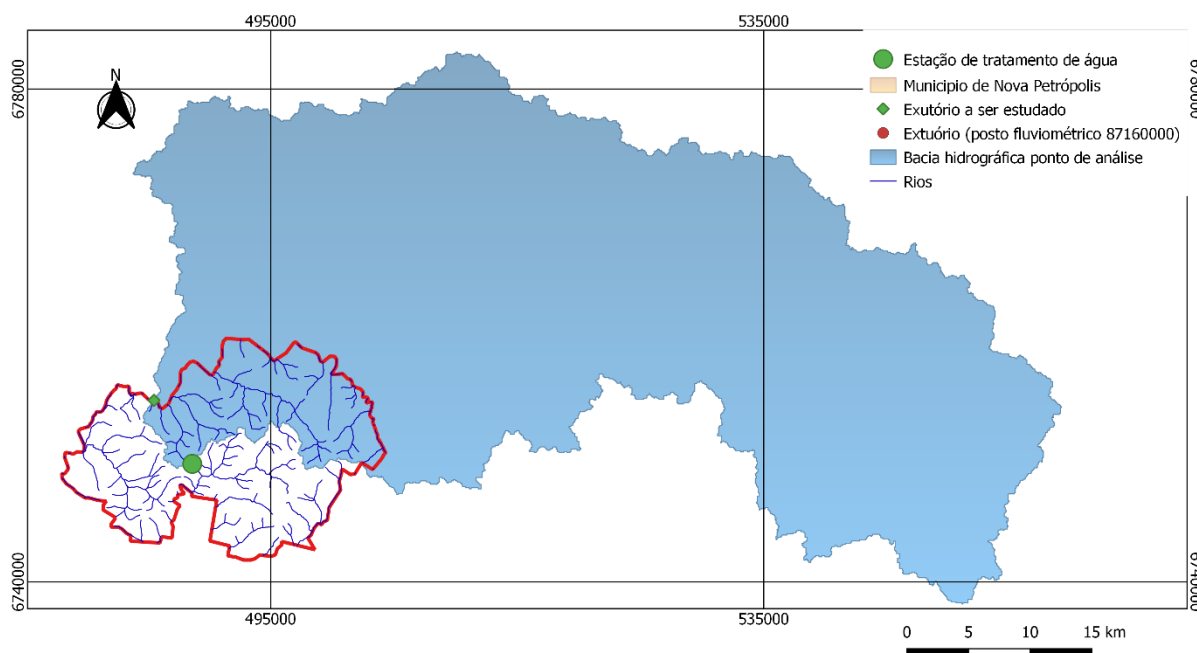
Fonte: O Autor (2021)

Pode se verificar a expectativa populacional através dos índices projetados na tabela acima de forma a identificar a população prospectada de 31.578 habitantes relativa ao ano de 2041. Para caráter de análise, os dados acima mostrados visam ajudar na tomada de decisões para os diferentes projetos de abastecimento pertinentes ao município de modo a atender a população acima estimada. Os dados de vazão demonstrados denotam o volume de água tratada tendo como base o consumo médio de 200l/hab.dia de modo a possibilitar estudos de estimativa de vazão a ser captada nos mananciais inseridos nos limites municipais. Para análises de planos de saneamento (a cada quatro anos) os dados visam na ajuda para mensurar as situações que o município se encontra quanto abastecimento e quanto deverá estar no decorrer dos anos de modo a não sobrecarregar os sistemas já consolidados.

6.2.DELIMITAÇÃO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

A Figura 20 apresenta o mapa identificando a sobreposição das duas bacias hidrográficas utilizadas para o determinado estudo. Referente a bacia com ponto exutório denominado 87160000 pode-se verificar a influência desta bacia hidrográfica compreendendo cerca de 50% da área municipal. O ponto para captação e estudo posterior fora escolhido devido a facilidade de acesso para o ponto, bem como a facilidade de implantação de um sistema de elevação de água bruta. A bacia delimitada com posto fluviométrico 87160000 resultou em uma área de 2.035,06 km² e a bacia hidrográfica com ponto exutório estudado resultou em uma área de 1.858,28 km².

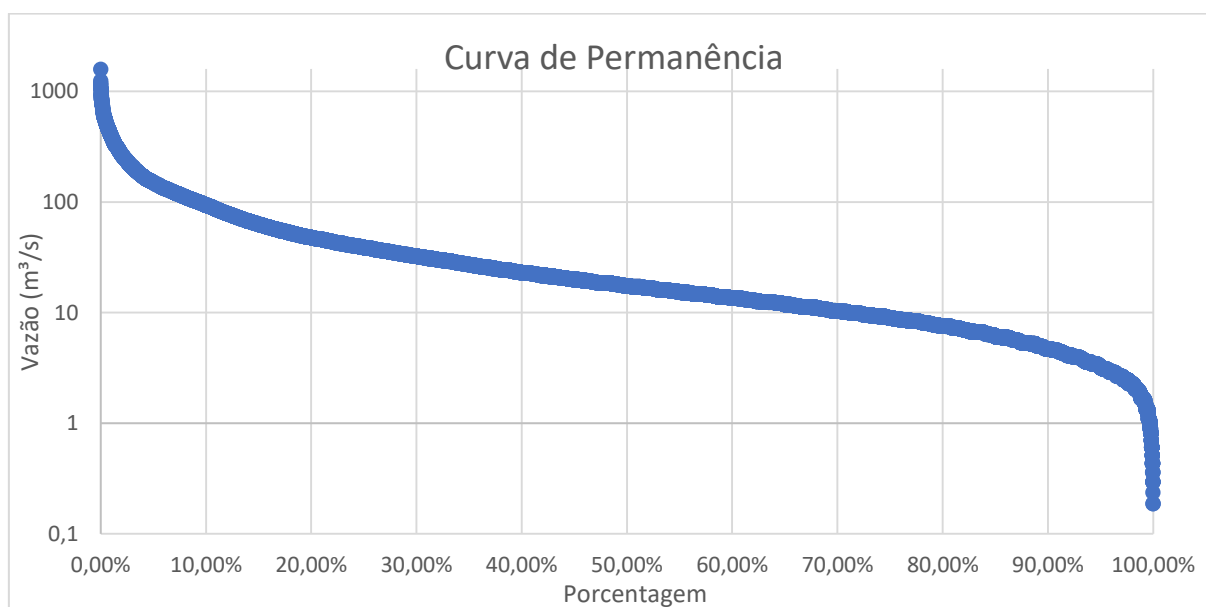
Figura 20 – Mapa das bacias hidrográficas em estudo



Fonte: O Autor (2021)

A curva de permanência gerada para o ponto de interesse é apresentada na Figura 21.

Figura 21 – Curva de permanência



Fonte: O Autor (2021)

A vazão outorgável máxima é compreendida como 50% da Q95 sendo ela através dos cálculos o valor de 2,13 m³/s. Pode-se verificar o volume proposto para captação, se comparado com o volume de tratamento atual de 55 litros por segundo,

a capacidade bruta máxima é 43 (quarenta e três vezes) maior se comparada com a atual. O valor favorece a captação uma vez que se for avaliada a vazão de outorga e utilizada apenas deste ponto para abastecimento da população há uma disponibilidade 29 vezes maior que a necessidade da população projetada se desconsiderada as perdas durante o percurso.

Conforme previsto pelas normativas de projetos de abastecimento de água, o consumo médio de projeto é 200l/hab/dia, sendo os valores projetados para uma demanda futura apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Tabela de vazões e abastecimento do novo ponto

Dados de entrada	Unidade			
População estimada	31578	peçoas		
Volume de projeto hab/dia	200	l/hab/dia		
Capacidade produzida atualmente	4320	m³/dia	50,00	L/s
Volume a ser tratado captado do novo ponto	1995,6	m³/dia	23,10	L/s

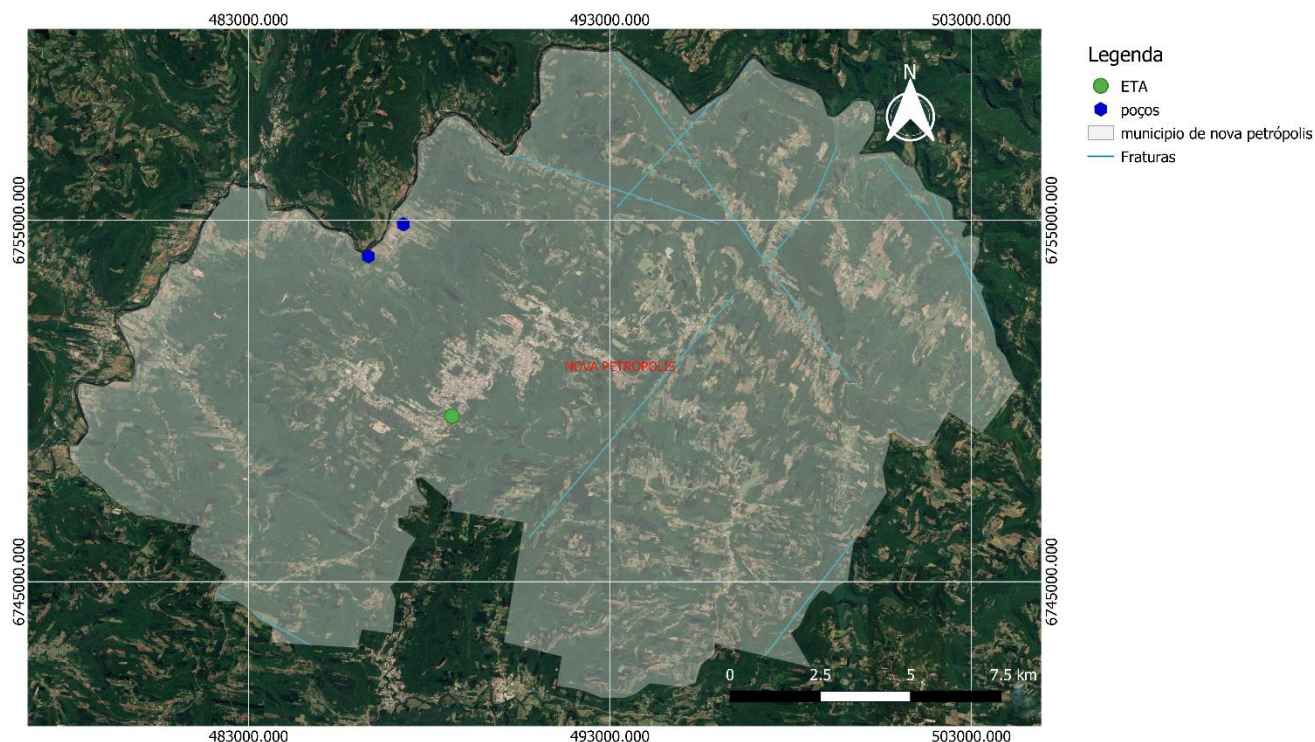
Fonte: O Autor (2021)

Conforme demonstrado na tabela 11, obteve-se uma vazão adicional de 23,10 l/s de água tratada para atendimento às estimativas de crescimento da população. Os valores encontrados são para funcionamento contínuo do sistema de abastecimento. Para a diminuição do tempo do sistema de tratamento e melhora do sistema de armazenamento de água no município sugere-se a utilização de um período de trabalho de oito horas diárias, uma vez que triplicará a vazão de tratamento da ETA. Logo o valor total de 69,30 L/s propostos para o abastecimento da população em vinte anos, deverá atingir o valor de 119,30 L/s de tratamento. Para a diminuição do tempo do sistema de tratamento e melhora do sistema de armazenamento de água no município utilizou-se um período de trabalho de oito horas diárias, uma vez que triplicará a vazão de tratamento da ETA. Logo o valor total de 69,30 L/s propostos para o abastecimento da população em vinte anos, atingirá o valor de 119,30 L/s de tratamento.

6.3.ESCOAMENTO SUBTERRÂNEO

A Figura 22 apresenta o mapa de localização dos dois pontos de captação subterrânea da CORSAN. Na tabela 12 são apresentadas as vazões oriundas dos dois poços em questão.

Figura 22 – Localização dos poços em estudo



Fonte: O Autor (2021)

A escolha dos poços para captação superficial se deu por proximidade com o ponto de estudo de captação superficial. Os mesmos poços possuem interligação através da estrada São José do Caí. Para fins de modelagem utilizou-se os dois poços para verificação de todos os mananciais e para a avaliação de captação subterrânea utilizou-se o ponto mais próximo ao ponto de captação do leito fluvial.

Tabela 12 - Vazões dos poços em análise

Nome do usuário de água	Vazão média	Unidade de medida da vazão	Tempo de funcionamento Horas	Vazão captada m³/dia	Latitude	Longitude
Companhia Riograndense de Saneamento	540	m³/dia	Contínuo	44,49	-29,343	-51,141
Companhia Riograndense de Saneamento	1260	m³/dia	10,49	144,54	-29,335	-51,131

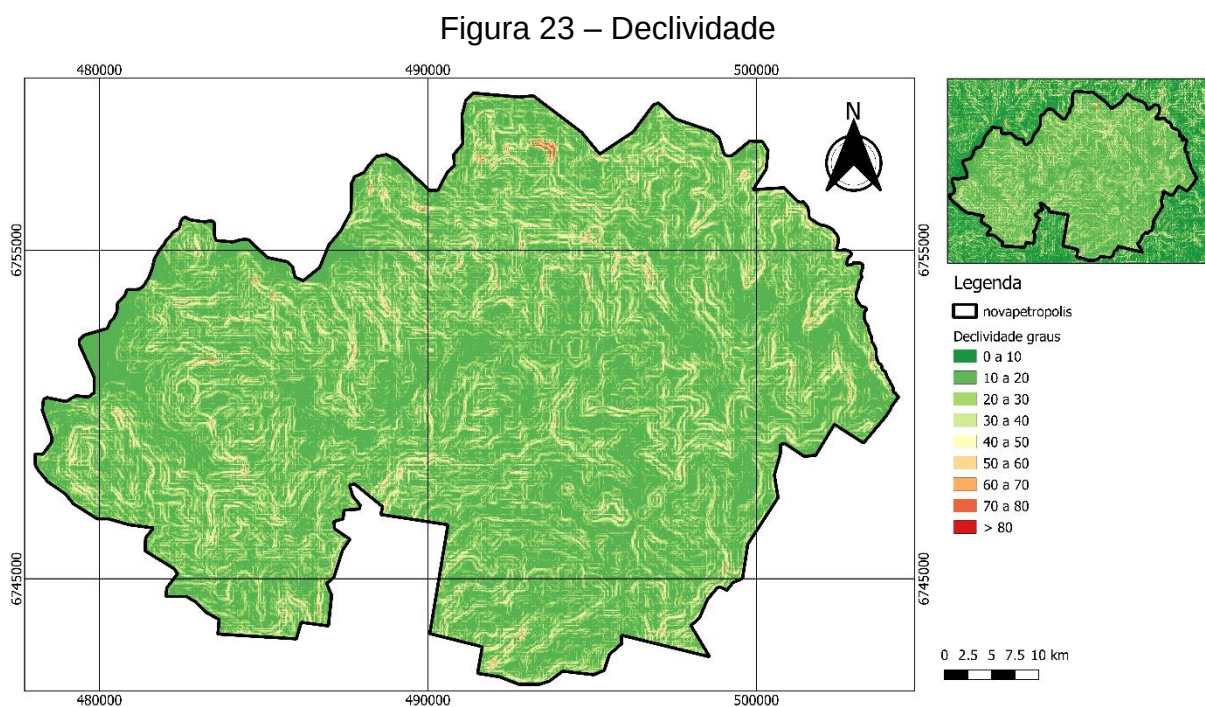
Fonte: O Autor (2021)

6.4.RECLASSIFICAÇÃO E TRATAMENTO DE DADOS DIGITAIS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos da reclassificação dos dados digitais utilizados

6.4.1.Declividade

A Figura 23 apresenta o mapa de declividades para a área de estudo.



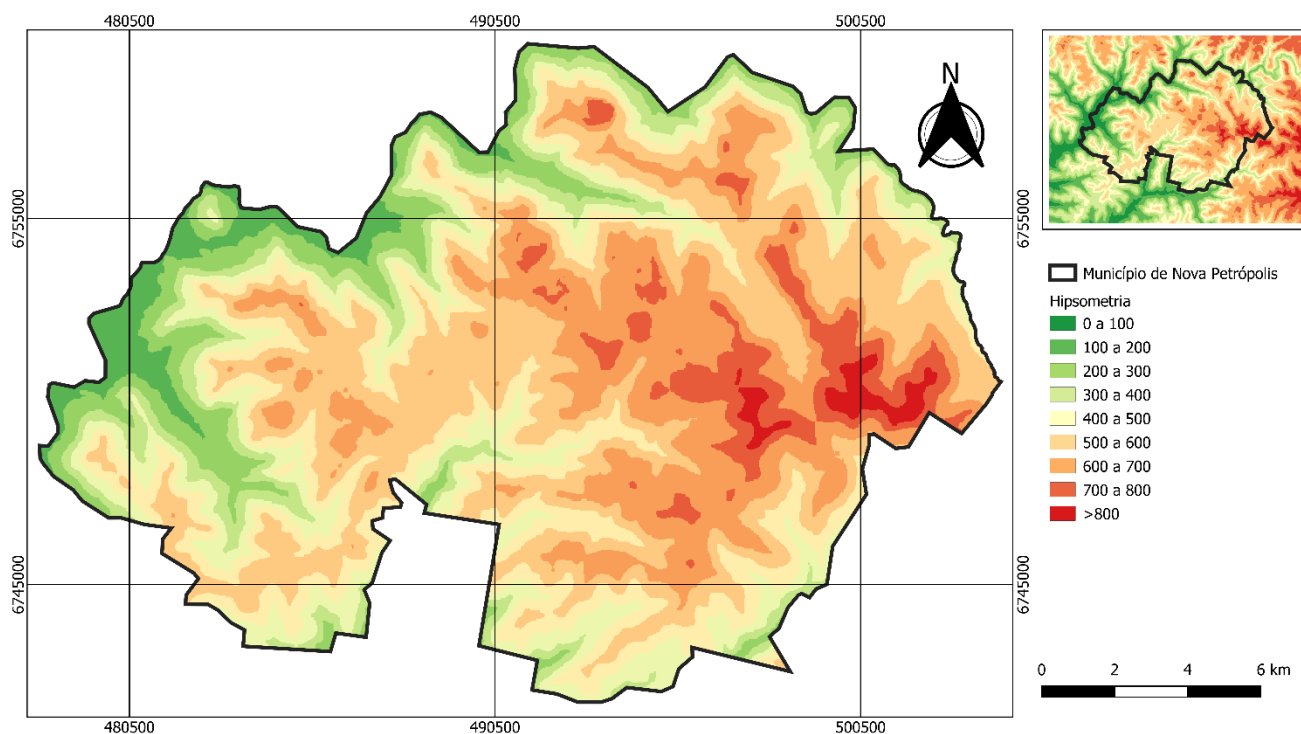
Fonte: O Autor (2021)

O mapa apresentado demonstra uma faixa de declividades acentuadas nas periferias dos limites municipais possuindo pontos com maiores declividades localizadas na parte norte do município sendo as faixa principais entre 10 a 20°, porém com estabilização na parte central, tal característica influencia uma barreira para instalações de projetos adutores, pois diminui-se a quantidade de caminhos possíveis para sistemas de abastecimento visando a minimização de custos.

6.4.2.Hipsometria

A Figura 24 apresenta o mapa de hipsometria com as informações de altitude da área de estudo.

Figura 24 – Hipsometria



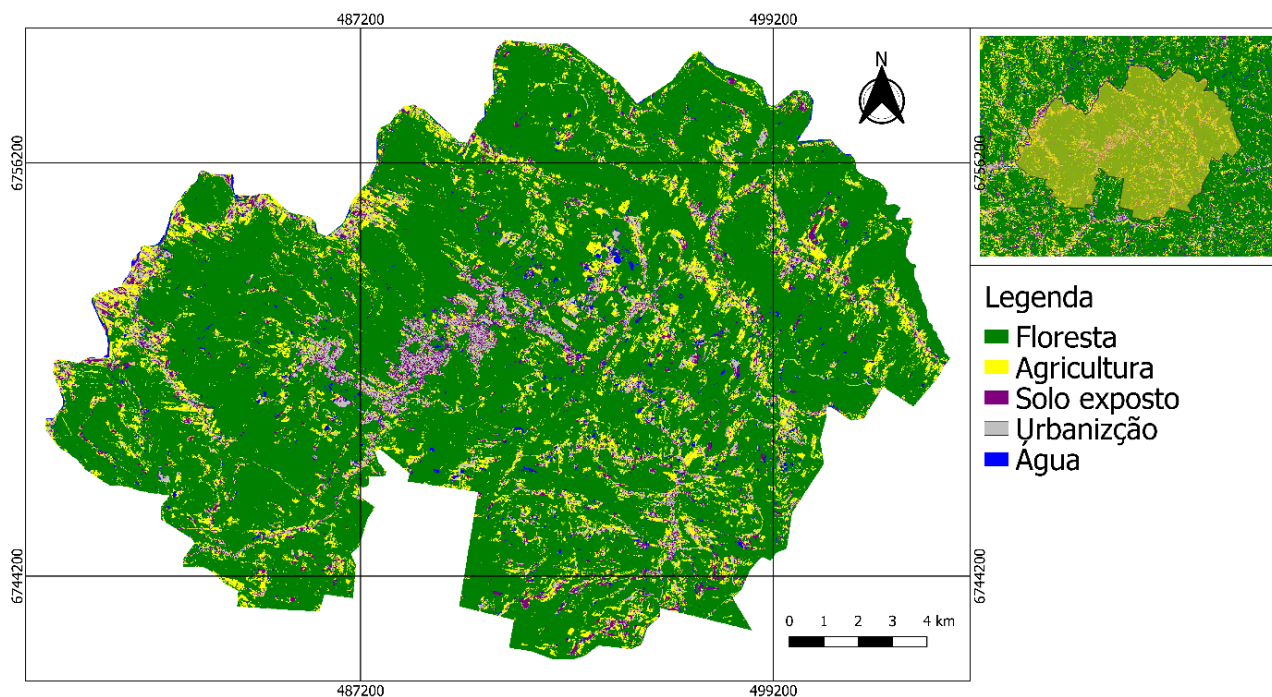
Fonte: O Autor (2021)

Pode-se verificar a elevada diferença de altitude no município de Nova Petrópolis, o que dificulta a implantação de um sistema adutor, entregando desafios a serem vencidos para o encaminhamento da água até à estação de tratamento. Pode-se perceber que os pontos com menor altitude estão localizados na parte oeste do município estando entre 0 a 200 metros e os maiores valores localizam-se na parte leste do Município com altitudes superiores a 700 metros de altitude. Desafios para tais situações resultarão em prováveis instalações de sistemas de apoio de bombeamento (boost), acarretando diferentes avaliações para o projeto. Caso sejam necessários sistemas auxiliares de apoio ao bombeamento, deverá ser avaliado o sistema de abastecimento elétrico da região, aumentando o número de transformadores ou possíveis expansões de sistemas elétricos (monofásico para sistema trifásico se constatado monofásico). Outro dado a se considerar serão os tipos de tubulações utilizadas e singularidades durante o trajeto, as quais pela elevada altitude podem se configurar em tubulações de ferro fundido e maior número de válvulas de retenção, ventosas, válvulas de limpeza e blocos de ancoragem.

6.4.3. Uso e ocupação do solo

A Figura 25 apresenta o mapa de uso e ocupação do solo.

Figura 25 – Mapa de uso e ocupação do solo



Fonte: O Autor (2021)

Pode se verificar a grande abrangência de mata pelo território municipal, o que certamente influenciará para a realização do traçado visando o menor custo de implementação, uma vez que todo o processo de licenciamento exige um custo para a implantação, podendo ser necessárias supressões de parte da vegetação abrangida. Pode se verificar na tabela 13 a porcentagem de cada uso e ocupação do solo presente no município.

Tabela 13- Tabela de porcentagem do uso e ocupação do solo

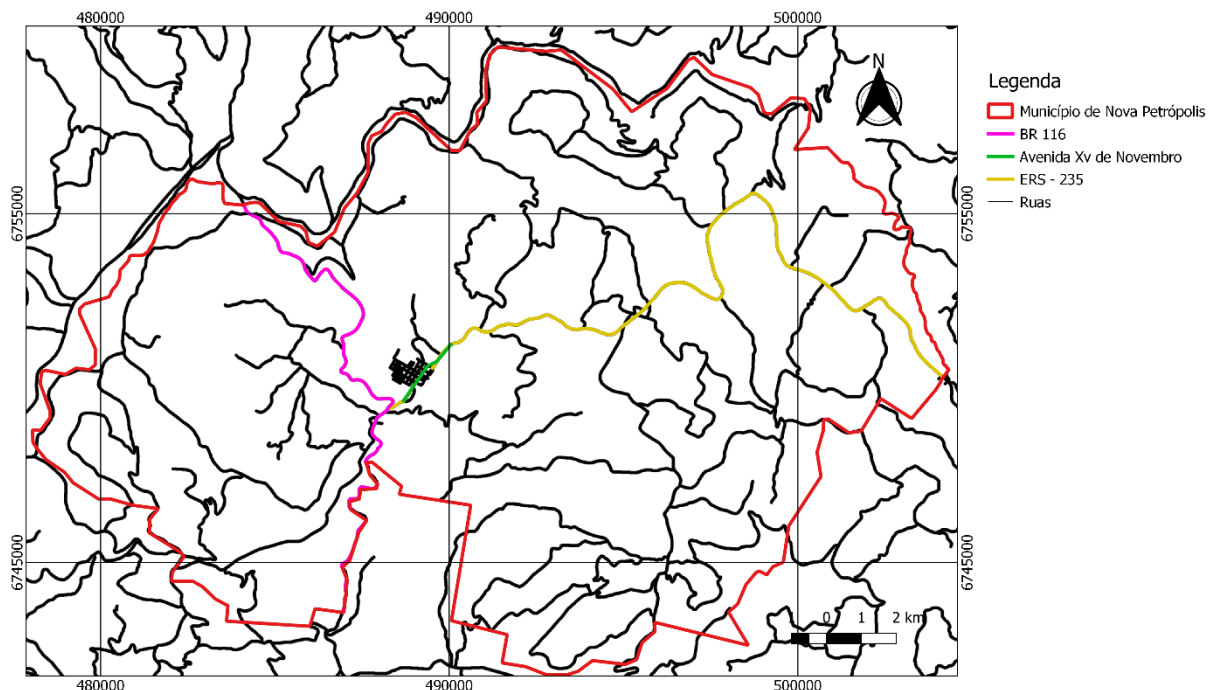
ITEM	PORCENTAGEM NO MUNÍCIOPIO
Floresta	83,15%
Agrcultura	11,42%
Solo exposto	4,09%
Água	1,34%

Fonte: O Autor (2021)

6.4.4. Distância do sistema viário

A Figura 26 apresenta o mapa do sistema viário de Nova Petrópolis.

Figura 26 – Mapeamentos de rodovias



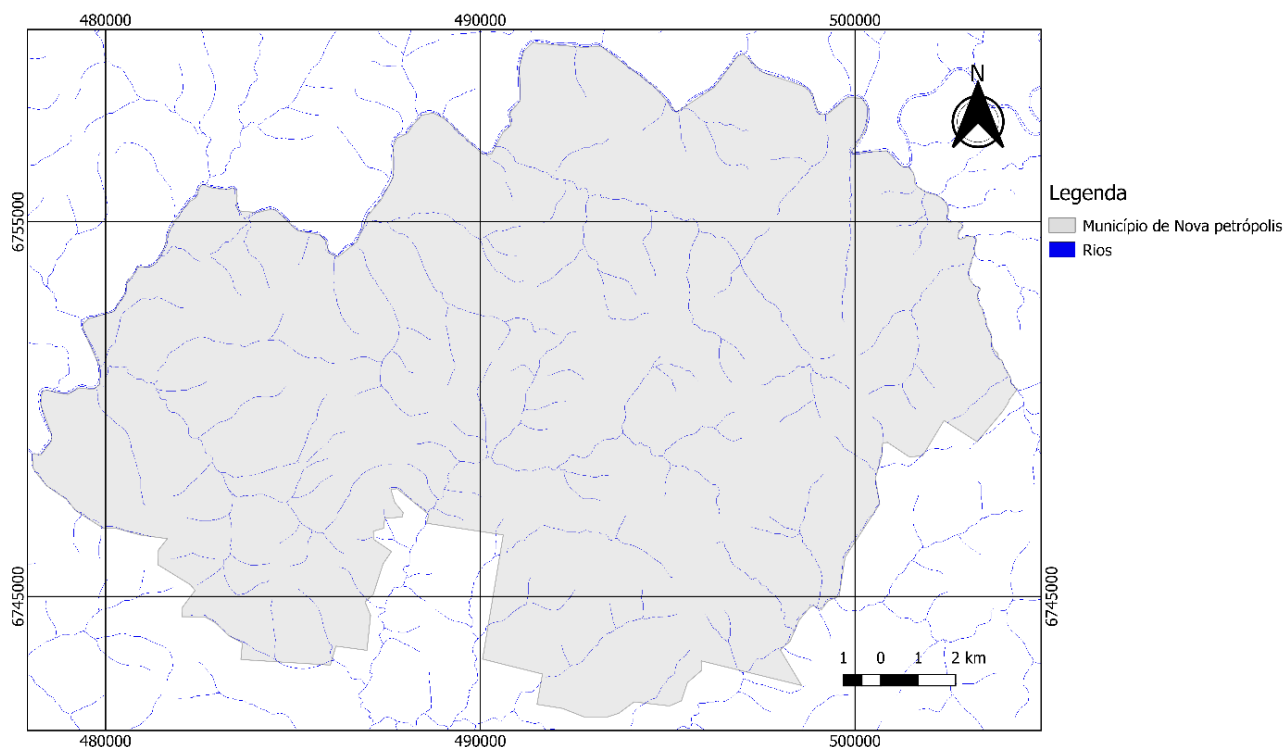
Fonte: O Autor (2021)

A principal rodovia para o escoamento do fluxo viário é a Avenida XV de Novembro a qual atravessa o centro do município interligando os demais bairros do município. Para a ligação dos pontos estudados e a ETA pode-se considerar a rodovia BR-116 como parâmetro para caminhamento do sistema adutor. Pode se perceber uma aglomeração de estradas vicinais.

6.4.5. Distância de rios

A Figura 27 apresenta o posicionamento dos leitos de água superficial no Município de Nova Petrópolis.

Figura 27 – Mapeamento de rios



Fonte: O Autor (2021)

A grande quantidade de rios apresentados pela Figura 27 demonstra um aumento do custo de implantação do sistema adutor para o ponto proposto, devido a densidade de leitos fluviais quando considerado que quanto maior a proximidade de um leito fluvial, maior será seu custo de implementação. Outro ponto a se ressaltar deve-se que a maioria dos rios demonstrados são de cabeceira, impossibilitando a captação sem a necessidade da execução de barramentos.

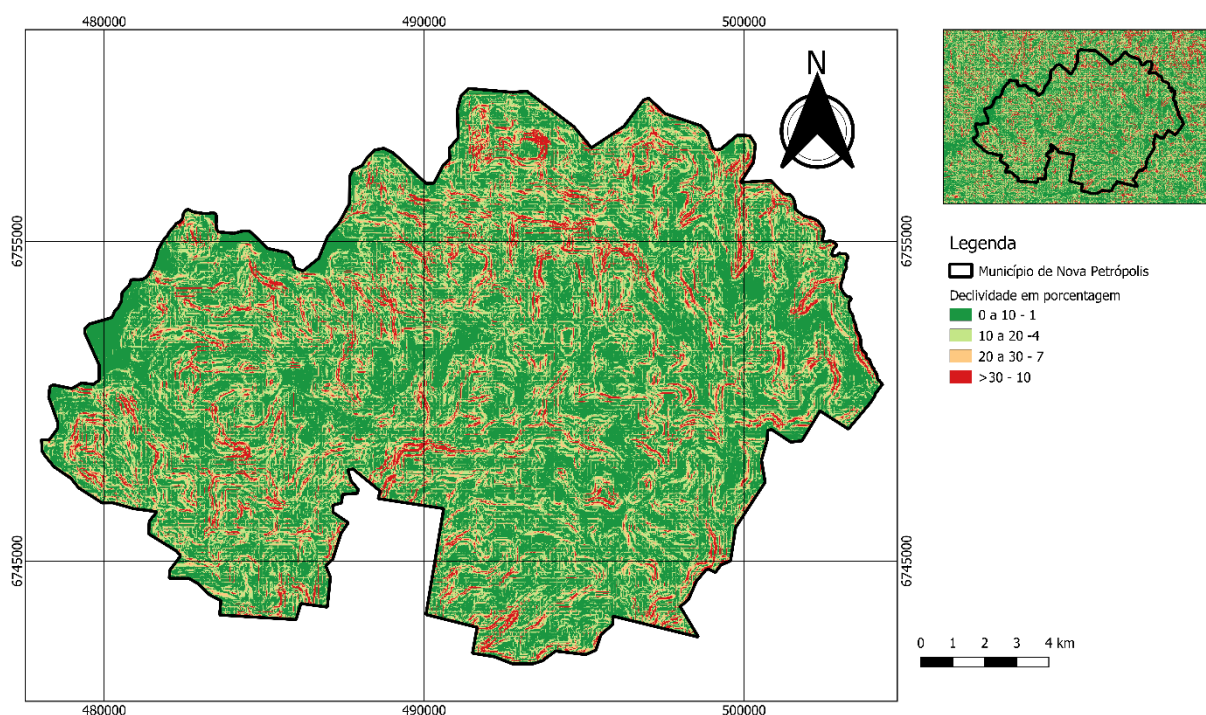
6.5.CLASSIFICAÇÃO E PONDERAÇÃO DOS PESOS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos através da classificação dos mapas e ponderação de seus pesos.

6.5.1.Declividade

A Figura 28 apresenta o mapa de declividades do município com tratamento em 10 pesos de impacto financeiro de implantação.

Figura 28 – Mapa de declividade com pesos inseridos



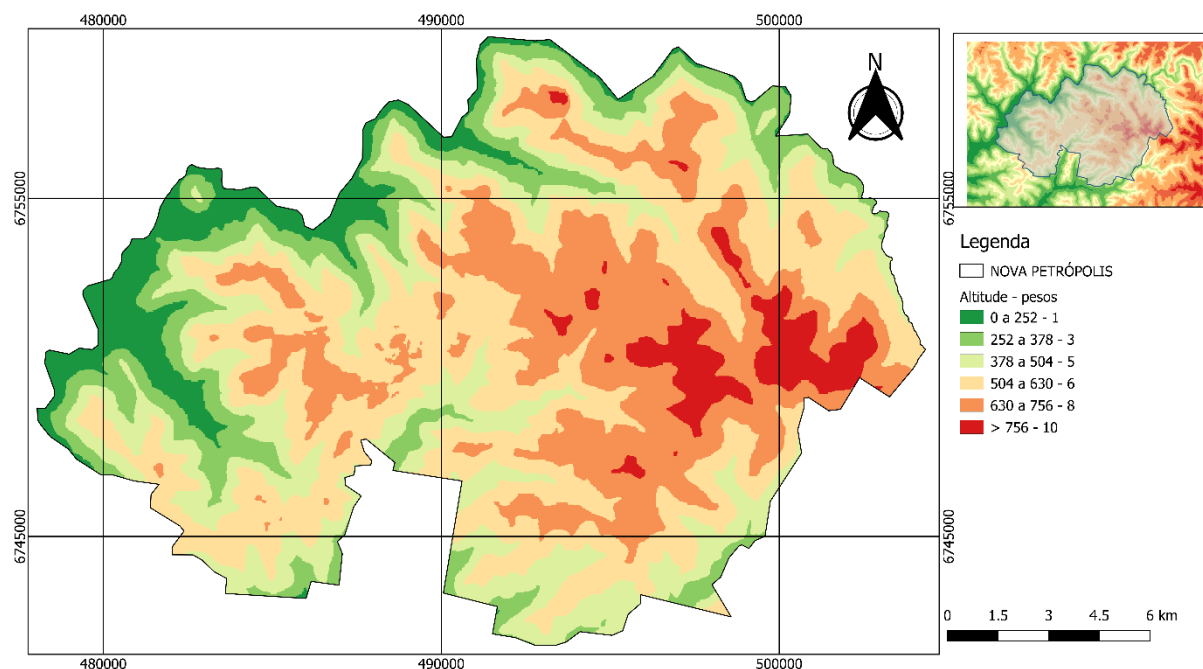
Fonte: O Autor (2021)

Para o estudo proposto, percebe-se que a maior porcentagem de declividade de relevo do município encontra-se entre 0° a 20°, compreendendo uma situação entre as duas classes de pesos com menor impacto. Os pesos mencionados giram de 0 a 10 graus com peso de custo 1 e o segundo possui intervalo de 10 a 20 graus com peso de custo 4.

6.5.2.Hipsometria

A Figura 29 apresenta o mapa de pesos de custo de implantação para a hipsometria.

Figura 29 - Mapa de hipsometria com pesos inseridos

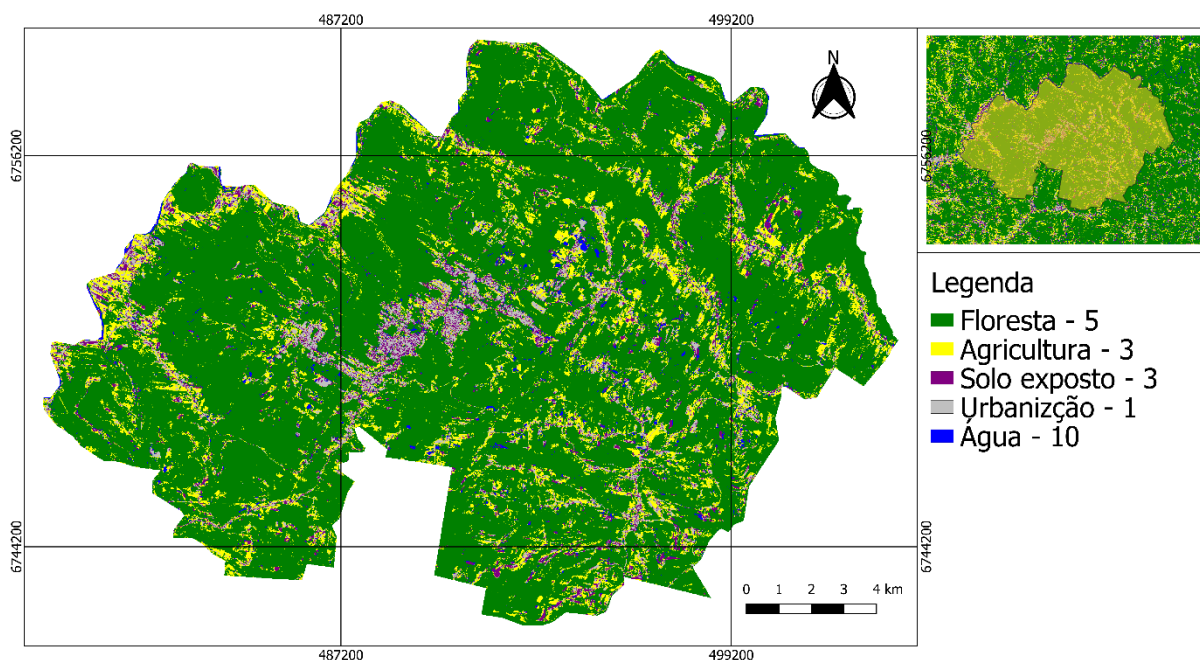


A Figura 29 apresenta o mapa de hipsometria atrelado aos pesos de custo de implantação, os quais foram distribuídos de forma linear no intervalo de altitude obtido. O mapa está normalizado com os demais mapas os quais foram tratados para a inserção dos pesos de custo. Os pesos assinalados na figura acima demonstram zonas de maior altitude no custo, os quais estão atrelados os custos de implantação de um sistema visando captação nos pontos mais baixos do município. Pode-se perceber que a região leste do município constitui-se na zona com maior impacto de implantação de um sistema de captação tendo como base os postos de captação propostos no presente trabalho. Tal característica é influenciada pela perda de carga inserida diretamente no custo, uma vez que a diferença de altitude a ser vencida é elevada, influenciando em traçados, tipos de tubulação, bombas e contenções.

6.5.3. Uso e ocupação do solo

A Figura 30 apresenta o mapa de uso e ocupação do solo com a ponderação de pesos inseridos.

Figura 30 – Mapa de uso e ocupação do solo com pesos inseridos



Fonte: O Autor (2021)

Para o critério de uso e ocupação do solo, percebe-se a predominância de área de vegetação categorizadas como “floresta” no mapa acima citado. Tais características remetem para uma majoração no quesito custos para traçados de adutoras, se comparado com áreas mais urbanizadas, com solo exposto ou oriundo de agricultura. Logo, pode-se perceber que as características acima demonstradas evidenciam uma pré-disposição a projetos com maiores custos de implantação.

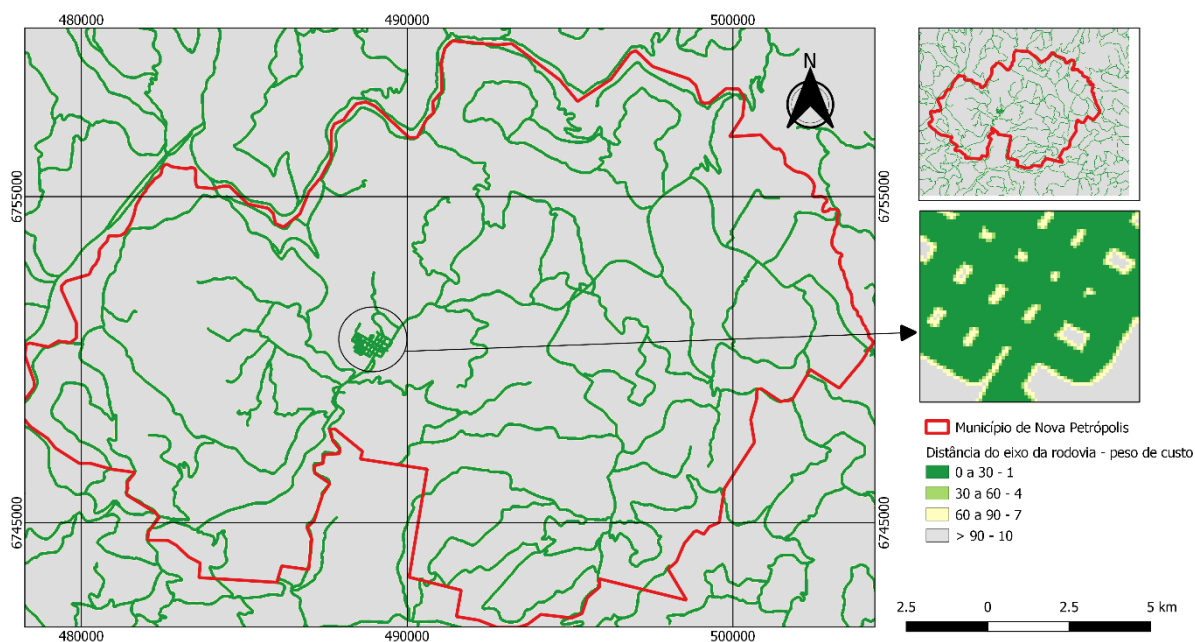
Para o âmbito floresta delimitou-se peso 5 devido às questões de implantação, logística, gastos econômicos devido a supressões e impactos ambientais quanto a implantação em pontos com estas características. Para o item água delimitou-se custo máximo de implantação atrelado aos fatores de execução e implantação do traçado passando por pontes e próximos aos corpos d’água. Solo exposto e agricultura possuem graus de implementação com peso 3 atrelados a maior facilidade de implantação e manutenção uma vez que o acesso é facilitado, para áreas de agricultura pode-se utilizar de permissão de passagem das tubulações ou em outros casos desapropriações, porém sem grandes impactos ambientais. Para áreas urbanizadas optou-se por delimitar com peso 1 devido a maior infraestrutura de implantação e maior facilidade de monitoramento se comparado com os demais. Dentro do quesito abordado pode-se constatar maiores opções de traçados devido a proximidade do sistema viário pela região a qual contribui para a implementação uma

vez que facilita a execução diminuindo custos e evitando maiores impactos ambientais, uma vez que se utiliza de áreas já modificadas.

6.5.4. Distância do sistema viário

A Figura 31 apresenta o mapa de distanciamento do sistema viário atrelado aos pesos de custo de implantação, os quais foram distribuídos através da distância de eixo.

Figura 31 – Mapa de distanciamento de rodovias com inserção de pesos



Fonte: O Autor (2021)

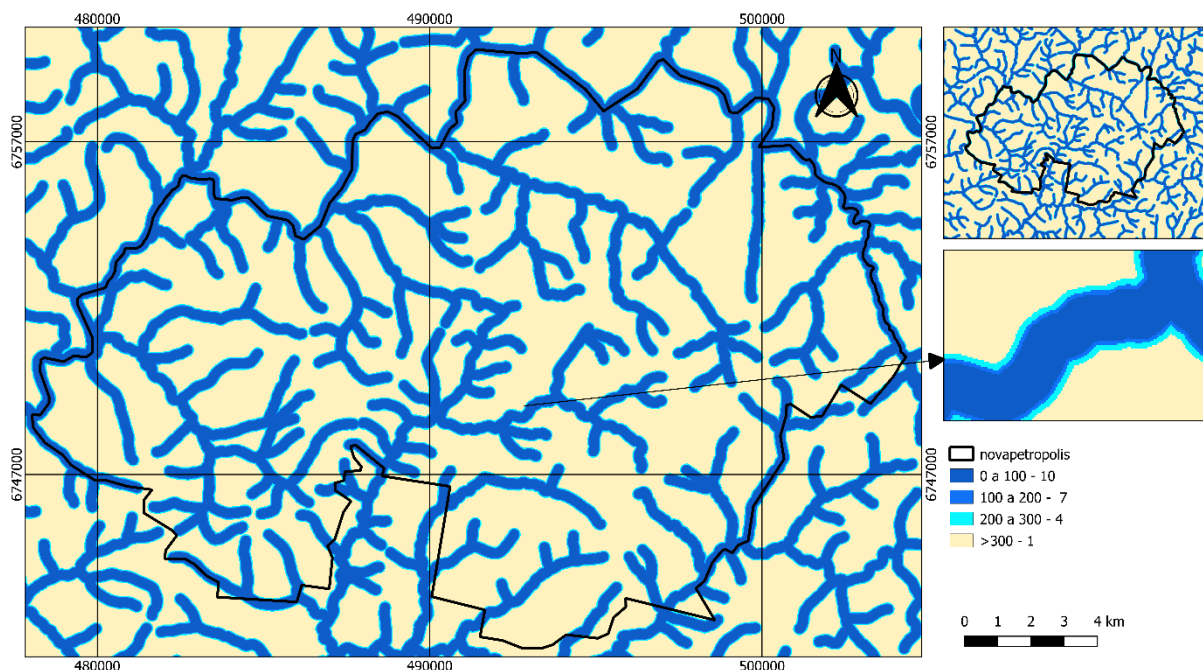
Os projetos de sistemas adutores, em sua maioria, visam a utilização de rodovias para o caminhamento das tubulações percorrendo trechos próximos e paralelos aos eixos de rodovias, uma que vez custos de implantação e manutenção são reduzidos, já que não se faz necessária instalação de acessos para manutenções e expansões. Logo o mapa apresentado a graduação de pesos de 1 a 10, sendo eles atrelados à distância do eixo da rodovia em questão, sendo o peso categorizado com 1 o menor custo, por se tratar de um ponto mais próximo ou até mesmo o eixo da rodovia.

6.5.5. Distância de rios

A Figura 32 apresenta o mapa de distanciamento dos rios atrelados aos pesos de custo de implantação, os quais foram distribuídos através da distância de eixo. O

mapa está normalizado com os demais mapas os quais foram tratados para a inserção dos pesos de custo.

Figura 32 – Mapa de distanciamento de rios com inserção de pesos



Fonte: O Autor (2021)

Pode-se verificar a atribuição de pesos oriundos dos distanciamentos do eixo dos leitos fluviais, porém de forma contrária ao comportamento do quesito rodovias. Quanto mais distante o caminhamento estiver de um leito fluvial, menor o impacto econômico e ambiental. Tais quesitos são atrelados aos custos de cruzamento de tubulações por pontes, leitos fluviais, uma vez que a implantação e manutenção é dificultada o que acarreta um elevado custo. Neste, a graduação do critério de se dá em quatro intervalos, os quais possuem seus pesos elencados de 1 a 10, sendo 1 o menor custo e 10 o maior custo de implantação.

6.6.APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP

O método AHP consistiu na implantação de fatores de pesos para cada mapa já normalizado com relação aos custos de implantação. A obtenção dos pesos para inserção da metodologia de Análise multicriterial consistiu na elaboração de uma matriz par a par entre os diferentes aspectos abordados no presente. O resultado obtido foi um autovetor o qual está discriminado na tabela 14. O preenchimento dos valores obedeceu a um intervalo linear, no qual fora preenchido com valores abordados de outras bibliografias e valores propostos pelo autor.

Com a obtenção do autovetor pode-se perceber a predominância de impacto do traçado de sistemas viários para a implantação. Tal aspecto pode ser verificado com mais consistência quando verificada a melhor implementação e manutenção de sistemas adutores próximos aos eixos de rodovias uma vez que propicia o melhor deslocamento de material e maquinário ao local influenciando em menores custos de implementação, uma vez que não se faz necessária grandes aberturas de eixos de passagem de material e pessoas para a implantação de sistemas acima citados.

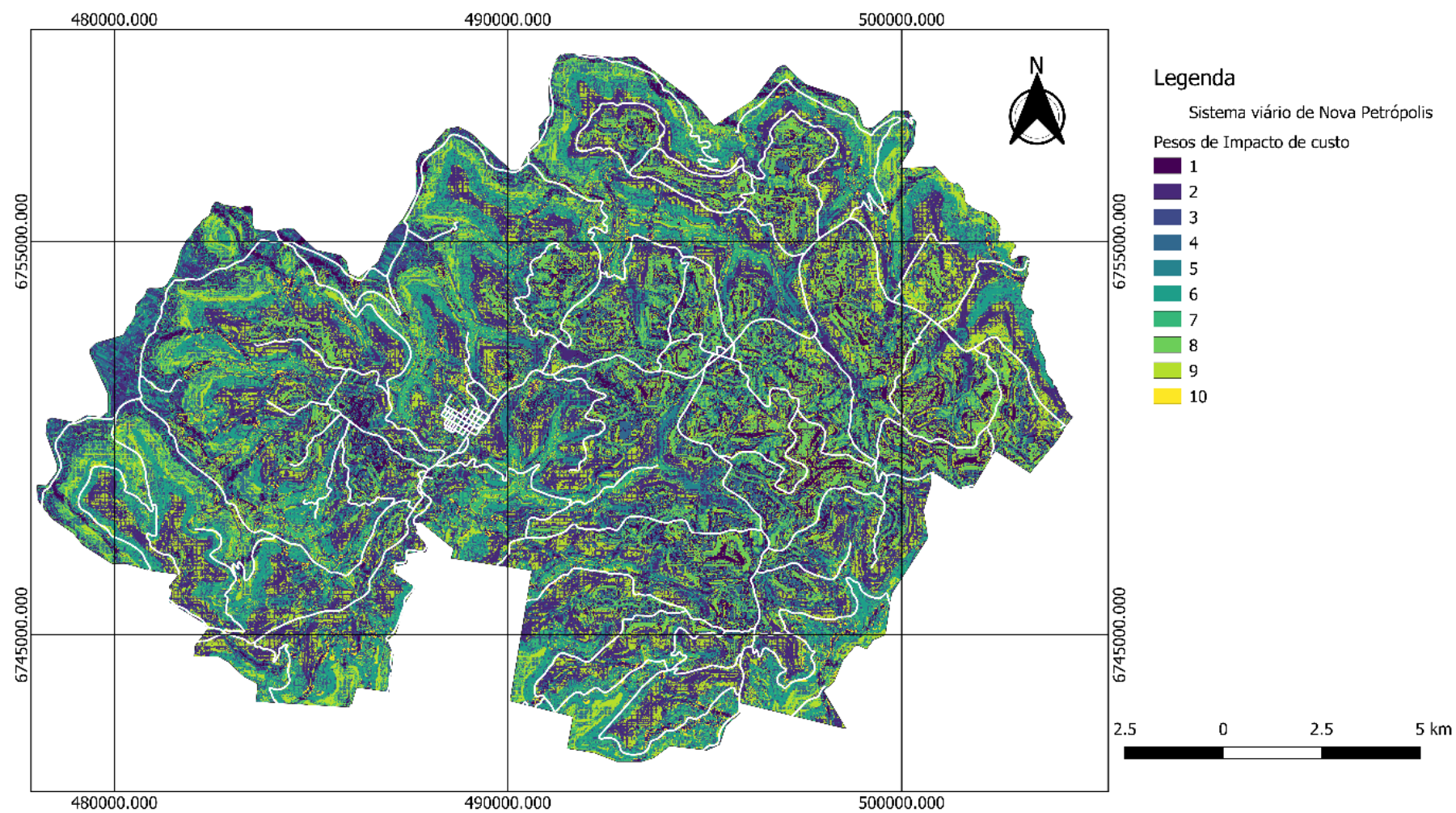
Através da Análise multicriterial e inserção dos diferentes pesos para os cinco mapas gerados, foi gerado o mapa apresentando as regiões com maiores custos de implementação (Figura 33). Após foram inseridos os pontos de captação superficial e estação de tratamento de água, para a obtenção do traçado de mínimo custo e anexado ao mapa de custos de implementação inserido também com o mapa de sistema viário do município de Nova Petrópolis.

Tabela 14 - Pesos atrelados aos critérios propostos

Critérios	Pesos
Estradas	0,48671
Rios	0,27205
Uso do Solo	0,13696
Declividade	0,06610
Hipsometria	0,03819

Fonte: O Autor (2021)

Figura 33 – Mapa de custos para sistemas de menor caminho



Fonte: O Autor (2021)

Pode-se verificar uma graduação por cores, as quais representam o custo de instalação de um sistema por pixel processado. A determinação do peso para cada pixel se dá pela análise multicriterial dos mapas mencionados acima. Os valores apresentados possuem o intervalo de 1 a 10, no qual o valor correspondente a 1 evidencia um ponto de menor custo de implantação e 10 o valor de maior impacto de custo para implantação de um sistema adutor. Pode se verificar que a região com maiores custo de implantação localizam-se na parte nordeste do município e área central do município.

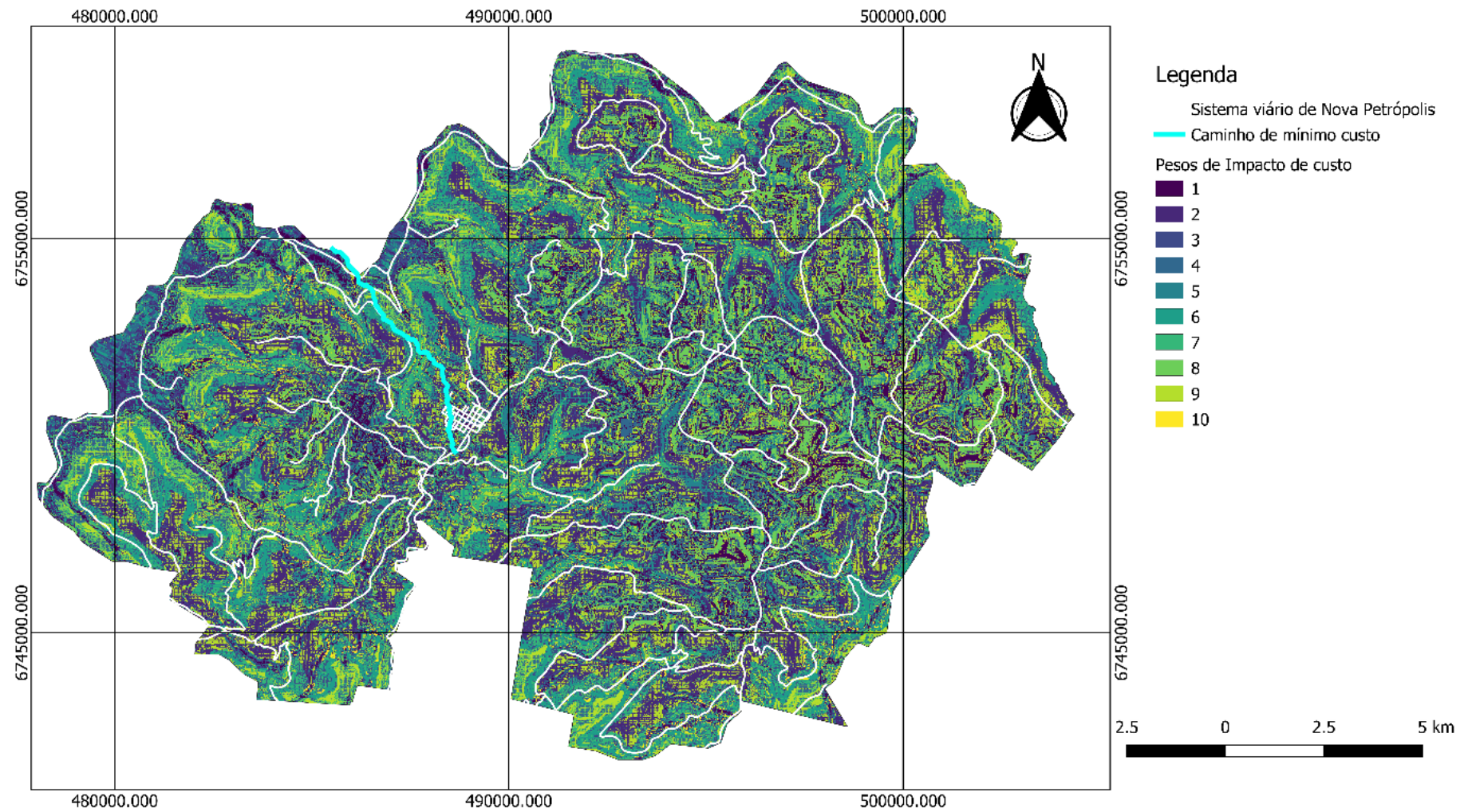
6.7.INTERLIGAÇÃO DE MANANCIAIS

Neste capítulo será demonstrado os resultados obtidos referentes aos testes de interligação mananciais superficiais e subterrâneos, bem como os traçados distintos para a opção de captação separadamente. Os traçados apresentados representam a melhor opção de traçado de instalação visando traçados de menor custo, com base na análise AHP realizada e apresentada na Figura 32 mostrada anteriormente.

6.7.1. Apenas Captação Superficial

Pode-se verificar na Figura 34 o mapa contendo o percurso de menor custo de implantação de um sistema oriundo de captação de manancial superficial exclusivamente.

Figura 34 – Traçado de mínimo custo com ponto de captação superficial no estudo



Fonte: O Autor (2021)

Conforme verificado pela Figura 34, o traçado de mínimo custo para a implantação de um sistema adutor com pontos de captação e estação de tratamento acima já inseridos, atrela grande parte do traçado junto ao eixo do sistema viário, ajustando o custo de implantação, porém quando distante demais da malha, pode-se perceber a análise de traçados de mínimo custo influenciada pelos diferentes fatores. A Figura 35 ilustra o comportamento do traçado da adutora em imagem do Google Earth. O comprimento encontrado de tubulação resulta em 7.483 metros.

Figura 35 – Traçado de mínimo custo com ponto de captação superficial no estudo



Fonte: O Autor (2021)

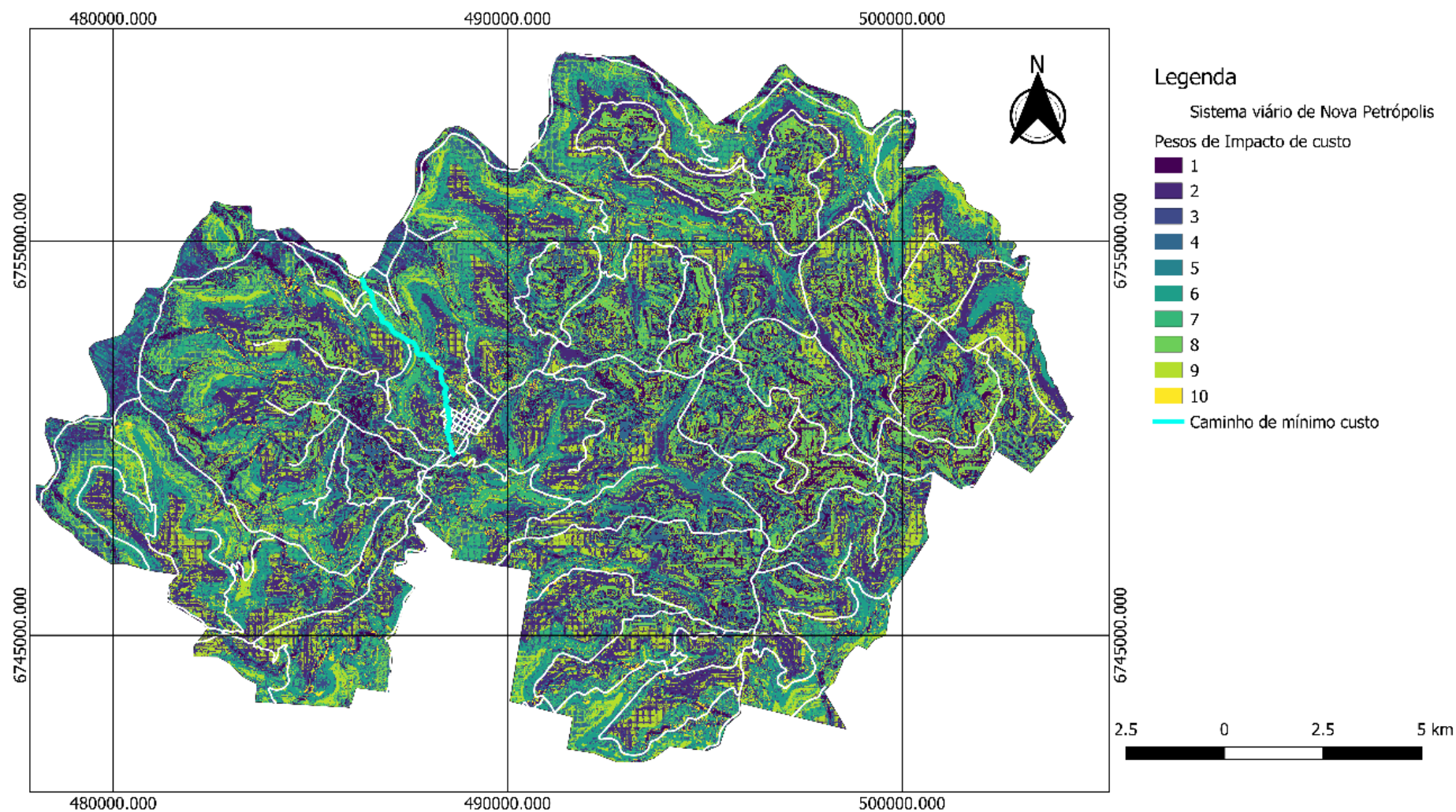
A opção por captação superficial do Rio Caí fora influenciada principalmente pela disponibilidade hídrica que o mesmo dispõe. Os leitos fluviais menores, dispostos no município, dispõe de acessos mais dificultados para um sistema adutor, e conforme demonstrado na imagem 20 possui uma sub-bacia hidrográfica de contribuição distinta

da que abastece o Arroio Ackermann, não limitando sobrecarregando a captação para apenas uma sub-bacia hidrográfica melhorando as opções de abastecimento do município.

6.7.2. Apenas Captação Subterrânea

A Figura 36 apresenta o traçado de mínimo para um ponto de captação subterrâneo.

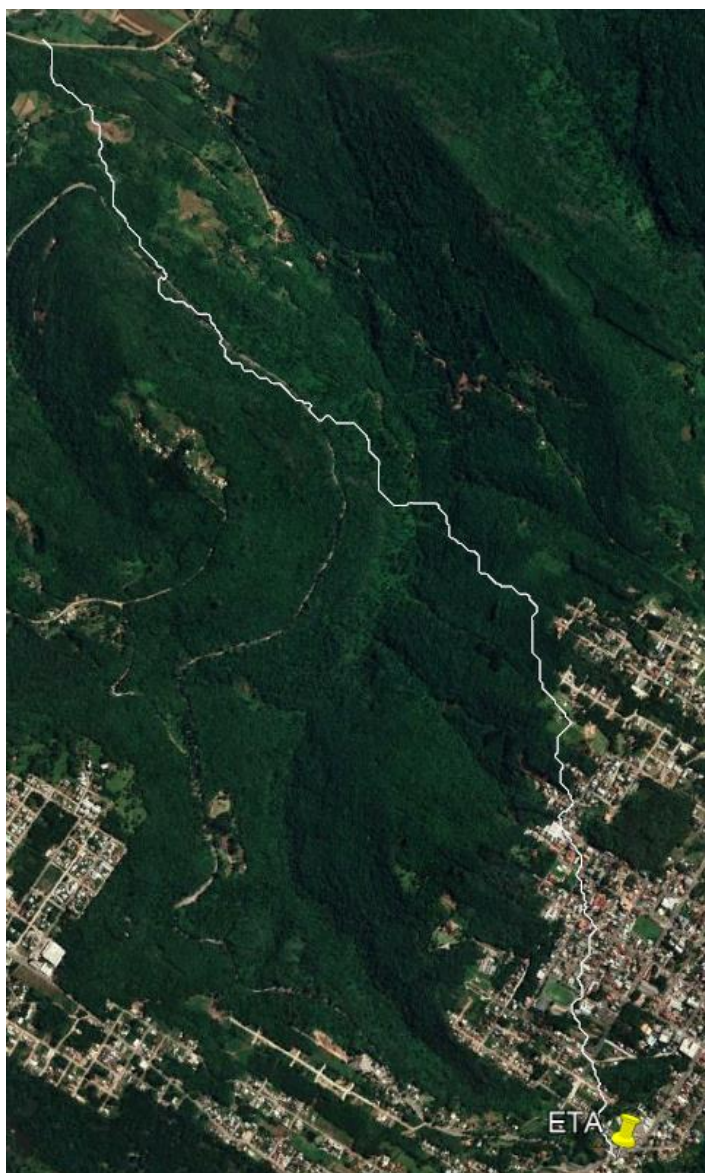
Figura 36 - Traçado de mínimo custo com ponto de captação subterrâneo



Fonte: O Autor (2021)

Conforme a Figura 36, pode-se verificar o padrão de comportamento similar ao da situação anterior, uma vez que o ponto de captação se modificou um pouco a frente estando próximo ao traçado de adução proposto anteriormente. A Figura 37 ilustra o comportamento em três dimensões do traçado da adutora. O comprimento encontrado de tubulação resulta em 6.263 metros. A análise de apenas um poço fora utilizada para a verificação do traçado através do mesmo ponto de forma a verificar o traçado proposto pelo traçado obtido pela captação superficial uma vez que os pontos são próximo. A utilização fora decidida para a verificação do comportamento do traçado uma vez que possuem similaridade nesse quesito, ficando a caráter da inclusão no segundo poço apenas para interligação entre mananciais.

Figura 37 - Traçado de mínimo custo com ponto de captação subterrâneo

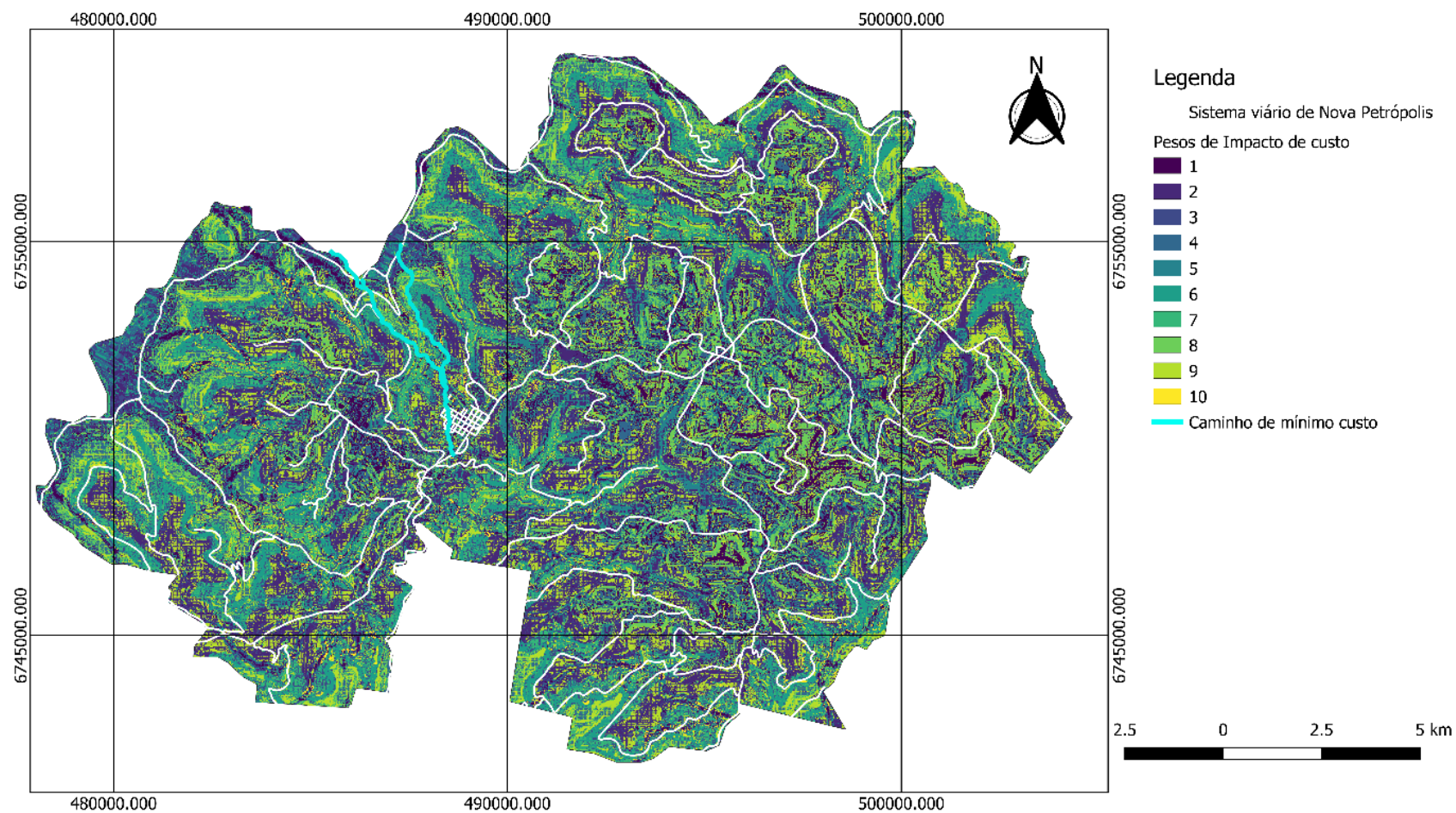


Fonte: O Autor (2021)

6.7.3.Misto

Pode-se verificar na Figura 38 o mapa contendo o percurso de menor custo de implantação de um sistema oriundo de captação de mananciais superficial e subterrâneos.

Figura 38 - Traçado de mínimo custo com interligação de mananciais



Fonte: O Autor (2021)

Pode-se verificar a mudança de comportamento do traçado proposto, sendo ele segmentado em dois trechos que se unificam em um em determinado ponto do mapa. A Figura 39 ilustra o comportamento em três dimensões do traçado da adutora. O comprimento encontrado para a total interligação dos sistemas resultou em um total de 12.400 metros.

Figura 39 - Imagem para o traçado de mínimo custo com interligação de mananciais



Fonte: O Autor (2021)

Através da leitura do mapa, pode-se verificar previamente a possível interligação entre mananciais, uma vez que são interligados pelo sistema viário e seguem um caminho lógico para a estação de tratamento se analisada a malha viária.

O método AHP possui uma grande velocidade na obtenção dos resultados necessitantes, podendo ser um artifício de tomada de decisão para traçados melhorando questões ambientais por exemplo e custos que comprimento de traçados, porém o método possui alguns problemas sendo relacionado a escala das variáveis, sendo aplicado neste modelo uma escala de 30 metros por pixel, influenciando em uma menor exatidão. A delimitação dos traçados é caracterísrica conforme Amaral demonstra em seu trabalho. Para maior exatidão pode-se utilizar de levantamentos topográficos, análise de solo e rocha.

Quanto analisado a complexidade de fatores influenciadores de um sistema adutor pode-se elencar mais fatores para uma maior precisão nos resultados. Para este projeto optou-se por utilizar os 5 critérios mencionados neste trabalho, porém podem ser inseridas mais variáveis nestes pontos, abordando por exemplo área públicas, regiões com maior prospecção de zona urbana, estudos demográficos de cada bairro, geologia, geomorfologia.

AVALIAÇÃO DE CUSTO DOS CASOS

Para a verificação custo de traçado para as seguintes situações (tabelas 15, 16, 17 e 18) encontrou-se os seguintes resultados, oriundos do levantamento preliminar sem a inserção de custo da tubulação. Foram utilizadas as composições de custo da planilha SINAPI do mês de maio de 2021 e a tabela SICRO do mês de janeiro de 2021.

Tabela 15 - Custo de instalação de tubulações oriundas de captação superficial

Número	base de preço	descrição	unidade	custo	Comprimento (m)	total
4805765	Sicro	ESCAVAÇÃO DE VALA EM MATERIAL DE 3ª CATEGORIA	m³	R\$ 131,05	7.483	R\$ 4.412.912,18
97150	Sinapi	ASSENTAMENTO DE TUBO DE FERRO FUNDIDO PARA REDE DE ÁGUA, DN 500 MM, JUNTA ELÁSTICA, INSTALADO EM LOCAL COM NÍVEL ALTO DE INTERFERÊNCIAS (NÃO INCLUI FORNECIMENTO). AF_11/2017	m	R\$ 29,39	7.483	R\$ 219.925,37
		TUBO DE FERRO FUNDIDO K7 DN300mm junta elástica	m	R\$ 718,17	7.484	R\$ 5.374.784,28
94317	Sinapi	ATERRO MECANIZADO DE VALA COM RETROESCAVADEIRA (CAPACIDADE DA CAÇAMBA DA RETRO: 0,26 M³ / POTÊNCIA: 88 HP), LARGURA ATÉ 0,8 M, PROFUNDIDADE DE 1,5 A 3,0 M, COM SOLO ARGILO-ARENOSO. AF_05/2016	m³	R\$ 25,10	7.483	R\$ 845.204,85
total geral					R\$	10.852.826,68

Fonte: O Autor (2021)C

Tabela 16– Custo de instalação de tubulações oriundas de apenas um poço de captação

Número	base de preço	descrição	unidade	custo	Comprimento (m)	total
4805765	Sicro	ESCAVAÇÃO DE VALA EM MATERIAL DE 3ª CATEGORIA	m³	R\$ 131,05	6.263	R\$ 3.693.447,68
97150	Sinapi	ASSENTAMENTO DE TUBO DE FERRO FUNDIDO PARA REDE DE ÁGUA, DN 500 MM, JUNTA ELÁSTICA, INSTALADO EM LOCAL COM NÍVEL ALTO DE INTERFERÊNCIAS (NÃO INCLUI FORNECIMENTO). AF_11/2017	m	R\$ 29,39	6.263	R\$ 184.069,57
		TUBO DE FERRO FUNDIDO K7 DN300mm junta elástica	m	R\$ 718,17	6.264	R\$ 4.498.616,88
94317	Sinapi	ATERRO MECANIZADO DE VALA COM RETROESCAVADEIRA (CAPACIDADE DA CAÇAMBA DA RETRO: 0,26 M³ / POTÊNCIA: 88 HP), LARGURA ATÉ 0,8 M, PROFUNDIDADE DE 1,5 A 3,0 M, COM SOLO ARGILO-ARENOSO. AF_05/2016	m³	R\$ 25,10	6.263	R\$ 707.405,85
total geral					R\$	9.083.539,98

Fonte: O Autor (2021)

Tabela 17 – Custo de instalação de tubulações apenas no trecho de captação subterrânea

Número	base de preço	descrição	unidade	custo	Comprimento (m)	total
4805765	Sicro	ESCAVAÇÃO DE VALA EM MATERIAL DE 3ª CATEGORIA	m³	R\$ 131,05	4908	R\$ 2.894.370,30
97150	Sinapi	ASSENTAMENTO DE TUBO DE FERRO FUNDIDO PARA REDE DE ÁGUA, DN 500 MM, JUNTA ELÁSTICA, INSTALADO EM LOCAL COM NÍVEL ALTO DE INTERFERÊNCIAS (NÃO INCLUI FORNECIMENTO). AF_11/2017	m	R\$ 29,39	4908	R\$ 144.246,12
		TUBO DE FERRO FUNDIDO K7 DN300mm junta elástica	m	R\$ 718,17	4908	R\$ 3.524.778,36
94317	Sinapi	ATERRO MECANIZADO DE VALA COM RETROESCAVADEIRA (CAPACIDADE DA CAÇAMBA DA RETRO: 0,26 M³ / POTÊNCIA: 88 HP), LARGURA ATÉ 0,8 M, PROFUNDIDADE DE 1,5 A 3,0 M, COM SOLO ARGILO-ARENOSO. AF_05/2016	m³	R\$ 25,10	4908	R\$ 554.358,60
total geral						R\$ 7.117.753,38

Fonte: O Autor (2021)

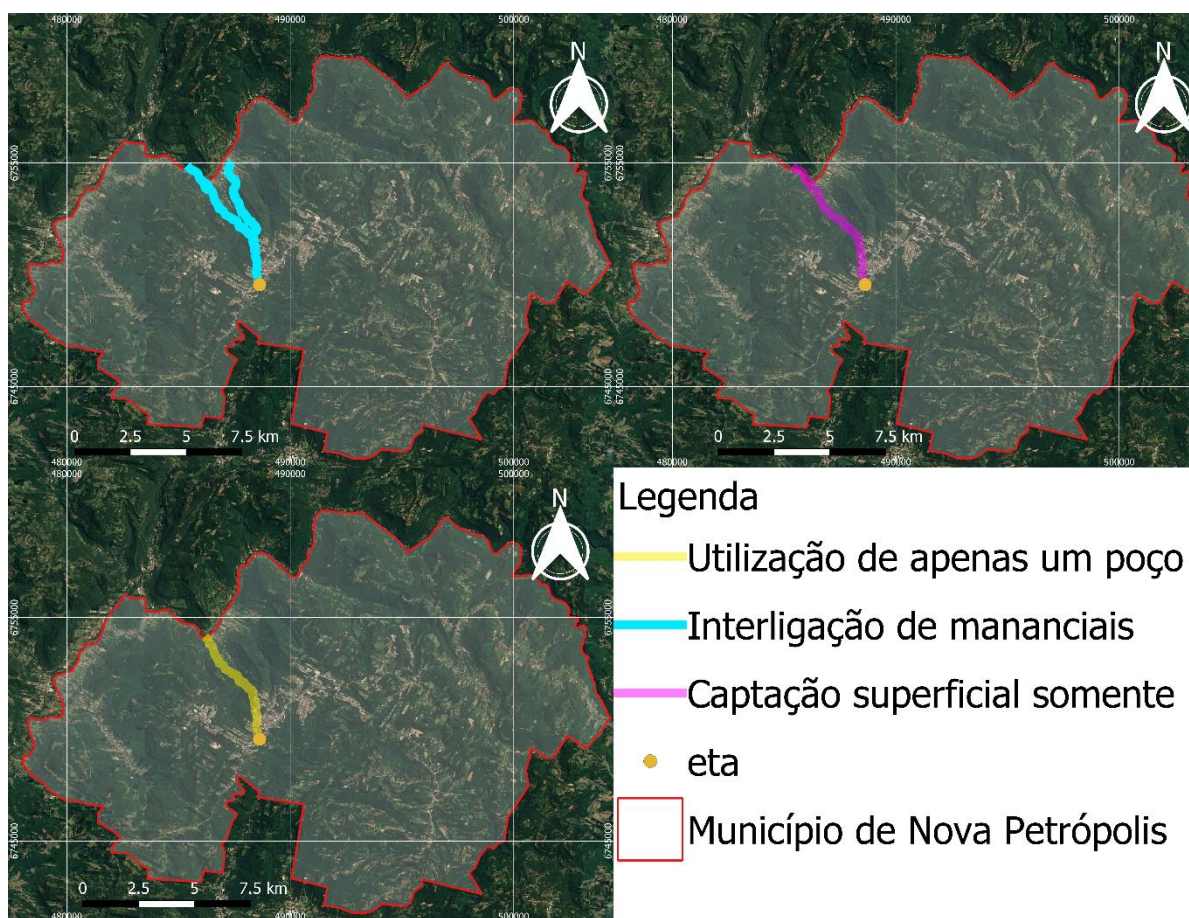
Tabela 18 – Custo de instalação de tubulações para uma rede completa com interligação de mananciais

Número	base de preço	descrição	unidade	custo	Comprimento (m)	total
4805765	Sicro	ESCAVAÇÃO DE VALA EM MATERIAL DE 3ª CATEGORIA	m³	R\$ 131,05	12.400	R\$ 7.312.590,00
97150	Sinapi	ASSENTAMENTO DE TUBO DE FERRO FUNDIDO PARA REDE DE ÁGUA, DN 500 MM, JUNTA ELÁSTICA, INSTALADO EM LOCAL COM NÍVEL ALTO DE INTERFERÊNCIAS (NÃO INCLUI FORNECIMENTO). AF_11/2017	m	R\$ 29,39	12.400	R\$ 364.436,00
		TUBO DE FERRO FUNDIDO K7 DN300mm junta elástica	m	R\$ 718,17	12.401	R\$ 8.906.026,17
94317	Sinapi	ATERRO MECANIZADO DE VALA COM RETROESCAVADEIRA (CAPACIDADE DA CAÇAMBA DA RETRO: 0,26 M³ / POTÊNCIA: 88 HP), LARGURA ATÉ 0,8 M, PROFUNDIDADE DE 1,5 A 3,0 M, COM SOLO ARGILO-ARENOSO. AF_05/2016	m³	R\$ 25,10	12.400	R\$ 1.400.580,00
total geral						R\$ 17.983.632,17

Fonte: O Autor (2021)

Pode-se verificar em todas as tabelas a predominância do custo de movimentação de solo e custo da tubulação utilizada. Ponto este que deve ser considerado devido as situações encontradas oriundas das declividades e que atrelada ao comprimento da tubulação aumentará ou diminuirá diretamente frente aos traçados encontrados. Pode se verificar na Figura 40 o comportamento de todos os traçados estudados.

Figura 40 - Comparação dos traçados obtidos



Fonte: O Autor (2021)

7. CONCLUSÕES

Pode se verificar a importância de sistemas adutores como sendo um dos quesitos estruturantes da infraestrutura de uma cidade nos quais ela se encontra. A otimização de traçados poderá ser avaliada tanto como quesitos quantitativos, como qualitativos uma vez que propicia melhoria de logística, segurança, orçamentária, ambiental e de execução. Para a presente metodologia demonstrada os resultados evidenciam a melhor situação de implantação de projeto para os parâmetros elencados. Havendo necessidade de inclusão de mais variáveis para o aprimoramento da metodologia poderá ser avaliado e executado em trabalhos posteriores acarretando os resultados demonstrados para o presente trabalho como finais. A escolha da interligação dos mananciais deve ser estudada criteriosamente de modo a atender a população da melhor forma mediante as condições que cada situação apresenta.

Mediante a metodologia proposta pode-se concluir que existe um traçado de menor custo para cada situação de projeto onde as prioridades são condicionantes para elencar a melhor rota possível. Para a estruturação e análise das diversas possibilidades, o método AHP possui grande eficácia e rapidez para a obtenção dos dados, porém ele depende das características de escolhas do profissional que o aplicará. Os valores e traçados podem ser modificados mediante acréscimo de novas variáveis em projetos futuros estando propício a melhoramentos e modificações posteriores.

O estudo através de sistemas de georreferenciamento propiciam bons resultados para a análise dos traçados obtidos, porém não excluem levantamento de campo, topográfico, de solo e rocha para o refinamento e a melhor adequação dos traçados.

REFERÊNCIAS

AMARAL, Francisco et al. **USO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO NA OTIMIZAÇÃO DO TRAÇADO E NA MELHORIA OPERACIONAL DE SISTEMAS ADUTORES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO. Recife, PE: 2017.

ABAS. **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**. Águas Subterrâneas O que são?. **Associação Brasileira de Águas Subterrâneas**. Disponível em <https://www.abas.org/aguas-subterraneas-o-que-sao/#ind12>. Acesso em três de dezembro de 2020.

ANA. **BRASIL**. A Ana e o saneamento. **Agência Nacional de Águas**. Disponível em <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/saneamento-basico/a-ana-e-o-saneamento>. Acesso em três de dezembro de 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 12.211**: Estudos de Concepção de Sistemas de Abastecimento Público de Água - Procedimento. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15.802**: Sistemas Enterrados para distribuição e adução de água e transporte de esgotos sob pressão – Requisitos para projetos em tubulação de polietileno PE 80 e PE 100 de diâmetro externo nominal entre 63mm e 1600mm. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7.675**: Tubos e conexões de ferro dúctil e acessórios para sistemas de adução e distribuição de água – Requisitos. Rio de Janeiro, 2005

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7.560**: Tubo de ferro fundido dúctil centrifugado, com flanges roscados ou montados por dilatação térmica e interferência — Especificação. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7.665**: Sistemas de transporte de água ou de esgoto sob pressão — Tubos de PVC-M DEFOFO com junta elástica — Requisitos, Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 12.212**: Projeto de Poço Tubular para captação Água Subterrânea – Procedimento. Rio de Janeiro, 2017.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 12.213:** Projeto de Captação de Água de Superfície para Abastecimento Público – Procedimento. Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 12.214:** Projeto de Estação de Bombeamento ou de Estação Elevatória de Água – Requisitos. Rio de Janeiro, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 12.215:** Projeto de Adutora de Água Parte 1: Conduto Forçado. Rio de Janeiro, 2017.
- AZEVEDO NETTO, J.M. et.al.. **Manula de Hidráulica**, 8ª edição. Edgard Blucher, 670p. São Paulo, 1998.
- AZEVEDO, J.H. **Avaliação dos Mecanismos de Recarga Natural e Estabilidade Hidroquímica em Aquíferos Rasos, Sul do Estado de Tocantins**. 2012. Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília, Brasília
- BALBINOT. Et. al. Rafaelo. **O papel da floresta no Ciclo Hidrológico em Bacias Hidrográficas**. 2008. *Ambiência*, Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais.
- CADAMURO, et al. **Recarga Artificial de Aquíferos Fraturados no Distrito Federal: Uma Ferramenta para a Gestão do Recursos Hídricos**. 2005. *Revista Brasileira de geociências*.
- CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (CAIXA). **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI**. Disponível em https://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_660 Acessado em 17 de Junho de 2021.
- CÂMARA et. al. PAULO. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. INPE. 2001.
- CARVALHO, R.R. **Aplicação de Análise Multicritério em Ambiente de Geoprocessamento no Estudo de Áreas para Implantação de Aterros Sanitários – Área Sul da Ride/DF e entorno**. 2017. Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília – UNB, Brasília
- CARVALHO, F.S. **Localização de Reservatório através de Técnicas de Otimização em Ambiente de Geoprocessamento: Estudo de Caso na Bacia do Rio Coruripe, em Alagoas**. 2006. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- COLOMBO, et al. **Seleção da Melhor Configuração de Poço de Petróleo para o Desenvolvimento de um Campo Utilizando o Método AHP TOPSINS 2N**. 2019. Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha. Rio de Janeiro

CORADI et. al., **PAULO: Avaliação da qualidade da água superficial dos cursos de água do município de Pelotas-RS, Brasil.** Universidade de Taubaté, Recife, 2009.

DA PAZ, Adriano Rolim. **Hidrologia Aplicada.** Caxias do Sul: [s.n.] 2004.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT) – **Sistema de custos Referenciais de Obras – SICRO.** Disponível em < <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/custos-e-pagamentos/custos-e-pagamentos-dnit/sistemas-de-custos/sicro/sul/rio-grande-do-sul/2021/janeiro/janeiro-2021> > Acessado em 15 de Julho de 2021.

DIAMANTINO, C. **Metodologias de Recarga Artificial de Aquíferos.** 2005. 7º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa. FEPAM. **ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL: Qualidade ambiental – Região Hidrográfica do guaiíba. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler - RS.** Disponível em < http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade_cai/cai.asp >. Acesso em vinte e cinco de outubro de 2020.

FREIRE K. C. PAULA. **Estudo Comparativo entre Metodologias de Dimensionamento Econômico de Adutoras.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 2000

FURUSAWA, R.T. **Contribuição no Dimensionamento de rede de Distribuição de Água por Critério de Custo Geral.** 2011. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

GERSTING, J. L. **Fundamentos Matemáticos para a Ciência da Computação.** Rio de Janeiro: LTC, 2004.

IBGE: **INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA: Cidades e estados. BRASIL.** Disponível em < <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rs/nova-petropolis.html> >.

LACERDA. I. S. **Regras de operação para sistemas de abastecimento de água com baixo nível de automação e sujeitos a incertezas.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2009.

MARINS, et al. **O Uso do Método de Análise Hierárquica (AHP) na Tomada de Decisões Gerenciais – Um Estudo de Caso.** 2009.

MOREIRA, T.R. **Proposta de Implantação de Corredores Ecológicos como Estratégia para Mitigação de Impactos Ambientais na Bacia Hidrográfica do Rio**

Doce, Brasil. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro – ES.

NEVES et. al. **ANÁLISE DE ALTERNATIVAS PARA SISTEMA ADUTOR DE ÁGUA M REGIÃO DA BACIA DO RIO ITAPICURU - BAHIA, POR MEIO DE PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA.** 2009. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA), Bahia.

ORNELAS, A. R. **Aplicação de Métodos de Análise Espacial na Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos.** 2011. Tese de Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais. 101p. Universidade Federal de Minas Gerais.

PÁDUA L. VALTER, HELLER LÉO. **Abastecimento de Água para Consumo Humano.** UFMG. Belo Horizonte, MG: 2006

PREFEITURA DE NOVA PETRÓPOLIS: **PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO:** Nova Petrópolis, RS: 2012.

QASIM, S.R. **Wastewater treatment plants: Planning, design, and operation.** New York: CBS College. 1985.

RAUEN, V. A. B. **Análise Espacial de Vulnerabilidade a Vazamentos em Rede de Abastecimento de Água.** Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2014

RODELLA M. A. LIDIA. **Modelo de Programação Linear para Apoio a Decisão da Distribuição de Água de Sistemas Integrados de Abastecimento.** Tese de pós-graduação, Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco. 2014

SEMA. **ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL: Outorga. Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura.** Disponível em <https://www.sema.rs.gov.br/outorga>. Acesso em vinte e cinco de outubro de 2020.

SEMA. **ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL: Recursos Hídricos e Saneamento. Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura.** Disponível em <<https://sema.rs.gov.br/recursos-hidricos>>. Acesso em vinte e cinco de outubro de 2020.

SEMA. **ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL: G030 - Bacia Hidrográfica do Rio Caí. Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura.** Disponível em <<https://www.sema.rs.gov.br/g030-bh-cai>>. Acesso em vinte e cinco de outubro de 2020.

SEMA. **ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL: Bacias Hidrográficas do Rio Grande do Sul. Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura.** Disponível em <

<https://www.sema.rs.gov.br/bacias-hidrograficas>>. Acesso em vinte e cinco de outubro de 2020.

SEMA. **ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL: Bacias Hidrográficas do Rio Grande do Sul. Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura.** Disponível em < <https://www.sema.rs.gov.br/bacias-hidrograficas>>. Acesso em vinte e cinco de outubro de 2020.

TREVISAN, M.L. **Sensibilidade de Fatores para Valoração do Ambiente com o Uso de Avaliação Multicritério e Geoprocessamento Digital.** 2008. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria

TSUTYIA, Milton. **ABASTECIMENTO DE ÁGUA:** 2ª ed. São Paulo, SP: 2005

TUCCI, Carlos et al. (org.). **HIDROLOGIA:** Ciência e aplicação. 4ª ed. UFRGS. Porto Alegre, RS: 2009.

TUCCI, et. al. **ESTIMATIVA DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA ATRAVÉS DA CURVA DE PERMANÊNCIA.** 2009. Revista Brasileira de Recursos Hídricos.