

Mariana Luíza da SILVA

Engenheira Civil. Centro Universitário de Formiga, marianaluiza002@gmail.com

Michael Silveira THEBALDI*

Engenheiro Agrícola, Doutor em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas. Universidade Federal de Lavras, michael.thebaldi@drs.ufla.br

Tiago de Moraes Faria NOVAIS

Engenheiro Civil, Doutor em Engenharia Civil. Universidade do Estado de Minas Gerais, tiagonovais@yahoo.com.br

**ALTERNATIVA PARA
DIMENSIONAMENTO DE REDES
RAMIFICADAS DE ABASTECIMENTO DE
ÁGUA: AVALIAÇÃO HIDRÁULICA E
ORÇAMENTÁRIA**

Resumo: O abastecimento de água potável é um dos componentes do Saneamento Básico, sendo não só importante a qualidade da água que é entregue à população, mas também sua quantidade e condição hidráulica de disponibilização. Neste sentido, para o dimensionamento hidráulico, a NBR 12218 estabelece um diâmetro mínimo de dimensionamento, porém, vê-se que em casos particulares, não há necessidade deste ser utilizado, o que levaria a um custo inferior da obra. Assim, a partir do exposto, o objetivo deste trabalho é conceber a rede de abastecimento de água de um loteamento residencial, realizando seu dimensionamento a partir da fixação de um diâmetro mínimo comercial, conforme estabelecido pela NBR 12218/2017, e sem que este critério seja considerado, comparando tecnicamente os projetos obtidos. Para tal, fez-se necessário realizar o traçado da rede de abastecimento do loteamento a ser estudado, além de dimensionar as redes definidas a partir de critérios hidráulicos e de projeto, para vazões per capita de 150 e 350 l/habitante dia. Para possibilitar uma comparação mais robusta entre os sistemas, foi determinado também o quantitativo de materiais a serem utilizados, bem como o custo das obras de implantação para os diferentes cenários. Para ambas as vazões per capita estudadas, houve redução do custo total da obra para o livre dimensionamento, sem que a qualidade hidráulica da rede, relativa às cargas de pressões atuantes previstas, seja prejudicada. Assim, para loteamentos pequenos, diâmetros inferiores a 50 mm podem ser utilizados, desde que sejam seguidos critérios pertinentes à engenharia hidráulica na seleção dos diâmetros.

Palavras-chave: Água Potável. Custo de execução. Engenharia Hidráulica. Projeto. Saneamento Básico.

**ALTERNATIVE FOR BRANCHED WATER
SUPPLY NETWORKS SIZING:
HYDRAULIC AND BUDGETARY
ASSESSMENT**

Abstract: The drinking water supply is one of the components of the Basic Sanitation. On this, is not important only the quality of the water that is delivered to the population, but also its quantity and hydraulic condition of availability. So, for the hydraulic dimensioning, the NBR 12218 establishes a minimum sizing diameter, however, it is seen that in particular cases, it is not necessary to be used, which would lead to a lower cost of the work. Thus, the objective of this work is to design the water supply network of a residential allotment, performing its sizing from the setting of a minimum commercial diameter, as established by NBR 12218/2017, and without this criterion being considered, comparing technically the projects obtained. It was necessary to

carry out the layout of the supply network of the studied allotment, in addition to dimensioning the networks defined from hydraulic and design criteria, for per capita flow rates of 150 and 350 l/inhabitant day. In order to allow a more robust comparison between the systems, it was also determined the quantity of materials to be used, as well as the cost of hydraulic network implantation for the different scenarios. For both per capita flows studied, there was a reduction in the total cost of the work for the free dimensioning, without the hydraulic quality of the network, being impaired. Thus, for small allotments, diameters less than 50 mm can be used, provided that criteria relevant to hydraulic engineering in the selection of diameters are followed.

Keywords: Potable Water. Execution Cost. Hydraulic Engineering. Project. Basic Sanitation.

Recebido em: 18/03/2019 - Aprovado em: 14/05/2019 - Disponibilizado em: 10/06/2019

INTRODUÇÃO

A água de abastecimento público pode ser um veículo de doenças assim, faz-se necessário um tratamento e distribuição eficiente e constantes avaliações da sua (SILVA; LOPES; AMARAL, 2016) Neste sentido, tem-se que a qualidade da água influencia diretamente na saúde da população, visto que a água contaminada pode ser um veículo de transmissão de diversas doenças infecciosas e parasitárias, tornando assim, primordial a análise de sua qualidade (SANTOS et al., 2013).

Para que a água esteja em condição de qualidade satisfatória para o uso doméstico, sendo assim, considerada potável, ela não pode oferecer qualquer risco à saúde humana, devendo estar livre de contaminação, seja de origem

microbiológica, química, física ou radioativa (BRASIL, 2011).

As redes de distribuição de água potável conduzem o líquido até os pontos de tomada das instalações prediais, ou aos pontos de consumo público através de tubulações e peças especiais. Seu objetivo é fazer com que a água chegue até o consumo humano, com as condições de potabilidade mantidas, pressão estabelecida e em quantidade desejada (AZEVEDO NETTO; FERNÁNDEZ, 2015). Para o projeto dessas, os critérios e parâmetros a serem utilizados são: o consumo per capita, coeficientes de variação das vazões k_1 , k_2 e k_3 , coeficiente de demanda industrial, níveis de atendimento e período de projeto, além do alcance do estudo (TSUTIYA, 2006).

No que concerne a Engenharia Hidráulica e seus critérios técnicos de traçado, dimensionamento e execução das redes de abastecimento de água, essas podem ser concebidas em diferentes formatos, sendo mais comuns as redes malhadas e ramificadas. Segundo Tsutiya (2006), uma rede é dita ramificada quando o abastecimento é realizado a partir de uma tubulação tronco, alimentado por elevatória ou mesmo por meio de um reservatório. Deste modo, a distribuição de água é feita diretamente a condutos secundários, sendo conhecido o sentido da vazão em qualquer trecho.

A NBR 12218 (ABNT, 2017) estabelece alguns critérios para concepção e dimensionamento da rede, estando entre eles, o diâmetro nominal mínimo de 50 mm para as tubulações. Porém, na prática, percebe-se que em certos casos, como em loteamentos e condomínios de pequeno porte, sem vistas de expansão, diâmetros inferiores poderiam ser utilizados na rede, o que poderia deixar com custo inferior, sem que a qualidade hidráulica da rede fosse prejudicada.

A partir disso, vê-se importante a comparação técnica entre estes dois modelos, um que estabelece o diâmetro mínimo determinado em norma e outro que adota apenas o critério de manutenção da carga de pressão dinâmica mínima de 10,20 m.c.a. na rede, tanto no que tange seu

projeto e sistemática de cálculo, bem como sobre seus custos de aquisição dos materiais e execução da obra.

Portanto, o objetivo deste trabalho é conceber a rede de abastecimento de água de um loteamento residencial considerando-a em formato ramificado, realizando seu dimensionamento a partir da fixação de um diâmetro mínimo comercial, conforme estabelecido pela NBR 12218/2017, e sem que este critério seja considerado, comparando tecnicamente os projetos obtidos.

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo aborda, principalmente, o dimensionamento de uma rede de abastecimento de água potável de um loteamento, utilizando a concepção ramificada, adotando-se como parâmetro de projeto vazões per capita de 150 e 350 l/habitante dia, além de cenários em que se considerou o diâmetro nominal mínimo da rede estabelecido pela NBR 12218 (ABNT, 2017) de 50 mm e outro em que este critério não foi adotado, sendo apenas determinado que a carga de pressão mínima dinâmica na rede não poderia ser inferior a 10,20 m.c.a.

O loteamento estudado possui uma área total de 8,6994 ha. É composto pelos prolongamentos de 8 ruas com 8 m de pista de rolamento e 2 m de calçadas de cada

lado, e outras duas ruas com 10 m de pista de rolamento e 2 m de calçadas de cada lado, e ainda a implantação de três novas ruas com 8 m de pista de rolamento e 2 m de calçadas de cada lado, totalizando uma área de vias urbanas correspondente à 29202,31 m², ou seja, 33,57 % da área total do loteamento.

O loteamento é subdividido em 14 quadras, totalizando 140 lotes, com áreas de aproximadamente 300,00 m², que somam 41.956,45 m², o que representa 48,23 % da área total.

Foram destinadas 2 áreas como áreas institucionais, para abrigar equipamentos públicos, totalizando 10.915,57m², que representa 12,55 % da área total do terreno. Por fim, 4 áreas verdes, perfazendo 4.920,26 m², que representam 5,66 % da área total.

Para fins de dimensionamento, foram considerados 4 habitantes por lote, totalizando uma população a ser abastecida de 560 habitantes. Os coeficientes relativos ao dia de maior consumo (k1) e correspondente à hora de maior demanda (k2) foram fixados em 1,20 e 1,50, respectivamente (COUTO, 2012).

O ponto de partida da adutora principal, iniciada no reservatório do loteamento, está localizado em seu sentido longitudinal, em sua face sudoeste. Já o reservatório encontra-se localizado no vértice anterior esquerdo da área. A carga

hidráulica total no reservatório considerada foi de 10 metros, a partir do nível do solo.

O pré-dimensionamento foi realizado trecho a trecho a partir da determinação dos nós da rede. Os nós encontram-se localizados em cada ramal de distribuição derivado da rede principal, que parte do reservatório elevado.

A vazão máxima da rede, para cada cenário, foi determinada a partir do uso da Equação 1.

$$Q_{\text{máx}} = \frac{K_1 \times K_2 \times P \times Q_h}{86400} \quad (1)$$

em que:

$Q_{\text{máx}}$ = vazão máxima da rede (L/s);

P = população a ser abastecida (habitantes);

k₁ = Coeficiente relativo aos dias de maior consumo;

k₂ = Coeficiente relativo a hora de maior consumo; e

Q_h = quota de água por habitante (L/habitante dia).

Assim, com o uso da Equação 2, calculou-se a vazão unitária distribuída. Desta forma, pôde-se determinar a vazão de montante esperada em cada trecho de tubulação, a partir da acumulação do comprimento linear parcial da rede que este deveria abastecer.

$$q_m = \frac{k_1 \times k_2 \times P \times Q_h}{86400 \times L} \quad (2)$$

em que:

q_m = vazão unitária distribuída (L/s m);

L = extensão da rede (m); e

Q_h = quota de água por habitante (l/habitante dia).

A partir da determinação da vazão de cada trecho, os mesmos foram pré-dimensionados em função do apresentado na Tabela 1.

Para os dimensionamentos realizados sem observar o diâmetro mínimo estabelecido por ABNT (2017), utilizou-se diâmetros inferiores aos apresentados na Tabela 1. Os tubos e suas

características técnicas, considerados para cálculo, podem ser vistos na Tabela 2.

Para cálculo da perda de carga nos trechos em que havia distribuição em marcha, determinou-se a vazão fictícia, conforme estabelecido pela Equação 3.

$$Q' = \frac{Q_j + Q_m}{2} \quad (3)$$

em que:

Q' = vazão para cálculo – fictícia (m³/s);

Q_m = vazão de montante (m³/s); e

Q_j = vazão de jusante (m³/s).

Assim, para determinação da perda de carga distribuída, utilizou-se a Equação de Flamant (Equação 4), com coeficiente de atrito estabelecido para o PVC.

Tabela 1 - Diâmetros para pré-dimensionamento de condutos forçados – distribuição

D (mm)	50	100	150	200	250	300	350	400
Q (l/s)	2	6	14	28	49	77	115	157
D (mm)	450	500	550	600	700	800	900	1000
Q (l/s)	207	275	356	452	654	905	1209	1571

Fonte: Couto, 2012

Tabela 2 – Características hidráulicas das tubulações consideradas para dimensionamento da rede ramificada

Diâmetro nominal (mm)	Pressão Nominal (kPa)	Tipo	Diâmetro Interno (mm)
25	750	Predial	21,6
32	750	Predial	27,8
40	750	Predial	35,2
50	600	Estrutural	54,6
75	600	Estrutural	77,2

Fonte: Amanco, 2015 e 2017.

$$hf = 0,000824 \times \frac{L}{(D_i)^{4,75}} \times (Q')^{1,75} \quad (4)$$

em que:

hf = perda de carga distribuída (m.c.a.); e

D_i = diâmetro interno da tubulação (m).

Para determinação da perda de carga total, considerou-se a perda de carga localizada como equivalente a 5% da perda de carga distribuída em cada trecho.

A carga de pressão de jusante de cada trecho, a partir do reservatório, foi obtida pela aplicação da Equação de Bernoulli para fluidos reais, sendo (Equação 5):

$$\frac{P_j}{\gamma} = Z_m - Z_j + \frac{v_m^2}{2 \times g} - \frac{v_j^2}{2 \times g} - hftotal_{m-j} + \frac{P_m}{\gamma} \quad (5)$$

em que:

$\frac{P_j}{\gamma}$ = carga de pressão de jusante no trecho considerado (m.c.a.);

Z_m = cota geométrica de montante (m);

Z_j = cota geométrica de jusante (m);

v_m = velocidade de escoamento de montante (m/s);

v_j = velocidade de escoamento de jusante (m/s);

g = aceleração da gravidade (considerada 9,8 m/s²);

$hftotal_{m-j}$ = perda de carga total de montante para jusante (m.c.a.); e

$\frac{P_m}{\gamma}$ = carga de pressão de montante no trecho considerado (m.c.a.).

Na determinação do custo de execução das redes de abastecimento de água, foram considerados o material (tubulações e seus acessórios) bem como os serviços agregados, não sendo contabilizados o reservatório, seus acessórios, além de obras hidráulicas e equipamentos necessários para adução. O custo do material hidráulico utilizado em todas as redes estudadas foi obtido aleatoriamente em três empresas do mercado, atuantes na região do Centro-Oeste mineiro.

No que concerne a elaboração do orçamento de ambas as redes de abastecimento de água, após seu dimensionamento, foi utilizada como referência a planilha da Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil (SINAPI, 2018) sem desoneração, com referência à julho de 2018, para determinação de custo dos serviços necessários.

Para a composição orçamentária foram realizadas a descrição do serviço, seus componentes ou insumos, sua unidade de medida e os seus respectivos consumos, de forma a realizar uma comparação robusta entre as obras propostas. Para a execução da rede de abastecimento de

água, foram utilizados os seguintes serviços:

- 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 menor que 0,80 m, em solo de 1ª categoria, locais com baixo nível de interferência;
- Assentamento de tubo de PVC PBA para rede de água, dn 50 mm, junta elástica integrada, instalado em local com nível baixo de interferências (não inclui fornecimento);
- Assentamento de tubo de PVC PBA para rede de água, dn 75 mm, junta elástica integrada, instalado em local com nível baixo de interferências (não inclui fornecimento);
- Escoramento de vala, tipo pontaleamento, com profundidade de 0 a 1,5 m, largura menor que 1,5 m, em local com nível baixo de interferência; e
- Reaterro mecanizado de vala com escavadeira hidráulica (capacidade da caçamba: 0,8 m³/ potência: 111 HP), largura de 1,50 a 2,50 m, profundidade até 1,50 m, com solo (sem substituição) de 1ª categoria em locais com baixo nível de interferência.

Para o serviço de assentamento dos tubos com diâmetros inferiores à 50 mm,

foi considerado o serviço relativo ao tubo de diâmetro de 50 mm, já que para os diâmetros inferiores esse serviço não é aferido por SINAPI (2018).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As vazões de montante e diâmetro nominal dos trechos da rede de abastecimento para diferentes vazões per capita diárias e critérios de dimensionamento são mostradas da Tabela 3.

As vazões de montante nos trechos indicados da rede de abastecimento de água, comparando-se as diferentes vazões per capita, aumentaram, no mínimo, 114,29% (de 150 para 350 L/habitante dia) no trecho N6-P6, sendo a variação máxima de 166,67% ou 2,687 vezes, para o trecho N3 – P3.

Mesmo com essas variações positivas nas vazões estimadas para cada um dos trechos, apenas no trecho compreendido entre o reservatório e o nó 10 (N10), foi verificada determinação de diâmetro superior a 50 mm para a vazão de 350 L/habitante dia, sendo este 75 mm.

Esta adoção de diâmetros para pré-dimensionamento da rede é baseada em critério de velocidade máxima de escoamento, sendo cada um dos diâmetros válidos para uma faixa significativa de vazões. Assim, para um loteamento de

menores proporções, como o estudado, sem necessidade de dimensionamento que leve em consideração a expansão da rede, basicamente, o diâmetro nominal mínimo, de 50 mm será utilizado.

O trecho R – N10, inicial da rede a partir do reservatório elevado, é o que possui maior vazão, já que abastece todas as demais tubulações, levando assim, a uma diferenciação de diâmetro (50 mm para 75 mm), para uma variação positiva de vazão de 133,14% de 150 para 350 L/habitante dia.

Tanto para 150 quanto para 350 L/habitante dia, considerando o critério de diâmetro mínimo estabelecido pela NBR 12218 (ABNT, 2017), prevaleceu na rede o diâmetro de 50 mm, excetuando-se o trecho inicial, já supracitado, em que foi

determinado o diâmetro de 75 mm para a maior vazão per capita considerada.

Para os trechos que possuíam ponta seca, representados pela letra P (Tabela 3), as baixas vazões levaram à possibilidade de uso de diâmetros nominais de 25 mm para o dimensionamento que não considerou o critério de adoção de diâmetro mínimo de 50 mm apresentado pela NBR 12218 (ABNT, 2017). Para o mesmo tipo de dimensionamento, outros trechos da rede puderam ter determinados diâmetros inferiores a 50 mm, estes variando entre 25, 32 e 40 mm.

Estes diâmetros puderam ser adotados a partir da possibilidade de manutenção de carga de pressão dinâmica mínima de 10,20 m.c.a., ou 100 kPa de pressão dinâmica.

Tabela 3 – Vazões de montante e diâmetro nominal dos trechos da rede de abastecimento tipo ramificada para diferentes vazões diárias e critérios de dimensionamento

Trecho	150 ABNT		150 Livre		350 ABNT		350 Livre	
	Vazão (L/s)	DN (mm)	Vazão (L/s)	DN (mm)	Vazão (L/s)	DN (mm)	Vazão (L/s)	DN (mm)
R – N10	1,75	50	1,75	50	4,08	75	4,08	75
N10 – P10	0,05	50	0,05	25	0,11	50	0,11	25
N10 – N9	1,62	50	1,62	40	3,77	50	3,77	50
N9 – P9	0,05	50	0,05	25	0,12	50	0,12	25
N9 – N8	1,39	50	1,39	40	3,25	50	3,25	50
N8 – P8	0,06	50	0,06	25	0,13	50	0,13	25
N8 – N7	1,21	50	1,21	40	2,82	50	2,82	50
N7 – P7	0,06	50	0,06	25	0,14	50	0,14	25
N7 – N6	1,02	50	1,02	40	2,38	50	2,38	50
N6 – P6	0,07	50	0,07	25	0,15	50	0,15	25
N6 – N5	0,82	50	0,82	40	1,91	50	1,91	50
N5 – P5	0,07	50	0,07	25	0,16	50	0,16	25
N5 – N4	0,61	50	0,61	32	1,43	50	1,43	40
N4 – P4	0,04	50	0,04	25	0,10	50	0,10	25
N4 – N3	0,43	50	0,43	32	1,00	50	1,00	40
N3 – P3	0,03	50	0,03	25	0,08	50	0,08	25

N3 – N2	0,28	50	0,28	32	0,65	50	0,65	32
N2 – P2	0,03	50	0,03	25	0,07	50	0,07	25
N2 – N1	0,16	50	0,16	32	0,38	50	0,38	25
N1- P1	0,06	50	0,06	25	0,13	50	0,13	25

Fonte: A autora, 2018. Nota: 150 ABNT: vazão per capita de 150 L/hab dia, para critérios estabelecidos pela NBR 12218/2017; 150 Livre: vazão per capita de 150 L/hab dia, sem critérios estabelecidos pela NBR 12218/2017; 350 ABNT: vazão per capita de 350 L/hab dia, para critérios estabelecidos pela NBR 12218/2017; 350 Livre: vazão per capita de 350 L/hab dia, sem critérios estabelecidos pela da NBR 12218/2017; DN: diâmetro nominal.

Assim, as cargas de pressão de montante e jusante dos trechos da rede de abastecimento para diferentes vazões diárias e critérios de dimensionamento, podem ser verificadas na Tabela 4.

Nos trechos iniciais, ou seja, entre o reservatório e o nó 10, foram indicadas cargas de pressão de 0,00 m.c.a., pois o ponto inicial de análise da equação de conservação de energia, foi estabelecido na superfície livre da água no reservatório, que possui, além de carga piezométrica

nula, taquicarga nula, devido à instalação de dispositivo controlador de nível.

Para o dimensionamento considerando o critério de diâmetro mínimo estabelecido por ABNT (2017), para a maior vazão per capita estudada, obteve-se, sempre nos pontos de jusante dos trechos avaliados da tubulação, pressões inferiores às obtidas com a menor vazão per capita, como pode ser visto na Tabela 4.

Tabela 4 - Pressões de montante e jusante dos trechos da rede de abastecimento tipo ramificada para diferentes vazões diárias e critérios de dimensionamento

Trecho	150 ABNT		150 Livre		350 ABNT		350 Livre	
	Pm	Pj	Pm	Pj	Pm	Pj	Pm	Pj
R – N10	0,00	14,98	0,00	14,98	0	14,15	0,00	14,15
N10 – P10	14,98	24,74	14,98	24,59	14,15	23,90	14,15	23,23
N10 – N9	14,98	21,24	14,98	16,34	14,15	18,32	14,15	18,32
N9 – P9	21,24	29,83	16,34	24,73	18,32	26,90	18,32	26,03
N9 – N8	21,24	27,41	16,34	18,74	18,32	22,82	18,32	22,82
N8 – P8	27,41	34,47	18,74	25,54	22,82	29,88	22,82	28,77
N8 – N7	27,41	32,01	18,74	20,38	22,82	26,14	22,82	26,14
N7 – P7	32,01	38,21	20,38	26,27	26,14	32,33	26,14	30,98
N7 – N6	32,01	32,25	20,38	18,43	26,14	25,45	26,14	25,45
N6 – P6	32,25	41,00	18,43	26,80	25,45	34,19	25,45	32,52
N6 – N5	32,25	33,22	18,43	17,90	25,45	25,80	25,45	25,80
N5 – P5	33,22	42,85	17,90	27,10	25,80	35,42	25,80	33,55
N5 – N4	33,22	33,65	17,90	15,31	25,80	25,88	25,80	21,92
N4 – P4	33,65	39,94	15,31	21,49	25,88	32,17	21,92	27,72

N4 – N3	33,65	33,67	15,31	13,69	25,88	25,71	21,92	19,61
N3 – P3	33,67	38,72	13,69	18,69	25,71	30,76	19,61	24,42
N3 – N2	33,67	33,25	13,69	12,49	25,71	25,20	19,61	15,66
N2 – P2	33,25	38,63	12,49	17,82	25,20	30,58	15,66	20,82
N2 – N1	33,25	32,86	12,49	11,93	25,20	24,80	15,66	12,74
N1- P1	32,86	38,06	11,93	16,87	24,80	29,99	12,74	16,78

Fonte: A autora, 2018. Nota: 150 ABNT: vazão per capita de 150 L/hab dia, para critérios estabelecidos pela NBR 12218/2017; 150 Livre: vazão per capita de 150 L/hab dia, sem critérios estabelecidos pela NBR 12218/2017; 350 ABNT: vazão per capita de 350 L/hab dia, para critérios estabelecidos pela NBR 12218/2017; 350 Livre: vazão per capita de 350 L/hab dia, sem critérios estabelecidos pela da NBR 12218/2017; Pj: carga de pressão de jusante, em m.c.a.; Pm: carga de pressão de montante, em m.c.a

Já para o dimensionamento livre, ou seja, sem estabelecimento de diâmetro mínimo, em alguns pontos de jusante dos trechos foram previstas cargas de pressão superiores para a maior vazão per capita, em comparação com os mesmos trechos em dimensionamento livre e vazão per capita inferior. Tal fato se deve às combinações utilizadas de diâmetro para cada vazão, e também pela rede iniciar-se com 75 mm de diâmetro para a vazão de 350 L/habitante dia. Há de se salientar que, para predição da perda de carga, há maior influência do diâmetro da tubulação dentre os parâmetros de cálculo utilizados, sendo estes vazão e comprimento retilíneo da tubulação, já que seu expoente, na equação de perda de carga, é próximo a 5.

Assim, nota-se que, para o trecho final da rede, a partir do Nó 2, já pôde-se utilizar o diâmetro de 25 mm para a maior vazão per capita, enquanto que para a menor, ainda seria necessário uso de tubulação de 32 mm (Tabela 3).

A maior carga de pressão dinâmica prevista foi de 42,85 m.c.a., obtida para vazão per capita de 150 L/habitante dia em dimensionamento levando em consideração o critério de diâmetro mínimo de ABNT (2017), esta, calculada para jusante do trecho N5 – P5. Dentre as maiores cargas de pressão previstas para cada um dos cenários de dimensionamento, a menor (26,14 m.c.a.) foi obtida para ambos os critérios de dimensionamento e 350 L/habitante dia.

Excetuando-se as cargas de pressão nulas, a menor carga de pressão dinâmica calculada foi de 11,93 m.c.a., calculada para jusante do trecho N2-N1 e montante de N1-P1 para 150 L/habitante dia e critério de dimensionamento livre.

Em linhas gerais, as redes dimensionadas pelo critério estabelecido por ABNT (2017) possuíram qualidade hidráulica melhor, justamente pela manutenção do diâmetro mínimo de 50 mm, em detrimento à redução deste,

quando no caso do dimensionamento livre, porém, esta diferença é praticamente insignificante hidraulicamente, além, do que, sempre teve-se estabelecidas pressões efetivas dinâmicas superiores a 100 kPa em todos os pontos da rede.

Há de se salientar que os sistemas de abastecimento de água potável desempenham um importante papel na manutenção da qualidade da água a ser distribuída, e seu correto dimensionamento proporciona sua durabilidade e confiabilidade. Assim, em seu dimensionamento, deve-se ponderar todos os fatores intervenientes que ocasionarão o seu bom funcionamento ao longo dos anos, uma vez que são responsáveis pelo transporte e distribuição de um bem, em muitos casos escasso, além de essencial (SOARES, 2003). Desta forma, em casos de loteamentos ou regiões em que são planejadas expansões futuras da área urbanizada, e, por consequência, da rede, o dimensionamento sem considerar o critério estabelecido por ABNT (2017), não seria interessante, a menos que o dimensionamento inicial já considerasse as vazões futuras com precisão.

Ainda deve-se observar o fato de que o uso de menores diâmetros, para uma mesma vazão planejada para os trechos da

rede, ocasionaria um aumento da velocidade de escoamento prevista. Tsutiya (2006) cita que a adoção de baixas velocidades na rede de distribuição favorece a durabilidade da tubulação, em função da baixa abrasão, além de minimizar o efeito de transientes hidráulicos, enquanto que a adoção de altas velocidades propiciariam, no pré-dimensionamento, a adoção de menores diâmetros e por consequência, a redução do custo de aquisição de materiais, como observado neste estudo, porém, causam aumento na perda de carga e então, maiores custos com bombeamento, quando for o caso, ou aumento da altura necessária dos reservatórios. Assim, há também maior custo com manutenções da rede, já que há favorecimento da abrasão.

Desta maneira, a observação de custo de execução destas redes faz-se necessário para determinação de qual destas seria mais viável do ponto de vista técnico-econômico. Assim, a descrição orçamentária de insumos e serviços para execução da rede ramificada de abastecimento de água para vazão per capita de 150 l/habitante dia considerando critérios de dimensionamento da NBR 12218/2017, pode ser vista na Tabela 5.

Tabela 5 – Descrição orçamentária de insumos e serviços para execução da rede ramificada de abastecimento de água para vazão per capita de 150 l/habitante dia considerando critérios de dimensionamento da NBR 12218/2017

Item	Unidade	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Tubo PBA 50 mm junta elástica Classe 12	barra	244	61,40	14981,60
Tê PBA 50 mm junta elástica	unidade	9	33,00	297,00
Curva PBA 45° 50 mm	unidade	1	11,90	11,90
CAP PBA 50 mm	unidade	10	5,90	59,00
Registro de gaveta 1 1/2"	unidade	1	60,00	60,00
Adaptador PVC curto 50 x 1 1/2"	unidade	2	3,69	7,38
Escavação de vala	m ³	1167	5,97	6965,68
Assentamento de tubo 50 mm ou inferior	m	1458	0,63	918,84
Escoramento da vala tipo pontalete	m ²	2917	15,38	44862,84
Reaterro de vala	m ³	1167	13,08	15261,48
Total				83425,73

Fonte: A autora, 2018.

Para a vazão de 150 L/habitante dia e adoção de diâmetro mínimo de 50 mm, os serviços representaram 81,52% do custo total, porém, sendo o item de maior custo o serviço de escoramento de vala tipo pontalete. Vê-se que, entre o material necessário para execução, a maior parcela se refere à tubulação, que, neste caso, foi

apenas de 50 mm de diâmetro nominal. Já os insumos e serviços para execução da rede ramificada de abastecimento de água para vazão per capita de 150 l/habitante dia, sem considerar critérios de dimensionamento da NBR 12218/2017 e seus respectivos custos, podem ser vistos na Tabela 6.

Tabela 6 - Descrição orçamentária de insumos e serviços para execução da rede ramificada de abastecimento de água para vazão per capita de 150 l/habitante dia, sem considerar critérios de dimensionamento da NBR 12218/2017

Item	Unidade	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Tubo PVC soldável 25 mm	barra	141	14,22	2005,02
Tubo PVC soldável 32 mm	barra	38	46,27	1758,26
Tubo PVC soldável 40 mm	barra	52	55,02	2861,04

Tubo PBA 50 mm junta elástica Classe 12	barra	14	61,40	859,60
Tê PBA 50 mm junta elástica	unidade	1	33,00	33,00
Tê PVC 40 x 25 mm	unidade	5	6,62	33,10
Tê PVC 32 x 25 mm	unidade	3	6,69	20,07
Bucha redução longa PVC 50 x 25 mm	unidade	1	3,81	3,81
Bucha de Redução PVC 50 x 40 mm	unidade	1	3,08	3,08
Bucha de Redução PVC 40 x 32 mm	unidade	1	1,80	1,80
Bucha de Redução PVC 32 x 25 mm	unidade	1	0,83	0,83
Curva 45° 32 mm soldável	unidade	1	9,53	9,53
CAP PVC soldável 25 mm	unidade	10	1,19	11,90
Registro de gaveta 1 1/2"	unidade	1	60,00	60,00
Adaptador PVC curto 50 x 1 1/2"	unidade	2	3,69	7,38
Escavação de vala	m ³	1167	5,97	6965,68
Assentamento de tubo 50 mm ou inferior	m	1458	0,63	918,84
Escoramento da vala tipo pontalete	m ²	2917	15,38	44862,84
Reaterro de vala	m ³	1167	13,08	15261,48
Total				75677,27

Fonte: A autora, 2018.

Assim como para o cenário em que foi estabelecida vazão de 150 L/habitante dia e dimensionamento considerando diâmetro mínimo de 50 mm (Tabela 5), quando foi mantida vazão de 150 L/habitante dia, porém, para dimensionamento livre, a maior parte do custo de execução da obra foi referente aos serviços (89,87%), porcentagem maior que a determinada para a rede anteriormente citada.

Esse aumento da proporção relativa dos serviços no custo total se deve à permanência entre os dois cenários do valor desses itens, enquanto que houve uma redução do custo do material a ser

utilizado para o dimensionamento livre, o que proporcionou, no total, uma redução de R\$ 7748,46 do custo total. Desta maneira, vê-se que, o dimensionamento sem seguir o critério de diâmetro mínimo estabelecido por ABNT (2017), levaria a uma redução de custos na execução da rede de abastecimento de água, porém, proporcionando manutenção da qualidade hidráulica da rede (Tabela 4).

Os insumos e serviços necessários para execução da rede ramificada de abastecimento de água para vazão per capita de 350 l/habitante dia considerando critérios de dimensionamento da NBR

12218/2017 e seus respectivos custos, são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Descrição orçamentária de insumos e serviços para execução da rede ramificada de abastecimento de água para vazão per capita de 350 l/habitante dia considerando critérios de dimensionamento da NBR 12218/2017

Item	Unidade	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Tubo PBA 75 mm junta elástica Classe 12	barra	14	131,98	1847,72
Tubo PBA 50 mm junta elástica Classe 12	barra	220	61,40	13508,00
Redução PBA 75 x 50 mm	unidade	1	11,90	11,90
Tê PBA de redução 75 x 50 mm	unidade	1	34,90	34,90
Tê PBA 50 mm junta elástica	unidade	8	33,00	264,00
Curva PBA 45° 50 mm	unidade	1	11,90	11,90
CAP PBA 50 mm	unidade	10	5,90	59,00
Registro de gaveta 1 1/2"	unidade	1	60,00	60,00
Adaptador PVC curto 50 x 1 1/2"	unidade	2	3,69	7,38
Escavação de vala	m ³	1167	5,97	6965,68
Assentamento de tubo 50 mm ou inferior	m	1317	0,63	829,55
Assentamento de tubo 75 mm	m	80	0,91	72,56
Escoramento da vala tipo pontalete	m ²	2917	15,38	44862,84
Reaterro de vala	m ³	1317	13,08	17222,96
Total				85758,39

Fonte: A autora, 2018.

Já os insumos e serviços necessários para execução da rede ramificada de abastecimento de água para vazão per capita de 350 l/habitante dia, sem considerar os critérios de dimensionamento da NBR 12218/2017 e seus custos, são mostrados na Tabela 8.

Tabela 8 - Descrição orçamentária de insumos e serviços para execução da rede ramificada de abastecimento de água para vazão per capita de 350 l/habitante dia, sem considerar critérios de dimensionamento da NBR 12218/2017

Item	Unidade	Quantidade	Custo unitário (R\$)	Custo total (R\$)
Tubo PVC soldável 25 mm	barra	147	14,22	2090,34

Tubo PVC soldável 32 mm	barra	11	46,27	508,97
Tubo PVC soldável 40 mm	barra	21	55,02	1155,42
Tubo PBA 50 mm junta elástica Classe 12	barra	52	61,40	3192,80
Tubo PBA 75 mm junta elástica Classe 12	barra	14	131,98	1847,72
Tê PBA de redução 75 x 50 mm	unidade	1	34,90	34,90
Bucha redução longa PVC 50 x 25 mm	unidade	1	3,81	3,81
Redução PBA 75 x 50 mm	unidade	1	11,9	11,90
Tê redução soldável 50 x 25 mm	unidade	5	8,47	42,35
Bucha de Redução PVC 50 x 40 mm	unidade	1	3,08	3,08
Tê PVC 40 x 25 mm	unidade	2	6,62	13,24
Bucha de Redução PVC 40 x 32 mm	unidade	1	1,80	1,80
Tê PVC 32 x 25 mm	unidade	3	6,69	20,07
Bucha de Redução PVC 32 x 25 mm	unidade	1	0,83	0,83
Curva 45° 25 mm soldável	unidade	1	7,43	7,43
CAP PVC soldável 25 mm	unidade	10	1,19	11,9
Registro de gaveta 1 1/2"	unidade	1	60,00	60,00
Adaptador PVC curto 50 x 1 1/2"	unidade	2	3,69	7,38
Escavação de vala	m ³	1167	5,97	6965,68
Assentamento de tubo 50 mm ou inferior	m	1317	0,63	829,55
Assentamento de tubo 75 mm	m	80	0,91	72,56
Escoramento da vala tipo pontalete	m ²	2917	15,38	44862,84
Reaterro de vala	m ³	1317	13,08	17222,96
Total				78967,53

Fonte: A autora, 2018.

De maneira geral, as redes dimensionadas para uma vazão per capita de 150 L/habitante dia tiveram custos de execução inferiores aos casos em que foi determinada uma vazão per capita superior, de 350 L/habitante dia, porém, percebe-se que apenas o aumento das vazões de projeto, não influenciam tão fortemente nesse aumento do custo da

obra, sendo as porcentagens de aumento 2,80% e 4,35% para as vazões de 150 e 350 L/habitante dia, respectivamente, comparando-se os redes com mesmos critérios de dimensionamento.

Para mesmas vazões e diferentes critérios de dimensionamento, houve redução percentual de custos de 9,29% e 7,92% para 150 e 350 L/habitante dia,

respectivamente, mostrando que, para a maior vazão per capita avaliada, a mudança de critério de dimensionamento é menos efetiva na redução de custos quando comparada com a menor vazão per capita.

Para a 350 L/habitante dia, em ambos critérios de dimensionamento, a quantidade de tubulação de 75 mm utilizada foi a mesma, em área inicial da rede, havendo diferenciação de diâmetros nos trechos subsequentes a R1 – N10 (Tabela 3). Com isso, houve uma redução do custo total relativo a tubulações, de R\$ 15355,72 para R\$ 8795,25, ou seja, R\$ 6560,40, inferior à redução de custo de tubulações obtida para a vazão de 150 L/habitante dia, de R\$ 7497,68 (Tabelas 5 e 6).

CONCLUSÕES

Para ambas as vazões per capita estudadas, houve redução do custo total da obra para o livre dimensionamento, sem que a qualidade hidráulica da rede, relativa às cargas de pressões atuantes previstas, seja prejudicada.

Desta forma, tem-se que para loteamentos pequenos, sem que haja previsão de expansão da rede de abastecimento, diâmetros inferiores a 50 mm podem ser utilizados, desde que sejam seguidos critérios pertinentes à engenharia hidráulica na seleção dos diâmetros.

REFERÊNCIAS

AMANCO. Catálogo linha infraestrutura 2017. Disponível em: <http://assets.production.amanco.com.br.s3.amazonaws.com/uploads/gallery_asset/file/2/Catalogo_Infraestrutura_2017-WEB.pdf>. Acesso em 01 de outubro de 2018.

AMANCO. Catálogo linha predial 2015. Disponível em: <http://assets.production.amanco.com.br.s3.amazonaws.com/uploads/gallery_asset/file/1/CATALOGO_LINHA_PREDIAL_2015.pdf>. Acesso em 01 de outubro de 2018.

AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNÁNDEZ, M. F. **Manual de hidráulica**. 9. ed. São Paulo: Blücher, 2015. 632 p.

BRASIL. Portaria Ministério da Saúde. **Portaria Nº 2.914**, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os Procedimentos de Controle e de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano e seu Padrão de Potabilidade. Diário Oficial da União, Brasília, 2011. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em: 14 de março de 2018.

COUTO, L. M. M.; **Elementos Da Hidráulica**. 1. ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2012. 576 p.

SANTOS, J. O.; SANTOS, R. M. S.; GOMES, M. A. D.; MIRANDA, R. C.; NÓBREGA, I. G. M. **A QUALIDADE DA ÁGUA PARA O CONSUMO**

HUMANO: uma discussão necessária.
Revista Brasileira de Gestão Ambiental
- **RBGA**, Pombal - PB, v.7, n.2, p. 19-26,
2013.

SILVA, L.G.; LOPES, L.G.; AMARAL,
L.A. Qualidade da água de abastecimento
público do município de Jaboticabal, SP.
Engenharia Sanitária e Ambiental,
v.21, n.3, p. 615-622, 2016.

**SINAPI. Sistema Nacional de Pesquisa
de Custos e Índices da Construção
Civil.** Disponível em:
<[http://www.caixa.gov.br/poder-
publico/apoio-
poderpublico/sinapi/Paginas/default.aspx](http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poderpublico/sinapi/Paginas/default.aspx)>
. Acesso em: 18 de maio de 2018.

SOARES, A. K. **Calibração de modelos
de redes de distribuição de água para
abastecimento considerando
vazamentos e demandas dirigidas pela
pressão.** São Paulo. 153 p. Dissertação
(Mestrado). Escola de Engenharia de São
Carlos, Universidade de São Paulo, 2003.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de
água.** 4. Ed. São Paulo: Departamento de
Engenharia Hidráulica e Sanitária da
Universidade de São Paulo. 2006. 643 p.