

## **REDE MALHADA E RAMIFICADA PARA ABASTECIMENTO DE ÁGUA: ESTUDO DE CASO PARA O BAIRRO PARIS, NO MUNICÍPIO DE SINOP -MT**

RAFAEL HENRIQUE GASPARIN<sup>1</sup>  
RAFAEL GOULART DE ANDRADE SANTOS<sup>2</sup>

### **RESUMO**

Nos últimos anos, o Brasil vem aumentando a sua cobertura no abastecimento de água, porém, o acesso ao saneamento básico continua a decair conforme o passar dos anos. Esse tipo de levantamento leva a reflexão de soluções de sistemas de abastecimento e captação de água bem planejadas, garantindo uma oferta eficaz e atendendo a padrões de qualidade exigidos pela comunidade. O objetivo da pesquisa é analisar a viabilidade técnica e econômica da implantação de uma rede de distribuição de água em um bairro no município de Sinop – MT, realizando um estudo prévio sobre redes ramificadas e malhadas. A localidade já possui parcialmente a instalação de uma rede ramificada, e o estudo auxiliará na tomada de decisão para a conclusão das instalações, analisando materiais, métodos e custos, chegando a decisão do uso de rede ramificada para o abastecimento de água no residencial Paris, devido à sua fácil manutenção, operação e uma melhor qualidade para os usuários.

**Palavras-Chave:** Abastecimento de água; redes malhadas; redes ramificadas.

### **MESH AND BRANCHED NETWORK FOR WATER SUPPLY: HOUSE STUDY FOR BAIRRO PARIS, IN THE MUNICIPALITY OF SINOP -MT**

### **ABSTRACT**

In recent years, Brazil has been increasing its coverage in water supply, but access to basic sanitation continues to decline over the years. This type of survey leads to the reflection of well-planned water supply and water supply systems solutions, guaranteeing an efficient supply and meeting the quality standards demanded by the community. The objective of the research is to analyze the technical and economic viability of the implantation of a water distribution network in a neighborhood in the municipality of Sinop - MT, carrying out a previous study on branched and spotted networks. The locality already partially has the installation of a branched network, and the study will assist in the decision making for the completion of the facilities, analyzing materials, methods and costs, reaching to use the branched branch for the water supply in Paris, due to its easy maintenance, operation and a better quality for the users.

**Keywords:** Water supply; netting; branched networks.

---

<sup>1</sup> Acadêmico de Graduação, Curso de Engenharia Civil, UNIFASIPE Centro Universitário, R. Carine, 11, Florença, Sinop - MT. CEP: 78550-000. Endereço eletrônico: [rafaelgasparin@gmail.com](mailto:rafaelgasparin@gmail.com)

<sup>2</sup> Professor Especialista em segurança do trabalho, Curso de Engenharia Civil, UNIFASIPE Centro Universitario, R. Carine, 11, Res. Florença, Sinop - MT. CEP: 78550-000. Endereço eletrônico: [rafaelgoulart12@gmail.com](mailto:rafaelgoulart12@gmail.com)

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo a Comissão de Serviços de Infraestrutura (CI) do Senado Federal as primeiras preocupações sanitárias datam da Idade Antiga até o século V, com o desenvolvimento de técnicas como a irrigação e as canalizações superficiais, e as primeiras observações entre a relação de doenças hídricas com o abastecimento de água. O avanço da história culmina com a consolidação do Plano Nacional de Saneamento (Planasa) e a criação das Companhias Estaduais de Saneamento Básico (CESBs).

O Planasa foi implementado em um contexto de precariedade, segundo Saiani (2006) a maioria dos municípios não conseguia ofertar os serviços de saneamento com parâmetros de qualidade aceitáveis. Apenas 50% da população urbana era abastecida por redes de água e 24% possuía rede coletora de esgoto.

Porém, apesar da maior cobertura no abastecimento de água e coleta de esgoto, o desenvolvimento e o acesso ao saneamento básico avançaram de maneira desigual no país, característica observada por Saiani (2006) ao constatar o desequilíbrio de domicílios atendidos entre diferentes regiões. Saiani e Júnior (2010) apontam também a variação ao acesso quando considerada a renda familiar, sendo que o acesso ao saneamento é maior conforme o aumento da renda familiar.

BRASIL (2010a) espera que nos próximos 11 anos, até 2030, seja possível atingir a universalização do abastecimento de água nas áreas urbanas. Para tal, todos deverão ter acesso à água de qualidade de forma regular e independente de renda ou local de moradia.

BRASIL (2010b) estimou, no ano de 2010, que o estado de Mato Grosso tem um sistema de abastecimento satisfatório em 85 municípios, requerendo investimento em outros 56. Tal investimento, corresponde, ao total de 203,55 milhões de reais, sendo previsto 130 milhões de reais para ampliação e adequação dos sistemas produtores para garantia da oferta de água. A população beneficiada será cerca de 2,2 milhões em 2025.

O objetivo da pesquisa é a análise da viabilidade técnica e econômica de implantação de rede de distribuição de água no bairro Paris do município de Sinop-MT, comparando a implantação de redes ramificadas e malhadas. O bairro já conta com a distribuição de rede parcialmente ramificada, e a pesquisa pretende avaliar ambas as redes, em conjunto com seus custos, para escolher o formato mais adequado de conclusão.

Para a obtenção da metodologia, e dos resultados esperados, foi realizada uma pesquisa bibliográfica afim de alcançar o aprofundamento necessário no tema de redes de abastecimento de água a ser desenvolvido, utilizando-se da base de dados Scientific Electronic Library Online (SciELO) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes). Por conseguinte, o conhecimento será aplicado em um estudo de caso, onde os resultados serão obtidos no prazo correspondente ao cronograma.

O processo de dimensionamento e traçado da rede está ligado diretamente ao local e a população que vai ser abastecida. Portanto, para o correto dimensionamento se faz necessário um estudo aprofundado, visando a topografia do terreno o dimensionamento da rede implantada nas proximidades o número de habitantes e sua classe de consumo, levando sempre em conta os aspectos de qualidade e econômicos.

O abastecimento de água com qualidade e quantidade correta vai além do desenvolvimento econômico. Um sistema mal dimensionado pode causar danos como desperdício. Por isso é essencial um estudo preciso.

Então é primordial analisar o tipo da rede que vai ser utilizada. Em redes ramificadas se permite solucionar com mais facilidades problemas de topografia no terreno, porem ela tem seu sistema comprometido a jusante se necessária manutenção e ocorre acúmulos de produtos nas interrupções da rede. Em contrapartida, apesar da malhada oferecer maior flexibilidade com menor interrupção tendo seu sistema em constante circulação, dever ser

critérios dimensionada de forma que seus anéis ou blocos fiquem em constante pressão suas ligações domiciliares sejam ligadas apenas nas redes secundárias.

Assim, almeja-se com a pesquisa definir o melhor traçado e dimensionamento da rede de abastecimento de água (ramificada ou malhada), que já tem parcialmente sua instalação na forma ramificada, conciliando os critérios normativos vigentes com o menor custo.

O fornecimento de água potável está diretamente relacionado à qualidade de vida dos habitantes de um município em desenvolvimento econômico, sendo ele um dos principais responsáveis por doenças infecciosas e um importante ponto à ser levado em consideração.

Um sistema de rede é composto por tubulações e acessórios para levar água de uma fonte para o consumo, atendendo os requisitos de pressão e qualidade estabelecidos por norma. Para tal, deve ser dimensionada seguindo orientações presentes na NBR 12211 (ABNT, 1992) e NBR 12 218 (ABNT, 2017).

Para o atendimento à NBR 12211 (ABNT, 1992) o estudo para concepção básica de um sistema de abastecimento deve levar em consideração o levantamento planialtimétrico da área de projeto, os consumidores a serem atendidos, o plano de urbanização e legislação do município no qual será implantado, analisando os diversos arranjos para que se apresente a melhor solução.

Dentre os possíveis arranjos de tubulações, as redes podem ser categorizadas em ramificadas ou malhadas. Na primeira, as tubulações secundárias dependem diretamente das primárias sendo projetadas conforme a direção predominante da área abastecida, podendo ter seu traçado classificado como espinha de peixe ou grelha. Exige menores custos para seu desenvolvimento.

Já na malhada, as tubulações se ligam entre si por duas extremidades formando anéis ou blocos, seu escoamento pode ser bidirecional, para se atingir um dado ponto e tem percursos alternativos que possibilitam. Caso ocorra uma ruptura é possível isolar determinada zona de rede, por uma rede de válvulas, sem que o restante seja afetado.

Diante o exposto, a presente pesquisa analisará a implantação de rede de distribuição de água no bairro Paris do município de Sinop-MT, buscando comparar aspectos de qualidade, técnicos e econômicos da utilização de traçados em formato ramificado e malhado.

Essa pesquisa tem como objetivo geral analisar a viabilidade técnica e econômica de implantação de rede de distribuição de água no bairro Paris do município de Sinop-MT. Analisar problematização eminente no local, verificar o consumo diário da população, avaliar o estudo do traçado utilizando o método de rede malhada, identificar quais os materiais necessários, estimar os custos, comparar a rede proposta e a rede ramificada no bairro.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

Uma rede de distribuição caracteriza-se pela interligação de condutos com a finalidade de garantir o fornecimento de água potável aos imóveis. Esse conjunto merece atenção, pois deve assegurar os requisitos de qualidade, quantidade e pressão adequada. Heller e Pádua (2010) destacam que, por possuir geralmente uma grande extensão, essa unidade costuma representar cerca de 50% do custo do sistema total.

Assim, projetos mal executados ou mal operados acarretam em prejuízos como altos índices de perda de água, elevação do custo de implantação e operação do sistema, redução da qualidade da água ofertada, bem como aumento de reclamações por parte dos usuários. Por tanto, nesse estudo, serão abordados os principais tópicos relacionados ao desenvolvimento do projeto de distribuição.

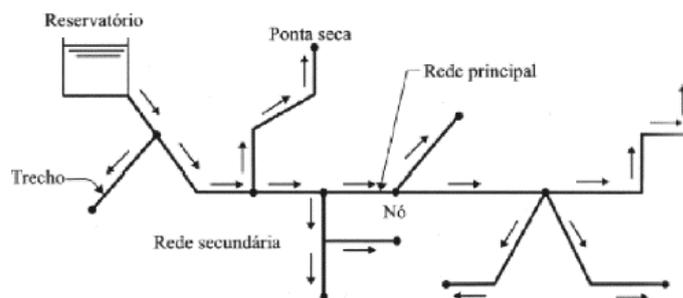
## 2.1 Rede de distribuição de água

O sistema de rede de distribuição de água é definido pela NBR 12218 (ABNT, 2017) como o conjunto de tubulações e órgãos acessórios responsáveis por disponibilizar água potável aos consumidores, de forma contínua e com pressão e quantidade suficientes. Essa rede é um importante elemento pertencente ao Sistema de Abastecimento de Água (SAA), composto por sua vez, pelo conjunto de obras civis, canalizações e equipamentos, destinados a captar, tratar, reservar, transportar e distribuir água potável de forma coletiva, segundo a NBR 12211 (ABNT, 1992).

Heller e Pádua (2010) atribuem a denominação rede ao formato como as tubulações são instaladas, ao se interligarem, possibilitando diversas derivações para o fornecimento de água. Por se tratar da última unidade que compõe um SAA, as redes devem garantir seguramente a distribuição da água captada, tratada e armazenada nos conjuntos anteriores do SAA.

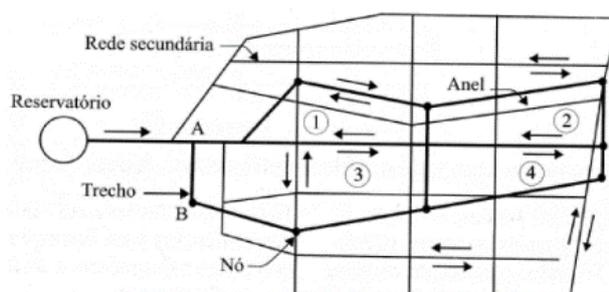
Podem ser classificadas em ramificadas, malhadas ou mistas, conforme a disposição dos condutos que a compõe. A rede ramificada tem seu fornecimento realizado pelos condutos principais e secundários, a tubulação secundária abastece diretamente os pontos de consumo, enquanto a tubulação principal, também conhecida por tubulação tronco, alimenta as secundárias. Na rede malhada as tubulações principais formam anéis ou blocos, possibilitando alternativas de abastecimento para um mesmo ponto. As Figuras 4 e 5 ilustram os dois tipos de rede.

**Figura 1:** Rede de distribuição ramificada



Fonte: Tsutiya (2006).

**Figura 2:** Rede de distribuição malhada



Fonte: Tsutiya (2006).

Por limitar o abastecimento em um único sentido, a rede do tipo ramificada é indicada apenas para regiões onde a topografia impõe tal configuração, já que todo o abastecimento está sujeito a interrupções caso ocorra um acidente em qualquer ponto da tubulação. A malhada flexibiliza as alternativas de abastecimento quando necessário realizar

manutenções, mas deve ser criteriosamente dimensionada observando o sentido de circulação da água.

Lima (2015) evidencia as consequências acarretadas da má elaboração ou operação das redes. Em casos de vazamento, as redes ficam expostas a contaminação por microrganismos submetendo os consumidores à riscos, bem como, ocasionam a redução da pressão na rede comprometendo a continuidade no fornecimento.

Portanto, o processo de dimensionamento dos condutos deve ser realizado segundo as recomendações da ABNT (1994) garantindo os parâmetros exigidos pela normativa vigente. Dentre eles, manter a velocidade mínima de 0,6 m/s e máxima de 3,5 m/s nas tubulações; ter 50 mm de diâmetro mínimo; utilizar a fórmula universal para calcular a perda de carga considerando o envelhecimento dos materiais; em circuitos fechados, considerar o consumo nos pontos nodais, para o dimensionamento dos condutos principais e dimensionar os condutos para a vazão de projeto atentando-se ao critério de pressão.

Ao relacionar os limites máximos e mínimos de velocidade estabelecidos pela ABNT (1994) com o diâmetro dos condutos, é possível obter uma condição de vazão máxima e mínima para diversos diâmetros de tubulações, como apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1** – Vazões máximas e mínimas conforme critérios de velocidade

Diâmetro (mm)	Velocidade mínima (m/s)	Velocidade máxima (m/s)	Vazão mínima (l/s)	Vazão máxima (l/s)
50	0,6	3,5	1,2	6,9
75	0,6	3,5	2,7	15,5
100	0,6	3,5	4,7	27,5
150	0,6	3,5	10,6	61,9
200	0,6	3,5	18,8	110,0
250	0,6	3,5	29,5	171,8
300	0,6	3,5	42,4	247,4
350	0,6	3,5	57,7	336,7
400	0,6	3,5	75,4	439,8
450	0,6	3,5	95,4	556,7
500	0,6	3,5	117,8	687,2
550	0,6	3,5	142,5	831,5
600	0,6	3,5	169,6	989,6

**Fonte:** Adaptado de Furusawa (2011).

Além da diferenciação dos diferentes tipos de rede que possam alimentar um sistema, e suas respectivas dimensões, determinadas pelos diâmetros, se faz necessário a pontuação a respeito de um importante item no dimensionamento de redes, as perdas de carga. A perda de carga que ocorre por meio de um trajeto qualquer da tubulação, que possuir dimensões estabilizadas na seção transversal ao escoamento, é denominada uniforme durante todo o percurso, podendo ser considerada linear, distribuída ou contínua (Netto et al., 1998).

Quando ocorrida, em decorrência a um impedimento na rede que altere as condições de escoamento normal, é denominada perda de carga localizada. A queda na energia que é gerada é maior do que nos demais trechos contínuos da tubulação, em decorrência ao aumento da turbulência (CRANE CO. 1982).

Em consequência do obstáculo da análise de escoamento, os métodos de cálculo de

perda localizada são efetuados de forma empírica (White, 2011). Com intenção de facilitar as metodologias, Streeter e Wylie (1982) citam que as perdas individuais possam ser desprezadas na existência de um comprimento de mil diâmetros no meio de duas singularidades. Porém, a nível de redes de abastecimento, pelo número de singularidades requeridas, as perdas de carga geradas são significativas, e devem ser analisadas.

### **3 MAERIAIS E MÉTODOS**

A metodologia consiste em esclarecer a forma de cálculo das duas formas de rede de abastecimento a serem comparadas, as redes ramificadas e malhadas. A rede atende ao bairro Paris, localizado no município de Sinop-MT, localizado ao norte do estado de Mato Grosso, Sinop. O bairro já conta com a rede de distribuição de forma parcialmente incompleta ramificada, e, portanto, a pesquisa apresentará a viabilidade técnica e quantitativa do método, em comparação com a suposta instalação de uma rede malhada, na rede que será completada.

O mapeamento da região, assim como o levantamento topográfico, será realizado com o auxílio de ferramenta SIG; os cálculos para estimativa da população de projeto, vazões de consumo e distribuição, bem como o dimensionamento serão efetuados seguindo a bibliografia consultada, com o auxílio de planilhas eletrônicas, já para o traçado da rede utilizará o software AutoCAD, em sua versão para estudante.

#### **3.1 Caracterização da área de estudo**

O município de Sinop está localizado no estado de Mato Grosso, conforme apresentado na Figura 1. Segundo o IBGE possuía 113.099 habitantes no ano de 2010, com previsão para atingir 184.867 no ano de 2025, de acordo com dados divulgados pela BRASIL (2010b).

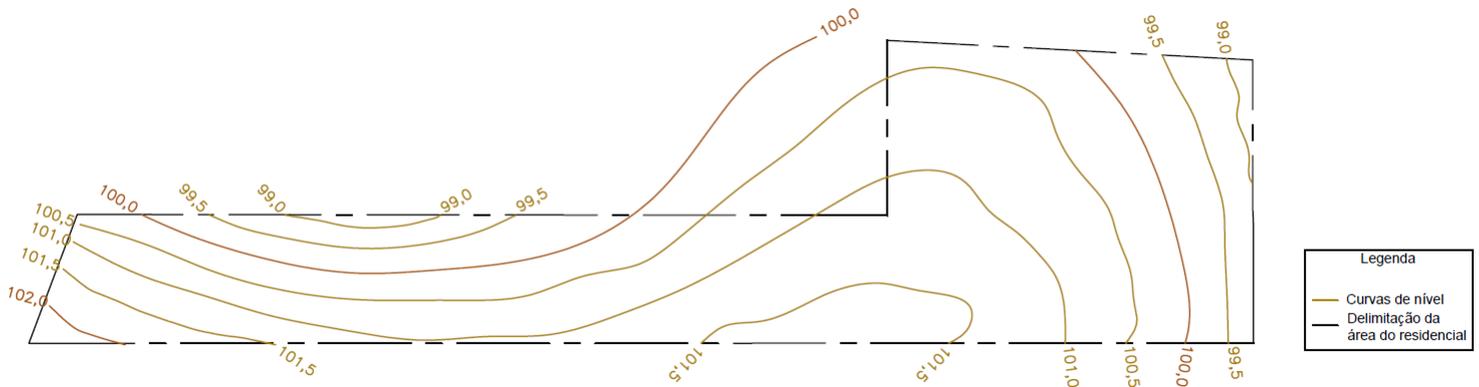
O bairro de estudo está situado na porção oeste do município como esquematizado no Anexo 01. Com relevo predominantemente plano, conta com 719 lotes e área total de 421.031,00 metros quadrados. Sua finalidade é de uso residencial.

A classificação dos consumidores por categoria de uso é habitualmente utilizada para o lanejamento e gerenciamento de um sistema de abastecimento de água. Essa classificação tem por finalidade estimar o consumo de água conforme as atividades realizadas por cada categoria. Tsutiya (2006) define que em áreas residenciais o consumo de água deve ser categorizado como doméstico, totalizando um consumo médio de 50 a 90 litros por habitante.

Ainda conforme o mesmo, apesar do uso doméstico apresentar pequena variabilidade de consumo quando compara as demais categorias - comercial, industrial e pública, ainda é influenciado por variáveis como a renda familiar, as características da habitação e o clima da região. Tais peculiaridades devem ser consideradas no dimensionamento das tubulações, já que no Brasil, ainda existem poucas pesquisas realizadas para a determinação do consumo de água.

A topografia da região possui pequenas declividades, sendo que a maior diferença entre as cotas do terreno é de 3 metros e suas curvas de nível tem maior cota em 102 metros e menor em 99 metros, conforme visualizado na Figura 3.

**Figura 3:** Representação das curvas de nível, com variação de 0,50 m



**Fonte:** Os autores, 2019.

### 3.2 Estimativa demográfica

O dimensionamento de uma rede de distribuição de água está condicionado a população a que deve atender. Desta forma, sua projeção pode ser calculada com uso de diferentes métodos presentes na literatura, sendo necessário também, a definição do horizonte de projeto a ser considerado.

Ferreira (2015); Tsutiya (2006) destacam para a projeção populacional o corrente uso dos métodos matemáticos e método dos componentes demográficos. Dentre os métodos matemáticos existentes, o aritmético e o geométrico são frequentemente utilizados, o primeiro pressupõe uma taxa de crescimento constante, partindo de dados já conhecidos, as Equações 1 e 2 apresentam sua formulação.

$$k_a = \frac{P_2 - P_1}{t_2 - t_1} \quad \text{Equação 1}$$

$$P = P_2 + k_a(t - t_2) \quad \text{Equação 2}$$

Sendo,

$k_a$  = constante de variação da população;

$P_2$  = população do último censo;

$P_1$  = população do penúltimo censo;

$P$  = população para o ano de projeção;

$t_2$  = ano do último censo;

$t_1$  = ano do penúltimo censo;

$t$  = ano da projeção.

O método geométrico considera o mesmo percentual de aumento populacional para iguais períodos de tempo. As variáveis continuam como definidas anteriormente, com exceção da  $k_g$ , calculada pela Equação 3. A Equação 4 ou 5 expressa a fórmula geral do método para estimar a população no ano  $t$ .

$$k_g = \frac{\log P_2 - \log P_1}{t_2 - t_1} \quad \text{Equação 3}$$

$$\log P = \log P_2 + k_g(t - t_1) \quad \text{Equação 4}$$

$$P = P_2 \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{t - t_2}{t_2 - t_1}} \quad \text{Equação 5}$$

Já, o método dos componentes demográficos tem como base a divisão da população em grupos homogêneos, para os quais são aplicadas suas taxas características de mortalidade, fecundidade e migração, formulando assim, a hipótese de comportamento futuro (ano t) a partir da tendência passada (ano  $t_0$ ), utilizando a Equação 6.

$$P = P_0 + (N - M) + (I - E) \quad \text{Equação 6}$$

Onde,

P = população no ano t;

$P_0$  = população no ano inicial  $t_0$ ;

N = nascimentos no período  $t - t_0$ ;

M = óbitos no período;

I = imigrantes no período;

E = emigrantes no período;

$N - M$  = crescimento vegetativo;

$I - E$  = crescimento social.

Quanto ao horizonte de projeto costuma-se adotar um período igual a 20 ou 30 anos.

Paralelamente aos métodos de projeção, Heller e Pádua (2010), citam a variável densidade populacional (D), em hab/ha. Tal variável é resultante da divisão da população a ser estimada pela área a ser ocupada. Assim, as densidades populacionais podem ser determinadas conforme o tipo de ocupação da região, conforme a Tabela 2.

**Tabela 2** – Densidade demográfica conforme tipo de ocupação

Tipos de ocupação	Densidade demográfica (hab/ha)
Zonas suburbanas ou semirurais	10 a 25
Áreas urbanas periféricas ou de residências de luxo	25 a 50
Zonas residencial popular e setores de habitação de classe média	50 a 75
Setores de casas geminadas de 1 a 2 pavimentos	75 a 100
Setores de casas geminadas de 2 a 3 pavimentos	100 a 150
Setores de edifícios de apartamentos de 3 a 5 pavimentos	150 a 250
Setores de edifícios de apartamentos de 6 a 15 pavimentos	250 a 800
Zonas comerciais	50 a 150
Zonas industriais	25 a 75

**Fonte:** Adaptado de Heller e Pádua (2010).

### 3.3 Vazões calculadas

O processo de dimensionamento de uma rede é executado com a finalidade de distribuir a quantidade de água necessária para abastecer os consumidores alcançados, estima-se essa demanda conforme o consumo médio por habitante - per capita. Brasil (2019) define tal consumo sendo a média aritmética, por habitante, utilizado para satisfazer o uso domésticos, comercial, público e industrial.

#### 3.3.1 Consumo *per capita*

BRASIL (2019) estimou o valor médio per capita por estado, macrorregião e nacional, disponibilizando os valores de consumo médio dos anos de 2016 e 2017, assim como a média considerando os anos de 2014, 2015 e 2016. Além da variação do ano de 2016 à 2017 e a variação média dos 3 anos (2014, 2015 e 2016). O Quadro 1 apresenta esses valores para o

estado do Mato Grosso, a macrorregião Centro-Oeste e o Brasil.

**Quadro 1:** Consumo médio per capita: média dos anos 2014, 2015 e 2016, médio em 2016 e 2017. Variação do consumo médio per capita entre 2016 e 2017, e entre 2014, 2015 e 2016.

Estado/ Macrorregião	l/hab.dia			Variação	
	Média (2014, 2015 e 2016)	2016	2017	2016/2017	Média (2014, 2015 e 2016)
Mato Grosso	164,2	167,4	160,4	-4,20%	-2,30%
Centro-Oeste	152,0	148,5	146,1	-1,60%	-3,90%
Brasil	156,7	154,1	153,6	-0,30%	-2,00%

**Fonte:** Adaptado de BRASIL (2019).

Comparando o estado do Mato Grosso ao Centro-Oeste e ao Brasil, observa-se um maior consumo em todos os anos pesquisados. Apesar da significativa redução de 4,20% ocorrida entre 2016 e 2017, o estado ainda supera o consumo nacional em 8,6% e 4,4% nos anos de 2016 e 2017 respectivamente.

Tsutiya (2006) atrela a variação de consumo observada à diversos fatores, destacando a elevação no preço da água como principal influenciador. Além das variações anuais, o consumo oscila consideravelmente conforme o horário e dia de uso. No dimensionamento a ponderação desses desvios se dá através dos coeficientes  $K_1$  e  $K_2$ .

### 3.3.2 Coeficientes $K_1$ e $K_2$

O coeficiente  $K_1$  representa a variação de consumo diário, sendo obtido pela relação entre o maior consumo diário verificado no período de um ano e o consumo médio diário desse mesmo ano. Assim, seu cálculo é dado pela Equação 7.

$$K_1 = \frac{\text{maior consumo diário no ano}}{\text{consumo médio diário no ano}} \quad \text{Equação 7}$$

A Tabela 3 apresenta os valores recomendados por diversos autores.

**Tabela 3:** Valores de  $K_1$  recomendados.

Autores (ano)	Coeficiente K1
Azevedo Netto (1973)	1,1 - 1,5
Yassuda e Nogami (1976)	1,2 - 2,0
Orsini (1996)	1,2
Azevedo Netto et al. (1998)	1,1 - 1,4

**Fonte:** Adaptado de Tsutiya (2006).

Já o coeficiente  $K_2$  expresso pela Equação 8 pondera as variações horárias, relacionando a maior vazão observada em um horário do dia e a vazão média desse mesmo dia. Assim como o anterior, é atrelado a esse, na Tabela 3, diversos valores conforme diferentes autores.

$$K_2 = \frac{\text{maior vazão em um horário do dia}}{\text{vazão média do dia}} \quad \text{Equação 8}$$

**Tabela 4:** Valores de K2 conforme diferentes autores.

Autores (ano)	Coefficiente K2
Azevedo Netto (1973)	1,5
Yassuda e Nogami (1976)	1,5 - 3,0
Orsini (1996)	1,5
Azevedo Netto et al. (1998)	1,5 - 2,3

**Fonte:** Adaptado de Tsutiya (2006).

### 3.3.3 Vazões para dimensionamento

Partindo dos critérios definidos anteriormente, estima-se a vazão a ser escoada pela rede. Para tanto, aplica-se a Equação 9.

$$Q = \frac{K_1 K_2 P q}{86.400} \quad \text{Equação 9}$$

Na qual,

$Q$  = vazão de distribuição (l/s);

$K_1$  = coeficiente do dia de maior consumo;

$K_2$  = coeficiente da hora de maior consumo;

$P$  = população para o ano de projeção (hab);

$q$  = consumo per capita (l/hab.dia);

A vazão de distribuição pode ser associada à área que abastecerá, ou ainda à extensão da rede projetada, denominando-se vazão específica, com o uso das Equações 10 e 11.

$$q_a = \frac{K_1 K_2 P q}{86.400 A} \quad \text{Equação 10}$$

$$q_m = \frac{K_1 K_2 P q}{86.400 L} \quad \text{Equação 11}$$

$q_a$  = vazão específica de distribuição por área (l/s.ha);

$q_m$  = vazão específica de distribuição por metro de tubulação (l/s.m);

$A$  = área (ha);

$L$  = comprimento da tubulação (m);

$K_1, K_2, P, q$  = definidos na Equação 9

Conforme Heller e Pádua (2010) a vazão de distribuição pode ser transformada em vazão específica por área, relacionando a densidade populacional e o consumo médio per capita de uma mesma área. Essa é dada pela Equação 12, adota-se os valores de densidade populacional citados na Tabela 2.

$$q_a = \frac{K_1 K_2 q D}{86.400} \quad \text{Equação 12}$$

$D$  = densidade demográfica (hab/ha).

## 3.4 Dimensionamento de rede

O método de dimensionamento varia de acordo com a configuração da rede definida pelo projetista, devendo atender aos critérios de pressão, velocidade e perda de carga admissíveis.

### 3.4.1 Rede ramificada

O processo de dimensionamento das redes ramificadas se inicia com a definição do traçado, determinando a direção que o fluxo seguirá, os nós pertencentes a rede e o

comprimento de cada trecho. Conhecido o valor das vazões, calculado pela Equação 9 e o sentido do fluxo, estabelecem-se os diâmetros, com o auxílio da Tabela 1. (Tsutiya, 2006). Com os diâmetros definidos, calcula-se a perda de carga conforme a Equação 13.

$$J = 10,643 \times Q^{1,85} \times C^{-1,85} \times D^{-4,87} \quad \text{Equação 13}$$

J = perda de carga unitária (m/m);

Q = vazão (m<sup>3</sup>/s);

C = coeficiente de rugosidade;

D = diâmetro (m).

O coeficiente de rugosidade varia de acordo com o material utilizado conforme indicado na Tabela 5.

**Tabela 5:** Coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams para diversos materiais

Material do tubo	Tempo de uso		
	Novo	Usado por 10 anos	Usado por 20 anos
Aço corrugado	60	-	-
Aço galvanizado	125	100	-
Chumbo	130	120	120
Cimento amianto	140	130	120
Cobre	130	135	130
Ferro Fundido	130	120	105
PVC	140	135	135

**Fonte:** Adaptado de Netto *et al.* (1998)

Por fim, estima-se a pressão considerando a cota piezométrica do reservatório que alimenta a rede e a cota do terreno. Se as pressões obtidas forem satisfatórias, o dimensionamento está completo, caso não o sejam, ou altera-se a cota do reservatório, ou estabelecem-se novos diâmetros. (Tsutiya, 2006)

### 3.4.2 Rede malhada

Segundo Nascimento (2009), as redes malhadas são situações que possuem complicações, pois não há um conhecimento prévio a respeito do sentido de escoamento das tubulações da rede. Dessa forma, há a possibilidade de solução através de métodos analíticos, desde que localizada a adversidade, adicionando-a ao custo mínimo de implantação de rede. Esta solução é, de fato, árdua, pois necessita da aquisição de um levantamento de dados. Porém, atualmente a utilização de otimizações econômicas para dimensionamento de sistemas de distribuição de água está cada dia mais aflorada. Conseqüentemente, o dimensionamento considerado ótimo será aquele que o custo de sua implantação, operação da rede e da estação elevatória obtenha uma tendência levada ao zero.

No dimensionamento das redes malhadas, ocasionalmente, são utilizadas soluções de aproximação, finalizando-se por tentativas de aproximação. Os métodos mais aderidos são definidos por Tsutiya (2006):

- i) Método do seccionamento;
- ii) Método de cálculos iterativos.

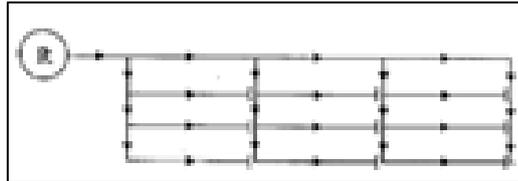
#### 3.4.2.1 Método do seccionamento

Conforme diz Riccaldone (2016), o método do seccionamento é utilizado para o

dimensionamento das redes de distribuição de pequenos municípios e para a constatação das linhas secundárias de redes com tamanhos superiores.

Conforme exibe a Figura 6, presume-se que sejam seccionados os circuitos fechados, tornando a rede malhada em uma rede ramificada ilusória. Sendo assim, os fluxos em que a água seguirá para atingir diferentes pontos da rede (denominados nós) são fixados, seguindo o pressuposto que para a chegada em cada ponto da rede, a água deve percorrer o trajeto mais curto possível.

**Figura 3:** Método de seccionamento.



**Fonte:** Tsutiya (2006).

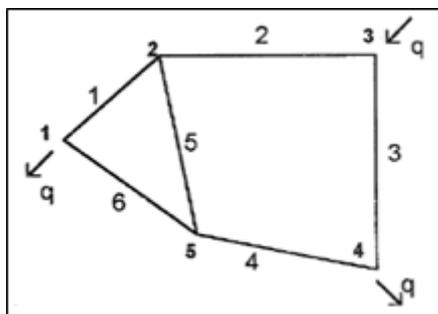
A forma de dimensionamento do método é semelhante ao dimensionamento das redes ramificadas, como visto no item 6.3.1. A diferença neste método é a verificação da hipótese dos seccionamentos aplicados, que afrontam os valores de cálculo mediante a condição das pressões resultantes nos pontos de seccionamento, pelos trajetos da rede ramificada fictícia, serem aproximadamente parecidas. Na prática, essa diferença não pode exceder 5% da média dos valores calculados.

Conforme o dimensionamento ocasione uma distribuição insatisfatória na pressão da rede ou uma altura exacerbada para o reservatório de distribuição, deve-se atribuir três soluções de modificações: i) o traçado; ii) o seccionamento adotado e iii) o diâmetro de certos trechos. Concluída as alterações, a rede deverá ser recalculada, chegando a uma solução adequada para o sistema.

#### 3.4.2.2 Método de cálculo iterativo

Conforme diz Furusawa (2011), na composição de uma rede em malha (Figura 7), o número de incógnitas no dimensionamento representa o número de tubos na rede, onde a solução das equações é igual ao número de variáveis. As regulamentações destas equações são dadas por três diretrizes:

**Figura 4:** Método de seccionamento.



**Fonte:** Tsutiya (2006)

Princípio da conservação de energia: A soma das perdas de carga no trajeto i-j em um circuito hidráulico deverá ser zero, com i representando o nó inicial e j o nó final.

$$\sum \Delta H_{i,j} = 0 \quad \text{Equação 14}$$

Princípio da continuidade: A somatória das vazões que entram no nó deve ser igual

ao somatório das vazões que difluem do nó, onde  $Q_{i,j}$  é a vazão no trecho entre o nó i-j e  $E_i$  a vazão centralizada no nó i.

$$\sum \Delta Q_{i,j} + E_i = 0 \quad \text{Equação 15}$$

Cada um dos itens de cada sub-circuito hidráulico deve satisfazer a lei de perdas de carga.

$$\sum \Delta H_{i,j} = r_{i,j} Q_{i,j}^m \quad \text{Equação 16}$$

Ressalta-se que, pela NBR 12218 (ABNT, 2017), os dimensionamentos das redes em malha têm de ser realizados por cálculos iterativos que asseguram resíduos máximos de vazão e de carga piezométrica de 0,1 l/s e 0,5 kPa, respectivamente.

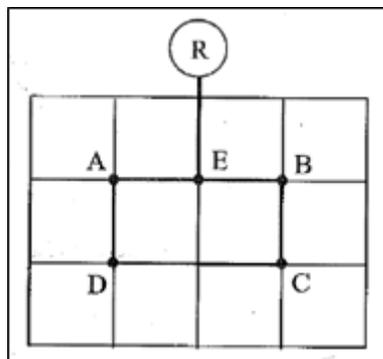
Quando há um sistema de equações não lineares, com uma quantidade razoável de variáveis, com diversas complexidades e dimensões, se tratando em sistemas de distribuição de água, é necessária a utilização de métodos de aproximações sucessivas, no cálculo de redes malhadas. Dentre as metodologias, destacam-se dois métodos, definidos por Tsutiya (2006):

- i) Método da correção de vazões (Hardy-Cross);
- ii) Método da linearização (matricial).

- **Método da correção de vazões (Hardy-Cross)**

Segundo Gomes (2004), o método, criado em 1936, promove os cálculos de maneira simplificada, adequando conceitos físicos facilitando a interpretação dos resultados instantaneamente. É utilizado no dimensionamento dos condutos principais de uma rede de distribuição malhada, conforme mostra a Figura 8.

**Figura 5:** Rede malhada



**Fonte:** Tsutiya (2006)

Já os condutores secundários são estabelecidos pelos diâmetros mínimos. No cálculo de redes em pequenos sistemas de abastecimento, os diâmetros mínimos são de 50 mm, e a distância máxima entre condutos principais varia entre 300 a 500 metros.

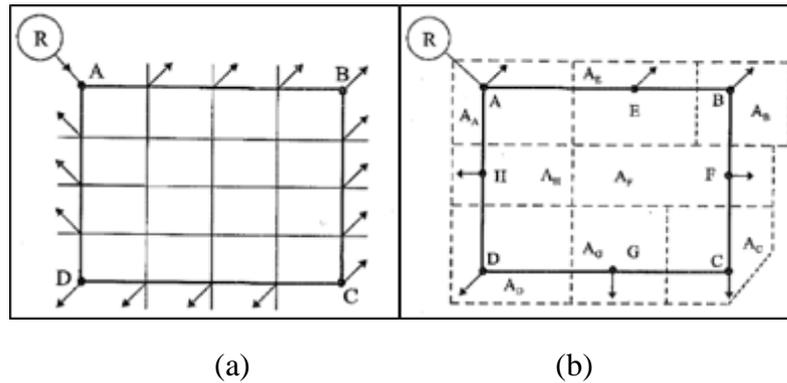
O método Hardy-Cross possui duas diretrizes de cálculos, segundo Tsutiya (2006):

- i) Por compensação das perdas de carga;
- ii) Por compensação das vazões.

O primeiro método, menos usual, é adotada uma distribuição de pressões ou perdas de carga por trecho, e em seguida, é calculada as vazões. No segundo método, pressupõe-se uma distribuição de vazões, para determinar as perdas de carga.

- **Fundamentos hidráulicos do método de Hardy-Cross**

Segundo Tsutiya (2006), há a realização da substituição em marcha da rede, por localizações em pontos convenientes, identificando as vazões concentradas nos nós, e considerando as vazões uniformes em cada trecho.



**Figura 6 (a-b):** Localização dos nós em redes malhadas  
**Fonte:** Tsutiya (2006)

A compensação de vazões presume a adoção inicial das vazões em cada trecho dos anéis, com base nas vazões centralizadas nos nós. Os requisitos necessários para a distribuição de vazões sejam estipulados são os seguintes itens, conforme demonstrado por Justino e Nogueira (2013):

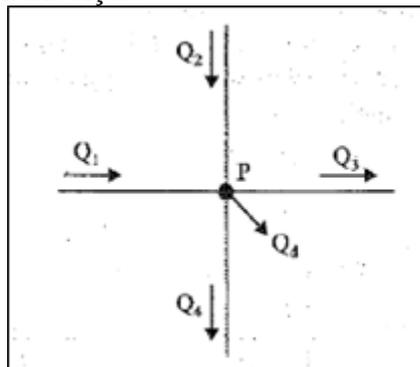
i) O somatório algébrico das vazões tende a ser nulo, em um nó aleatório da rede. A Figura 10 ilustra as vazões afluentes e efluentes no nó denominado P, onde positivas (+) as vazões consideradas afluentes e negativas (-) as vazões consideradas efluentes, seguindo a ordem dos quadrantes, respeitando o balanço de vazões na Equação 17.

$$\Sigma Q = Q_1 + Q_2 - Q_3 - Q_4 - Q_d = 0$$

Equação 17

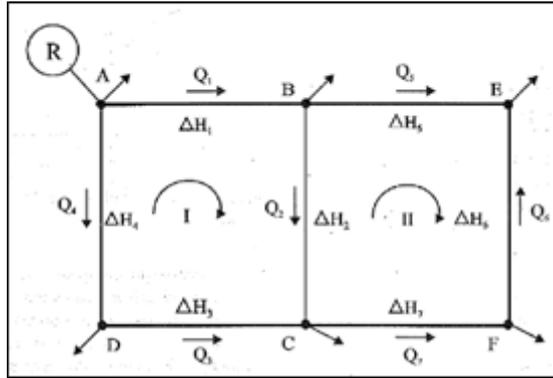
Onde:

$Q_d$  é a vazão de distribuição.



**Figura 7:** Vazões afluentes e efluentes ao nó P  
**Fonte:** Tsutiya (2006)

ii) Em um circuito fechado da rede malhada, o somatório algébrico é nulo. A Figura 11 demonstra dois anéis, onde se considera o sentido horário como positivo, de forma que as perdas de carga e as vazões sejam positivas se seguirem a mesma orientação, ou negativas, se adotadas ao sentido anti-horário. As Equações 18 e 19 exibem o balanço de sinais dos dois anéis.



**Figura 8:** Convenções utilizadas para as equações de perda de carga

Fonte: Tsutiya (2006)

$$\text{Anel I: } \sum \Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 - \Delta H_3 - \Delta H_4 = 0 \quad \text{Equação 18}$$

$$\text{Anel II: } \sum \Delta H = -\Delta H_2 + \Delta H_5 - \Delta H_6 - \Delta H_7 = 0 \quad \text{Equação 19}$$

Para calcular a perda de carga em cada trecho na rede, segundo Justino e Nogueira (2013), é utilizada a equação na forma de  $\Delta H = rQ^n$ , onde pode ser utilizada ou a Fórmula Universal ou a Fórmula de Hazen-Williams (Equações 20, 21, 22 e 23):

$$\text{Fórmula Universal: } \Delta H = \frac{8 f L}{\pi^2 G D^5} Q^2 \quad \text{Equação 20}$$

$$\text{Fórmula de Hazen-Williams: } \Delta H = \frac{1}{(0,2785C)^{1,85}} \frac{L}{D^{4,87}} Q^{1,85} \quad \text{Equação 21}$$

Sendo:

$$r = \frac{8 f L}{\pi^2 G D^5} \text{ e } n = 2 \text{ (Fórmula Universal)} \quad \text{Equação 22}$$

$$r = \frac{1}{(0,2785C)^{1,85}} \frac{L}{D^{4,87}} \text{ e } n = 1,85 \text{ (Fórmula Hazen-Williams)} \quad \text{Equação 23}$$

### • Método da linearização

Martins (2006) mostrou o dimensionamento de redes malhadas em sistemas de distribuição de água para regime permanente por meio do método da linearização. Neste, as equações que representam a perda de carga em circuitos são linearizadas para uma solução algébrica com a aplicação de métodos matriciais.

A aplicação do método consiste na resolução de todas as equações do sistema ao mesmo tempo, a cada iteração. A perda de carga em cada uma delas é aproximada como função linear da vazão, como mostra as Equações 24 e 25.

$$\Delta H_{i,j} = f_i \frac{L * |Q_{i,j}|}{D * 2g * A_f^2} Q = k_i * Q_{i,j} \quad \text{Equação 24}$$

$$k_i = f_i \frac{L * |Q_{i,j}|}{D * 2g * A_f^2} \quad \text{Equação 25}$$

Sendo:

$\Delta H_{i,j}$  = perda de carga no trajeto, com i representando o nó inicial e j representando o nó final (m);

$f_i$  = coeficiente de atrito;

$L$  = comprimento do traçado (m);

$D$  = diâmetro da tubulação (m);

$Q_{i,j}$  = vazão ( $m^3/s$ );

$g$  = aceleração da gravidade ( $m/s^2$ )

$A_i$  = Área do tubo ( $m^2$ )

### 3.5 Materiais recomendados

Existem no mercado as opções de tubulações de ferro fundido dúctil, tubos de PVC, tubos de polietileno (PE), polipropileno (PP) e de concreto armado.

Os tubos de ferro fundido dúctil apresentam vida útil prolongada, porém, não são mais utilizados com tanta frequência em redes de abastecimento. Os tubos de PVC possuem limitações com relação às pressões, aderindo ao máximo cerca de 100 m.c.a., porém apresentam alta resistência química, baixo custo e resistência a corrosão elevada. Os tubos de polietileno e polipropileno possuem leveza e elevada resistência química, sendo suas variações reforçadas com fibra de vidro mais resistentes às pressões internas. Os tubos de concreto armado são colocados especialmente em adutoras de grande diâmetro, para galerias de águas pluviais de escoamento livre, com baixa pressão, sendo moldadas in loco (Kuroda e Pádua, 2006)

As principais normas relativas a tubos e conexões de PVC são: NBR 5.647-1, NBR 5.647-2, NBR 5.647-3, NBR 5.647-4, NBR 7.665. Assim como os tubos de PVC, os tubos de PE e PP são regidos por algumas normas técnicas, como as ISO (R 16; 1.183; 3.607; 3.663; 4.427; 4.437; 4.440; 6.447), DIN (3.535; 3.543; 3.544; 8.074; 8.075; 16.963; 19.533) e DVGW V0608, e são distribuídos conforme a Tabela 6, para utilização no projeto de pesquisa.

Tabela 6 – Informações gerais sobre tipos de tubulações

Características	Material				
	PVC		Polietileno		PP
	PBA	DEFoF o	PEMD	PEAD	
Coefficiente de Rugosidade C (a)	160	160	150	150	150
Diâmetros Usuais (mm)	50-180	100-500	16-1600		20-500
Pressão de serviço (MPa)	0,6-1,0	1	0,2-2		0,6-1
Massa específica ( $g/cm^3$ )	1,4-1,45		0,944	0,954	0,9
Resistência à pressão interna	Baixa		Média		Baixa
Resistência ao choque	Baixa		Baixa		Baixa
Módulo de elasticidade à tração (GPa)	2,5-3,5		0,6	0,9	1,3
Coefficiente de Poisson	0,46		$\geq 600$	$\geq 350$	$\geq 50$
Alongamento a ruptura (%)	-		$\geq 600$	$\geq 350$	$\geq 50$
Aplicação em linha de recalque	Evitar		Evitar		Evitar
Resistência a solos ácidos	Alta		Alta		Alta
Resistência a cargas externas	Baixa		Baixa		Baixa
Coefficiente de dilatação linear ( $^{\circ}m/C-1$ )	$(5 \text{ a } 15) \times 10^{-5}$		$5,5 \times 10^{-2}$	$4,7 \times 10^{-2}$	$4,0 \times 10^{-2}$
Resistência à temperatura ( $^{\circ}C$ )	-		70		90 (120)
Vazamentos	Tem		Pouco		Pouco
Arrebentamentos	Pouco		Muito pouco		Muito pouco
Resistência à corrosão	Alta		Alta		Alta
Consertos	Fácil		Relativamente fácil		Relativ. fácil

Assentamento e recobrimento	Cuidados especiais	Cuidados especiais	Cuidados especiais
Montagem	Relativamente fácil	Solda relativamente fácil	Solda Relativamente Fácil
Travessia de córregos, rios e sifão invertido	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado

PBA: Ponta, bolsa e anel de borracha; DEFoFo: Diâmetro externo de ferro fundido; PEMD: polietileno de média densidade; PEAD: polietileno de alta densidade; PP: Polipropileno. C (a): C da Equação Hazen-Williams para tubos novos; (b) k da

Fonte: Adaptado de Alambert Jr. (1997).

Tais materiais serão avaliados conforme suas resistências e características na pesquisa a ser elaborada, alinhando com o custo para a melhor implantação da localidade exposta.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Análise de dados

Com intuito para definir qual seria a rede a ser projetada, visando a viabilidade técnica no abastecimento de água tratada tendo como objetivo aspectos econômicos e qualitativos, foram entrevistados os consumidores, empreiteira e operadores da rede, assim como realização de revisões bibliográficas.

Para a pesquisa com os consumidores, foram escolhidos os moradores do próprio empreendimento Residencial Paris, com média de idade de 30 a 69 anos, sendo a maioria mulheres, os quais foram questionados através de duas perguntas objetivas.

A primeira pergunta, buscou saber sobre a qualidade da água consumida, perguntado se era perceptível algum gosto na água. Os resultados obtidos no local de fluxo contínuo de água, identificou-se que 37 % notam gosto na água e os que residem nas extremidades das redes 63 % relataram gosto forte, segundo anexo 02.

O motivo pelo qual o percentual de moradores nas extremidades das redes relataram ter sentido gosto na água mais forte se explica, devido ao acúmulo de agentes químicos.

A segunda pergunta exposta aos moradores, se baseava no fornecimento de água, onde não foi identificado nenhum relato de falta de abastecimento de água no empreendimento. O motivo pode ser explicado pelo fato das habitações serem recentes e não ter tido manutenções na rede.

A TRANSTERRA TERRA PLANAGEM E PAVIMENTAÇÃO, empreiteira, representada pelo Eng. Rosivaldo Rodrigues de Souza, situada no município de Sinop, a qual, contribuiu com o estudo. Em relação a execução das redes de distribuição de água potável, “Qual tipo de rede mais viável para execução?”

Segundo ele, visando os quesitos técnicos e econômicos a rede ramificada seria economicamente mais viável, por ter uma economia no assentamento, mão de obra e matérias.

Para os operadores da rede, o entrevistado foi o Sr. Flávio, supervisor de campo da concessionária de saneamento básico na cidade de Sinop, AEGEA. Referente ao tema sobre redes ramificadas e malhadas, o mesmo relata sobre a preferência na escolha das redes malhadas devido ao fato dela possibilitar poder abastecer qualquer ponto de rede por mais de um caminho e sua flexibilidade nos acessos para manutenção. Ainda contribuiu, dizendo que a escolha desse modelo de rede proporciona maior qualidade ao consumidor por ter uma pressão maior, diminuindo o acúmulo de resíduos.

## 4.2 Custos de implantação

A fins de elaborar um orçamento comparativo, foram orçadas as redes já implantadas no Residencial Paris, e depois foi estabelecido um modelo de rede malhada formado anéis ou blocos, conforme projeto (anexo 03 e anexo 04) e orçado novamente. Os valores foram referenciados pela SINAP, conforme metodologia imposta pelo trabalho.

No orçamento da rede ramificada, conforme (anexo 05) o valor estimado para implantação foi de R\$ 872.822,36 (oitocentos e setenta e dois mil e oitocentos e vinte e dois reais e trinta e seis centavos) e para a implantação de malhada R\$ 949.180,88 (novecentos e quarenta e nove mil e cento e oitenta reais e oito centavos) conforme (anexo 06).

## 5 CONCLUSÃO

O trabalho buscou estudo bibliográfico e os métodos de pesquisa e os interesses de indivíduos diretamente afetados de formas diferentes pela água, os quais são os consumidores, executante e operador.

A água é um importante agente de doenças infecciosas, portanto foi realizado uma pesquisa com os consumidores afim de levantar e expor situações, das quais foram identificadas como gosto forte na água, o motivo se explica pelo acúmulo de agentes químicos na interrupção de rede. Isso demonstra que a rede ramificada sem uma manutenção adequada pode oferecer riscos a população.

Em relação a empreiteira que executa, foi constatado que há economia na execução da rede ramificada, portanto a fins de comparativo, foram elaborados dois orçamentos, um com a rede já posta do empreendimento e outra no estilo de rede malhada no formato de blocos, a diferença de custo foi de R\$ 76.358,52 reais.

Em contrapartida com todos os pontos de vistas analisados ao longo do projeto, entende-se que o profissional não deve se ater somente á quesitos orçamentários, se dispondo de todos os pontos positivos e negativos de cada tipo de método.

Por fim, concluiu-se que a melhor alternativa para abastecer o Residencial Paris, analisando todos os parâmetros estabelecidos, seria a rede do tipo malhada em virtude de ser um método que garante mais qualidade durante o abastecimento de água e facilidade na sua operação e manutenção.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALAMBERT Jr., J. N. Manual prático de tubulações para abastecimento de água. Rio de Janeiro: ABES, 1997. 176 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12586**: Cadastro de sistema de abastecimento de água. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12211**: Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água. Rio de Janeiro. 1992. 14 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12218**: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro. 2017. 4 p.

BRASIL. Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**. Infraestrutura social e urbana no Brasil: subsídios para uma agenda de pesquisa e formulação de políticas públicas. Brasília: Ipea, 2010a. v. 2. 912 p.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. **Agência Nacional das Águas**. Atlas Brasil: Abastecimento Urbano de Água: resultados por estado. Brasília: Engecorps/Cobrape, 2010b. 2 v.: il.

\_\_\_\_\_. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Secretaria Nacional de Saneamento – SNS**. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2017. Brasília: SNS/MDR, 2019. 226 p.: il. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2017>>. Acesso em: 05 maio 2019.

CRANE CO. **Flow of Fluids: through valves, fittings, and pipe**. New York. 1982.

FERREIRA, A. L. **Relatório de Atividade Profissional**: Projetista de Sistemas de Hidráulica Urbana. 2015. 136 f. Dissertação (Mestrado) – Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2015.

FORMIGA, K. T. M.; CHAUDHRY, F. H. Modelos de análise hidráulica de redes de distribuição de água considerando demanda dirigida pela pressão e vazamentos. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 13, n. 2, p.153-162, abr/jun. 2008.

FURUSAWA, R. T. **Contribuição ao dimensionamento de rede de distribuição de água por critério de custo global**. 2011. 207 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

GOMES, H. P.; FORMIGA, K. T. M. PNL2000 - Método prático de dimensionamento econômico de redes malhadas de abastecimento de água. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 6, n. 4, p.91-108, out/dez. 2001.

\_\_\_\_\_. Sistemas de Abastecimento de Água – Dimensionamento Econômico e Operação de Redes e Elevatórias. 2ª Edição. João Pessoa: UFPB, 2004, 238 p.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. de (Org.). **Abastecimento de água para consumo humano**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2010. 2 v.

JUSTINO, José Damião; NOGUEIRA, Élcio. Estudo e análise de um sistema de distribuição de água: aplicação do método de Hardy Cross utilizando a equação universal de Darcy-Weisbach e o método de Hazen-Williams. Cadernos UniFOA. Ed. 22. Ago. 2013.

KURODA, Emília Kiyomi; PÁDUA, Valter Lúcio de. **Abastecimento de Água para Consumo**. Belo Horizonte, UFMG. 2006. 859 p.

LIMA, Fagner Alves de. **Dimensionamento de rede de distribuição de água utilizando o programa de computador EPANET**: Estudo de caso em Ji-Paraná - RO. 2015. 63 f. TCC

(Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Rondônia, Ji-paraná, 2015.

MARTINS, José Rodolfo Scarati. **Método da Linearização**. In: Abastecimento de Água. 3ª Edição. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2006, p. 416-429.

NASCIMENTO, Rosemary Batista do. **Análise e gerenciamento de redes de distribuição de água com suporte em Sistemas de Informações Geográficas (SIG)**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Cartográfica, 2009.

NETTO, A. et al. **Manual de Hidráulica**. 8. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1998.

NETTO, José Martiniano de Azevedo et al. **Manual de Hidráulica**. 8. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1998.

PINNTO, M. R. et al. Dimensionamento econômico otimizado de redes de distribuição de água considerando custos de manutenção. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [s.l.], v. 22, n. 1, p.145-153, 27 out. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <<http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522016140349>>.

RICCALDONE, Diego. **Comparação de dimensionamento de redes de distribuição de água por modelos computacionais**. Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Civil. 147 p.

SAIANI, Carlos César Santejo. **DÉFICIT DE ACESSO AOS SERVIÇOS DE SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL**. 2006. 53 f. Disponível em: <[http://www.ipea.gov.br/ipeacaixa/premio2006/docs/trabpremiados/IpeaCaixa2006\\_Profissional\\_MH02\\_tema01.pdf](http://www.ipea.gov.br/ipeacaixa/premio2006/docs/trabpremiados/IpeaCaixa2006_Profissional_MH02_tema01.pdf)>. Acesso em: 21 abr. 2019

SAIANI, Carlos César Santejo; TONETO JÚNIOR, Rudinei. Evolução do acesso a serviços de saneamento básico no Brasil (1970 a 2004). **Economia e Sociedade**, Campinas, v. 19, n. 1, p.79-106, abr. 2010.

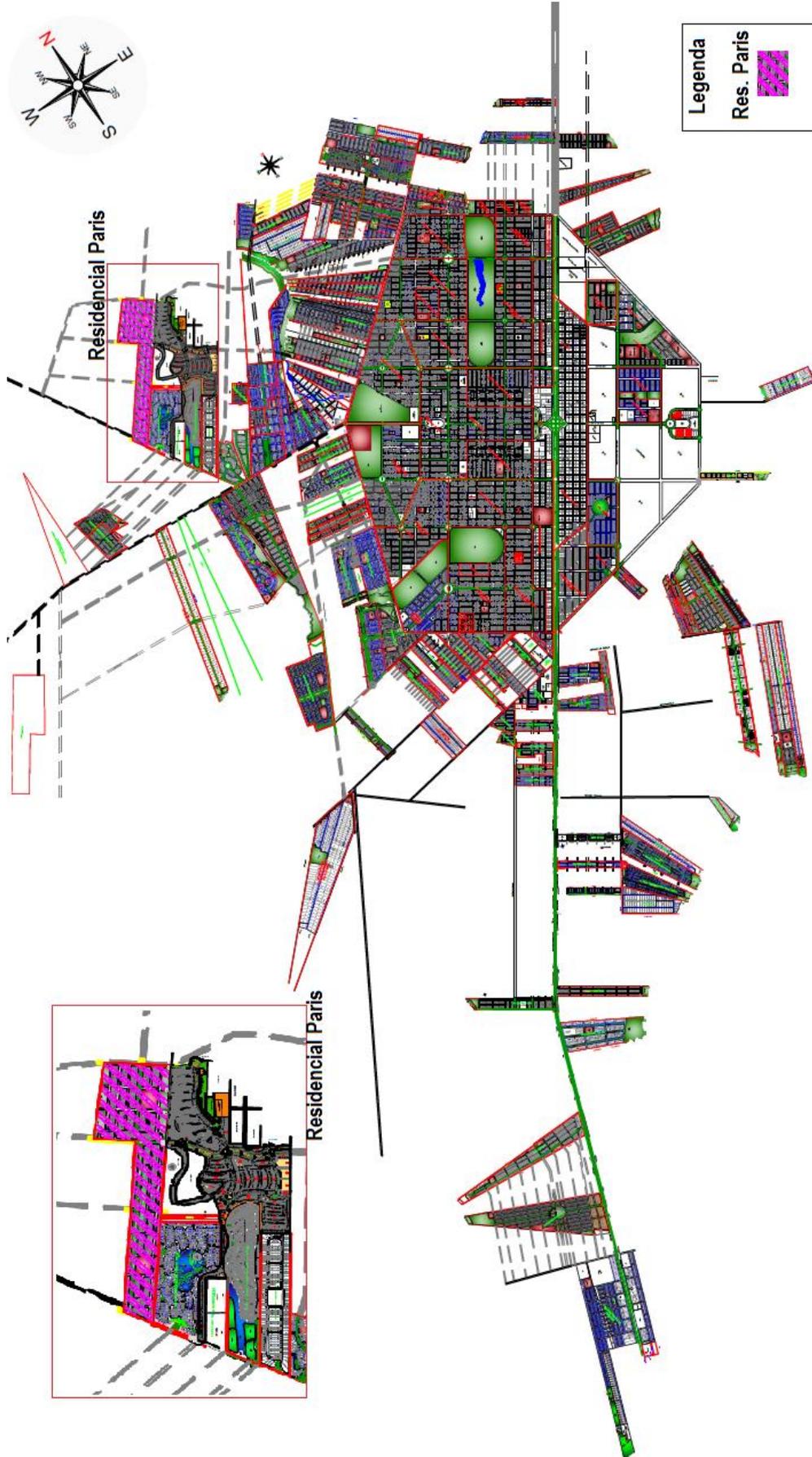
STREETER, V. L.; WYLIE, E.B. **Mecânica dos Fluidos**. McGraw-Hill do Brasil São Paulo-SP. 1982.

SOUSA, J. J. O.; CUNHA, M. da C. M. O. Dimensionamento otimizado de redes malhadas de distribuição de água. **Instituto Superior de Engenharia de Coimbra**, Coimbra. 1999.

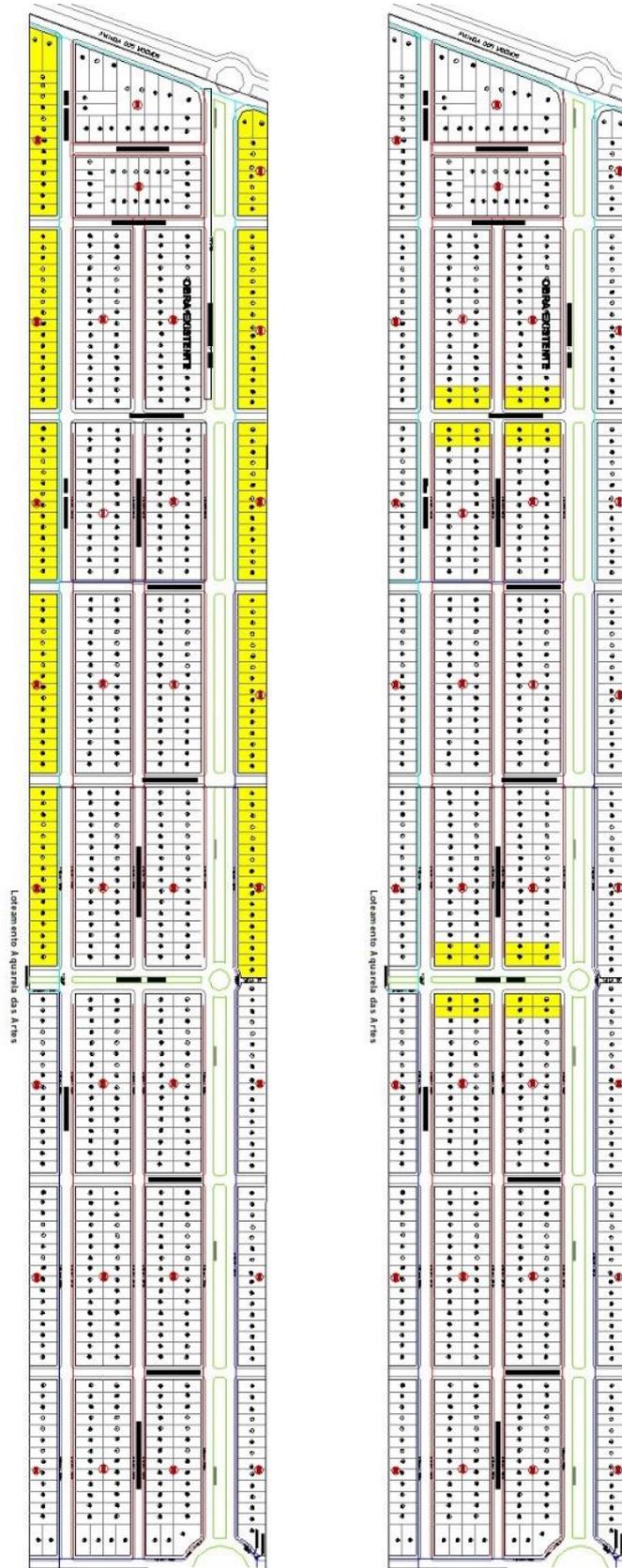
TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água**. 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. 643 p.

WHITE, F. M. **Mecânica dos Fluidos**. AMGH Porto Alegre- RS. 2011.

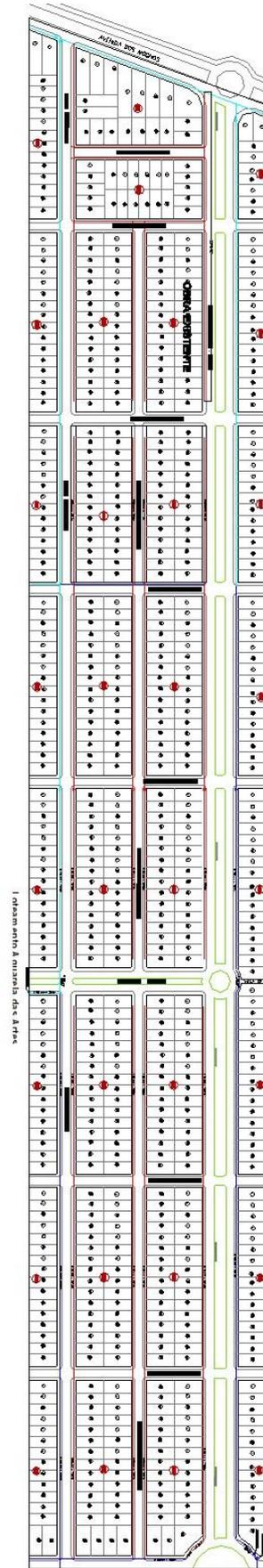
**ANEXO 1 - Croqui de localização do Residencial Paris no município de Sinop.**



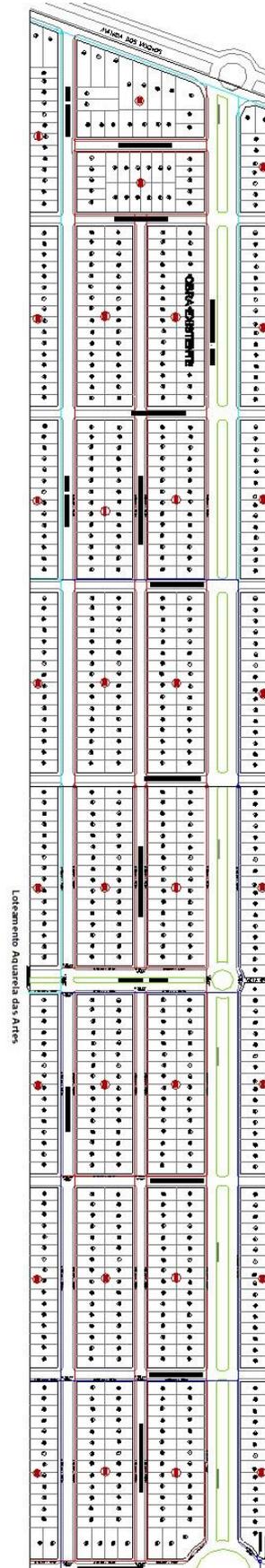
### ANEXO 2 – Localização das residências entrevistadas.



### ANEXO 3 – Projeto de rede Ramificada



### ANEXO 4- Projeto de rede Malhada



## ANEXO 05 – Orçamento rede Ramificada

PLANILHA DE ORÇAMENTO					
OBRA:		SINOP / REDE ABASTECIMENTO			
LOCAL:		RESIDENCIAL PARIS - 2ª ETAPA		DATA: 21/07/2020	
REF.:		PROJETO EXECUTIVO		PREÇO julho-20	
OBS.:		Orçamento valido por 01 (um) ano		Ref. Sinapi - Maio 2019	
REFERÊNCIA	DESCRIÇÃO	UNID.	QUANT.	R\$ UNIT.	R\$ TOTAL
<b>1.0</b>	<b>REDE DE ÁGUA</b>				
<b>1.1</b>	<b>SERVIÇOS</b>				
00099063	LOCAÇÃO DE REDES DE ÁGUA OU DE ESGOTO	m	10.214,00	2,90	29.620,60
00088258	CADASTRISTA DE REDES DE AGUA E ESGOTO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	5,00	14,25	71,25
				<b>Total Fase</b>	<b>29.691,85</b>
<b>1.2</b>	<b>MOVIMENTO DE TERRA</b>				
00097121	ESCAVAÇÃO MECANIZADA DE VALA COM PROFUNDIDADE ATÉ 1,5 M (MÉDIA ENTRE MONTANTE E JUSANTE/UMA COMPOSIÇÃO POR TRECHO) COM RETROESCAVADEIRA (CAPACIDADE DA CAÇAMBA DA RETRO: 0,26 M3 / POTÊNCIA: 88 HP), LARGURA DE 0,8 M A 1,5 M, EM SOLO DE 1A CATEGORIA, LOCAIS COM BAIXO NÍVEL DE INTERFERÊNCIA. AF_01/2015	m²	7.354,08	1,89	13.899,21
00094097	PREPARO DE FUNDO DE VALA COM LARGURA MENOR QUE 1,5 M, EM LOCAL COM NÍVEL BAIXO DE INTERFERÊNCIA. AF_06/2016	m²	6.128,40	4,41	27.026,24
00093374	REATERRO MECANIZADO DE VALA COM RETROESCAVADEIRA (CAPACIDADE DA CAÇAMBA DA RETRO: 0,26 M³ / POTÊNCIA: 88 HP), LARGURA ATÉ 0,8 M, PROFUNDIDADE ATÉ 1,5 M, COM SOLO (SEM SUBSTITUIÇÃO) DE 1ª CATEGORIA EM LOCAIS COM ALTO NÍVEL DE INTERFERÊNCIA. AF_04/2016	m²	6.128,40	20,06	122.935,70
00094342	ATERRO MANUAL DE VALAS COM AREIA PARA ATERRO E COMPACTAÇÃO MECANIZADA. AF_05/2016	m²	2.426,85	71,74	174.101,96
74010001	CARGA E DESCARGA MECANICA DE SOLO UTILIZANDO CAMINHÃO BASCULANTE 5,0M3/11T E PA CARREGADEIRA SOBRE PNEUS * 105 HP * CAP. 1,72M3.	m²	7.966,92	1,69	13.464,09
00097914	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 6 M3, EM VIA URBANA PAVIMENTADA, DMT ATÉ 30 KM (UNIDADE: M3XKM). AF_01/2018	m³xkm	79.669,20	1,62	129.064,10
				<b>Total Fase</b>	<b>480.491,32</b>
<b>1.3</b>	<b>ASSENTAMENTOS</b>				
00097121	ASSENTAMENTO DE TUBO DE PVC PBA PARA REDE DE ÁGUA, DN 50 MM, JUNTA ELÁSTICA INTEGRADA, INSTALADO EM LOCAL COM NÍVEL ALTO DE INTERFERÊNCIAS (NÃO INCLUI FORNECIMENTO). AF_11/2017	m	6.241,00	1,89	11.795,49
00097123	ASSENTAMENTO DE TUBO DE PVC PBA PARA REDE DE ÁGUA, DN 100 MM, JUNTA ELÁSTICA INTEGRADA, INSTALADO EM LOCAL COM NÍVEL ALTO DE INTERFERÊNCIAS (NÃO INCLUI FORNECIMENTO). AF_11/2017	m	2.136,00	3,32	7.091,52
00097127	ASSENTAMENTO DE TUBO DE PVC DEFOFO OU PRFV OU RPVC PARA REDE DE ÁGUA, DN 150 MM, JUNTA ELÁSTICA INTEGRADA, INSTALADO EM LOCAL COM NÍVEL ALTO DE INTERFERÊNCIAS (NÃO INCLUI FORNECIMENTO). AF_11/2017	m	1.837,00	3,32	6.098,84
9300015	INTERLIGACAO DE REDE PVC DN 150 A 400	unid.	4,00	94,67	378,68
				<b>Total Fase</b>	<b>6.477,52</b>
<b>1.4</b>	<b>MATERIAIS</b>				
00036084	TUBO PVC PBA JEI, CLASSE 12, DN 50 MM, PARA REDE DE AGUA (NBR 5647)	m	6.241,00	12,01	74.954,41
00036374	TUBO PVC PBA JEI, CLASSE 15, DN 100 MM, PARA REDE DE AGUA (NBR 5647)	m	2.136,00	48,63	103.873,68
00009828	TUBO PVC DEFOFO, JEI, 1 MPA, DN 150 MM, PARA REDE DE AGUA (NBR 7665)	m	1.837,00	91,03	167.222,11
00001845	CURVA PVC PBA, JE, PB, 90 GRAUS, DN 50 / DE 60 MM, PARA REDE AGUA (NBR 10351)	unid.	6,00	26,08	156,48
00001828	CURVA PVC PBA, JE, PB, 90 GRAUS, DN 100 / DE 110 MM, PARA REDE AGUA (NBR 10351)	unid.	5,00	119,54	597,70
00007048	TE, PVC PBA, BBB, 90 GRAUS, DN 50 / DE 60 MM, PARA REDE AGUA (NBR 10351)	unid.	32,00	18,01	576,32
00041892	TE, PVC PBA, BBB, 90 GRAUS, DN 100 / DE 110 MM, PARA REDE AGUA (NBR 10351)	unid.	28,00	83,46	2.336,88
00011378	TE DE REDUCAO, PVC PBA, BBB, JE, DN 100 X 50 / DE 110 X 60 MM, PARA REDE AGUA (NBR 10351)	unid.	7,00	66,32	464,24
00003837	LUVA SIMPLES, PVC PBA, JE, DN 100 / DE 110 MM, PARA REDE AGUA (NBR 10351)	unid.	5,00	32,62	163,10
00003845	LUVA SIMPLES, PVC PBA, JE, DN 50 / DE 60 MM, PARA REDE AGUA (NBR 10351)	unid.	10,00	11,92	119,20
00001207	CAP, PVC PBA, JE, DN 100 / DE 110 MM, PARA REDE DE AGUA (NBR 10351)	unid.	2,00	5,88	11,76
00001206	CAP, PVC PBA, JE, DN 50 / DE 60 MM, PARA REDE DE AGUA (NBR 10351)	unid.	4,00	-	-
00000325	ANEL BORRACHA, PARA TUBO/CONEXAO PVC PBA, DN 50 MM, PARA REDE AGUA	unid.	3,00	2,87	8,61
00000328	ANEL BORRACHA, PARA TUBO/CONEXAO PVC PBA, DN 100 MM, PARA REDE AGUA	unid.	8,00	7,40	59,20
33007118	TE FERRO FUNDIDO COM BOLSAS, DN 150X50 - T JE BBB	unid.	8,00	351,00	2.808,00
	TE FERRO FUNDIDO COM BOLSAS DN 150X100 - T JE BBB (000636)	unid.	2,00	303,07	606,14
33010210	REGISTRO COM BOLSAS/CABECOTE, COM CUNHA DE BORRACHA PARA TUBOS DE FERRO FUNDIDO TIPO EURO 25 DN 100 - REUROBC (010773)	unid.	2,00	585,90	1.171,80
33010315	REGISTRO COM BOLSAS/VOLANTE, COM CUNHA DE BORRACHA PARA TUBOS DE FERRO FUNDIDO, TIPO EURO 25, DN 150 - REUROBV (010874)	unid.	1,00	1.032,04	1.032,04
				<b>Total Fase</b>	<b>356.161,67</b>
					<b>872.822,36</b>
<b>TOTAL DA OBRA</b>					<b>R\$ 872.822,36</b>

## ANEXO 6 – Orçamento rede Malhada

PLANILHA DE ORÇAMENTO					
OBRA:	SINOP / REDE ABASTECIMENTO				
LOCAL:	RESIDENCIAL PARIS - 2ª ETAPA			DATA:	21/07/2020
REF.:	PROJETO EXECUTIVO			PREÇO	julho-20
OBS.:	Orçamento valido por 01 (um) ano			Ref.:	Sinapi - Maio 2019
REFERÊNCIA	DESCRIÇÃO	UNID.	QUANT.	R\$ UNIT.	R\$ TOTAL
<b>1.0</b>	<b>REDE DE ÁGUA</b>				
<b>1.1</b>	<b>SERVIÇOS</b>				
00099063	LOCAÇÃO DE REDES DE ÁGUA OU DE ESGOTO	m	11.167,00	2,90	32.384,30
00088258	CADASTRISTA DE REDES DE AGUA E ESGOTO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	5,00	14,25	71,25
				<b>Total Fase</b>	<b>32.455,55</b>
<b>1.2</b>	<b>MOVIMENTO DE TERRA</b>				
00097121	ESCAVAÇÃO MECANIZADA DE VALA COM PROFUNDIDADE ATÉ 1,5 M (MÉDIA ENTRE MONTANTE E JUSANTE/UMA COMPOSIÇÃO POR TRECHO) COM RETROESCAVADEIRA (CAPACIDADE DA CAÇAMBA DA RETRO: 0,26 M3 / POTÊNCIA: 88 HP), LARGURA DE 0,8 M A 1,5 M, EM SOLO DE 1ª CATEGORIA, LOCAIS COM BAIXO NÍVEL DE INTERFERÊNCIA. AF_01/2015	m³	8.040,24	1,89	15.196,05
00094097	PREPARO DE FUNDO DE VALA COM LARGURA MENOR QUE 1,5 M, EM LOCAL COM NÍVEL BAIXO DE INTERFERÊNCIA. AF_06/2016	m³	6.700,20	4,41	29.547,88
00093374	REATERRO MECANIZADO DE VALA COM RETROESCAVADEIRA (CAPACIDADE DA CAÇAMBA DA RETRO: 0,26 M³ / POTÊNCIA: 88 HP), LARGURA ATÉ 0,8 M, PROFUNDIDADE ATÉ 1,5 M, COM SOLO (SEM SUBSTITUIÇÃO) DE 1ª CATEGORIA EM LOCAIS COM ALTO NÍVEL DE INTERFERÊNCIA. AF_04/2016	m³	6.700,20	20,06	134.406,01
00094342	ATERRO MANUAL DE VALAS COM AREIA PARA ATERRO E COMPACTAÇÃO MECANIZADA. AF_05/2016	m³	2.653,28	71,74	190.346,25
74010/001	CARGA E DESCARGA MECANICA DE SOLO UTILIZANDO CAMINHÃO BASCULANTE 5,0M3/11T E PA CARREGADEIRA SOBRE PNEUS * 105 HP * CAP. 1,72M3.	m³	8.710,26	1,69	14.720,34
00097914	TRANSPORTE COM CAMINHÃO BASCULANTE DE 6 M3, EM VIA URBANA PAVIMENTADA, DMT ATÉ 30 KM (UNIDADE: M3XKM). AF_01/2018	m³xkm	87.102,60	1,62	141.106,21
				<b>Total Fase</b>	<b>525.322,75</b>
<b>1.3</b>	<b>ASSENTAMENTOS</b>				
00097121	ASSENTAMENTO DE TUBO DE PVC PBA PARA REDE DE ÁGUA, DN 50 MM, JUNTA ELÁSTICA INTEGRADA, INSTALADO EM LOCAL COM NÍVEL ALTO DE INTERFERÊNCIAS (NÃO INCLUI FORNECIMENTO). AF_11/2017	m	6.728,00	1,89	12.715,92
00097123	ASSENTAMENTO DE TUBO DE PVC PBA PARA REDE DE ÁGUA, DN 100 MM, JUNTA ELÁSTICA INTEGRADA, INSTALADO EM LOCAL COM NÍVEL ALTO DE INTERFERÊNCIAS (NÃO INCLUI FORNECIMENTO). AF_11/2017	m	2.602,00	3,32	8.638,64
00097127	ASSENTAMENTO DE TUBO DE PVC DEFOFO OU PRFV OU RPVC PARA REDE DE ÁGUA, DN 150 MM, JUNTA ELÁSTICA INTEGRADA, INSTALADO EM LOCAL COM NÍVEL ALTO DE INTERFERÊNCIAS (NÃO INCLUI FORNECIMENTO). AF_11/2017	m	1.837,00	3,32	6.098,84
9300015	INTERLIGACAO DE REDE PVC DN 150 A 400	unid.	4,00	94,67	378,68
				<b>Total Fase</b>	<b>6.477,52</b>
<b>1.4</b>	<b>MATERIAIS</b>				
00036084	TUBO PVC PBA JEI, CLASSE 12, DN 50 MM, PARA REDE DE AGUA (NBR 5647)	m	6.728,00	12,01	80.803,28
00036374	TUBO PVC PBA JEI, CLASSE 15, DN 100 MM, PARA REDE DE AGUA (NBR 5647)	m	2.602,00	48,63	126.535,26
00009828	TUBO PVC DEFOFO, JEI, 1 MPA, DN 150 MM, PARA REDE DE AGUA (NBR 7665)	m	1.837,00	91,03	167.222,11
00001845	CURVA PVC PBA, JE, PB, 90 GRAUS, DN 50 / DE 60 MM, PARA REDE AGUA (NBR 10351)	unid.	6,00	26,08	156,48
00001828	CURVA PVC PBA, JE, PB, 90 GRAUS, DN 100 / DE 110 MM, PARA REDE AGUA (NBR 10351)	unid.	5,00	119,54	597,70
00007048	TE, PVC PBA, BBB, 90 GRAUS, DN 50 / DE 60 MM, PARA REDE AGUA (NBR 10351)	unid.	46,00	18,01	828,46
00041892	TE, PVC PBA, BBB, 90 GRAUS, DN 100 / DE 110 MM, PARA REDE AGUA (NBR 10351)	unid.	28,00	83,46	2.336,88
00011378	TE DE REDUCAO, PVC PBA, BBB, JE, DN 100 X 50 / DE 110 X 60 MM, PARA REDE AGUA (NBR 10351)	unid.	7,00	66,32	464,24
00003837	LUVA SIMPLES, PVC PBA, JE, DN 100 / DE 110 MM, PARA REDE AGUA (NBR 10351)	unid.	5,00	32,62	163,10
00003845	LUVA SIMPLES, PVC PBA, JE, DN 50 / DE 60 MM, PARA REDE AGUA (NBR 10351)	unid.	10,00	11,92	119,20
00001207	CAP, PVC PBA, JE, DN 100 / DE 110 MM, PARA REDE DE AGUA (NBR 10351)	unid.	2,00	5,88	11,76
00001206	CAP, PVC PBA, JE, DN 50 / DE 60 MM, PARA REDE DE AGUA (NBR 10351)	unid.	4,00	-	-
00000325	ANEL BORRACHA, PARA TUBO/CONEXAO PVC PBA, DN 50 MM, PARA REDE AGUA	unid.	3,00	2,87	8,61
00000328	ANEL BORRACHA, PARA TUBO/CONEXAO PVC PBA, DN 100 MM, PARA REDE AGUA	unid.	8,00	7,40	59,20
33007118	TE FERRO FUNDIDO COM BOLSAS, DN 150X50 - T JE BBB	unid.	8,00	351,00	2.808,00
	TE FERRO FUNDIDO COM BOLSAS DN 150X100 - T JE BBB (000636)	unid.	2,00	303,07	606,14
33010210	REGISTRO COM BOLSAS/CABECOTE COM CUNHA DE BORRACHA PARA TUBOS DE FERRO FUNDIDO TIPO EURO 25 DN 100 - REUROBC (010773)	unid.	2,00	585,90	1.171,80
33010315	REGISTRO COM BOLSAS/VOLANTE, COM CUNHA DE BORRACHA PARA TUBOS DE FERRO FUNDIDO, TIPO EURO 25, DN 150 - REUROBV (010874)	unid.	1,00	1.032,04	1.032,04
				<b>Total Fase</b>	<b>384.924,26</b>
	<b>Total da Etapa</b>				<b>949.180,08</b>
	<b>TOTAL DA OBRA</b>			<b>R\$</b>	<b>949.180,08</b>