



66 - AVALIAÇÃO DA MEDIÇÃO DE VAZÃO EM UM SETOR DE ABASTECIMENTO EM TERMOS DE VELOCIDADE NA TUBULAÇÃO E RANGE DO MEDIDOR BUSCANDO-SE OTIMIZAR O DIMENSIONAMENTO PARA GESTÃO DA MACROMEDIÇÃO COMO FERRAMENTA PARA O CONTROLE DE PERDAS.

Ane Caroline Grisolio Machion⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Estadual de Campinas - Unicamp (2003). Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Campinas - Unicamp (2006). Training Course in Non Revenue Water Control at Ministry of Health, Labour and Welfare, Saitama City, and the related institutions (2007). Engenheira do Departamento de Gestão e Desenvolvimento Operacional da Unidade de Negócio Capivari / Jundiá da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - Sabesp, desde 2008.

Endereço⁽¹⁾: Rua Rui Barbosa, Nº 416 - Centro - Itatiba - SP - CEP: 13.250-280 - Brasil - Tel: +55 (11) 4894-8164 - e-mail: amachion@sabesp.com.br.

RESUMO

A cada dia vêm piorando as condições de disponibilidade hídrica na região das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. Neste contexto, a redução de perdas vem se apresentando como uma alternativa imprescindível para garantir a sobrevivência dos sistemas de abastecimento. Entretanto, os índices de perdas ainda têm grande potencial de melhora. As decisões sobre as ações a serem realizadas frequentemente esbarram na falta de confiabilidade do balanço hídrico referenciado fundamentalmente na macromedição.

O presente trabalho visa avaliar o comportamento hidráulico de um determinado ponto de medição diante da variação de parâmetros de projeto e indicadores operacionais de um setor de abastecimento. A metodologia utilizada baseou-se em revisão bibliográfica, caracterização da área de estudo e construção de cenários de demanda. Os resultados obtidos demonstram a importância do correto dimensionamento dos medidores de vazão, procurando-se conciliar o range de medição dos equipamentos e a faixa de vazão do sistema. Por fim, a abordagem deste trabalho permite nortear, respeitando-se as particularidades de cada região, como, por exemplo, perfil de consumo e grau de ocupação dos empreendimentos, uma melhoria no processo de implantação e/ou adequação dos pontos de medição de vazão.

PALAVRAS-CHAVE: redução de perdas; dimensionamento; medição de vazão.

INTRODUÇÃO

A região das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá apresenta elevados patamares de crescimento e desenvolvimento aliados a condições críticas de disponibilidade hídrica.

Diante deste cenário, a redução de perdas representa uma alternativa de equacionamento entre oferta e demanda visando garantir a sobrevivência dos sistemas de abastecimento.

Neste contexto, uma etapa fundamental no ciclo de gestão consiste na obtenção de dados corretos e representativos para cada fator interveniente, a contabilização dos resultados e a sua tradução em indicadores do processo operacional em análise, no caso o volume distribuído a um setor de abastecimento, tanto nas horas de maior quanto nas de menor consumo. Desta forma, considerando-se a complexidade dos sistemas de abastecimento, as medições hidráulicas constituem a base para a maioria dos estudos e projetos de engenharia e, ao mesmo tempo, norteiam, a tomada de decisão visando à otimização de recursos no combate às perdas. Portanto, a exatidão das mesmas é imperativa para o sucesso de qualquer projeto e processo de gestão.

Para o desenvolvimento deste trabalho, escolheu-se um setor de abastecimento do Município de Jarinu, cujos sistemas de água e esgotos são operados pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - Sabesp, tendo como objetivo a avaliação de um determinado ponto de medição de vazão instalado na adutora de saída de um reservatório de distribuição.

A metodologia utilizada baseou-se em revisão bibliográfica, caracterização da área de estudo e construção de cenários de demanda para simulação do comportamento hidráulico do ponto de medição diante da variação de alguns dados de projeto e indicadores operacionais.



OBJETIVO

O presente trabalho visa avaliar o comportamento hidráulico de um determinado ponto de medição diante da variação de parâmetros de projeto (diâmetros) e indicadores operacionais (índices de perdas) de um setor de abastecimento, reforçando-se a importância do correto dimensionamento do medidor de vazão e buscando-se conciliar os limites de funcionamento do equipamento e a faixa de vazão do sistema.

METODOLOGIA

Revisão Bibliográfica

Disponibilidade hídrica

Disponibilidade hídrica é a relação entre o volume de água disponível para a população de uma bacia hidrográfica.

Segundo Agência das Bacias PCJ (2019), embora nossa região seja privilegiada por uma grande quantidade de fontes de água, as Bacias PCJ possuem uma disponibilidade hídrica bastante limitada. O crescimento populacional, frente a uma disponibilidade hídrica constante, denota uma tendência de contínua redução da quantidade de água disponível por habitante. A oferta de água por habitante nesta bacia é de, aproximadamente, 980m³/hab.ano, considerada insatisfatória segundo valores de referência adotados no Estado de São Paulo, que define como crítica uma situação com menos do que 1.500 m³/hab.ano.

Tamanha a relevância do tema, em janeiro de 1997, entrou em vigor a Lei nº 9.433/1997, também conhecida como Lei das Águas. O instrumento legal instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). A água é considerada um bem de domínio público e um recurso natural limitado, dotado de valor econômico. Neste contexto, a lei estabelece que a gestão dos recursos hídricos deve proporcionar os usos múltiplos das águas, de forma descentralizada e participativa, contando com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2019).

Na sequência, elenca os objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos, dentre os quais destaca-se a garantia, às gerações atual e futuras, da necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos (BRASIL, 2019).

Sistemas de abastecimento de água

Porto (2004) define um sistema de distribuição de água como um conjunto de tubulações, reservatórios, bombas, acessórios, etc. com a finalidade de atender, dentro de condições sanitárias, de vazão e pressão adequadas, aos diversos pontos de consumo de uma cidade ou setor de abastecimento.

Ainda de acordo com o autor, o dimensionamento das várias unidades de um sistema público de abastecimento, como captação, bombeamento, adução, unidade de tratamento, reservação e, finalmente, a rede de distribuição, tem como parâmetro o cálculo da vazão de demanda, por sua vez, é diretamente proporcional à população a ser atendida.

A vazão média necessária é calculada em função: a) da população a ser atendida, determinada por métodos estatísticos de projeção populacional no horizonte de projeto; b) da taxa *per capita* média da comunidade em L/hab.dia (esta taxa varia em função do porte do município e do nível socioeconômico da população a ser atendida); e c) do número de horas de operação do sistema considerado.

Porto (2004) explica que as variações diárias de demanda ao longo do ano são compensadas por meio da multiplicação por um coeficiente de reforço K₁, definido como coeficiente do dia de maior consumo.

O consumo de água de uma cidade pode, ainda, variar no decorrer do dia. Por este motivo, são previstos reservatórios de distribuição devidamente dimensionados de maneira a atuar como reguladores no suprimento das vazões necessárias nas horas de grande consumo. Desta forma, a rede de distribuição deverá ser dimensionada para a vazão de distribuição, calculada por:

$$Q_d = \frac{P \times q_m \times K_1 \times K_2}{3.600x} \quad \text{equação (1)}$$

Onde:

Q_d: Vazão de distribuição, em L/s

P: população, em número de habitantes

q_m: taxa *per capita* média, em L/hab.dia

K₁: coeficiente do dia de maior consumo

K₂: coeficiente da hora de maior consumo

h: número de horas de operação



Por outro lado, há, ainda, a mínima vazão horária, também calculada a partir da vazão média necessária multiplicada por um coeficiente de minoração K_3 .

A Norma Técnica Brasileira ABNT NBR 12218 (2017) estabelece os seguintes valores para os coeficientes de variação da vazão:

K_1 : 1,20

K_2 : 1,50

K_3 : 0,50

Desta forma, para o dimensionamento hidráulico de redes de distribuição de água, devem ser respeitados os seguintes limites máximos de velocidade (SABESP, 2019a):

Tabela 1: Limites máximos de velocidade para redes de distribuição de água.

Diâmetro (mm)	Velocidade (m/s)
50	0,60
75	0,70
100	0,80
150	0,90
200	1,00
250	1,10
300	1,20
400	1,40
500	1,60
600	1,80

Fonte: Sabesp (2019a).

Perdas de água

Segundo Tardelli Filho (2016), basicamente, as perdas de água resultam da diferença entre o que se disponibilizou de água tratada à distribuição (macromedição) e o que se mediu nos hidrômetros dos clientes finais (micromedição).

Alegre (2006), *apud* Tardelli Filho (2016) explica sobre a estruturação, na forma de balanço hídrico, proposta pela International Water Association (IWA). Esta estrutura padronizou, clara e objetivamente, os usos da água em um sistema e a identificação dos dois tipos de perdas:

- Perdas reais: compostas pelos vazamentos nas tubulações e extravasamentos nos reservatórios (perdas físicas);
- Perdas aparentes: compostas pelos erros de medição (submedição nos hidrômetros), fraudes, ligações clandestinas e falhas no sistema de cadastro comercial das empresas (perdas não físicas ou comerciais).

Palo (2010) detalha, ainda, que as perdas reais são causadas pelos seguintes fatores:

- Má qualidade ou defeito de fabricação dos materiais aplicados;
- Rompimento da tubulação devido ao assentamento em base irregular contendo pedras em contato com os tubos, falta de vedação nas juntas, tráfego pesado;
- Excesso de pressão, transiente hidráulico, causado pela abertura o pelo fechamento rápido de válvulas;
- Corrosão da tubulação;

- Vazamentos nos dispositivos da tubulação como, por exemplo, válvulas, ventosas, etc;

Segundo Abende (2003) *apud* Palo (2010), os vazamentos estão divididos em visíveis e não visíveis. Sendo, ainda, subdivididos em detectáveis e não detectáveis.



Apresenta-se, no Quadro 1, o balanço hídrico da IWA.

Quadro 1: Balanço hídrico - IWA

VOLUME PRODUZIDO OU DISPONIBILIZADO	CONSUMOS AUTORIZADOS	Consumos autorizados faturados	Consumos medidos faturados (incluindo água exportada)	ÁGUAS FATURADAS
			Consumos não medidos faturados (estimados)	
	Consumos autorizados não faturados	Consumos medidos não faturados (usos próprios, caminhões-pipa)	Consumos não medidos não faturados (combate a incêndios, suprimento de água em áreas irregulares)	ÁGUAS NÃO FATURADAS
		Consumos não autorizados (fraudes)		
PERDAS	Perdas aparentes (comerciais)	Falhas do sistema comercial		
		Submedição dos hidrômetros		
		Vazamentos nas adutoras e redes de distribuição		
	Perdas reais (físicas)	Vazamentos nos ramais prediais		
		Vazamentos e extravasamentos nos reservatórios setoriais e aquedutos		

Fonte: Adaptado de Tardelli Filho (2016).

Galvão (2007) descreve que há duas abordagens para a contabilização dos volumes de água em um sistema de distribuição. Uma delas é o balanço Hídrico *Top Down* (de cima para baixo, em Português). Neste caso, parte-se do volume total entregue para a distribuição, sendo descontados todos os usos conhecidos, chegando-se ao volume perdido. A distribuição das perdas entre reais e aparentes é definida a partir do conhecimento da área de estudo ou a partir da estimativa do percentual de perdas aparentes, baseada no percentual médio de submedição em hidrômetros, no percentual médio de fraudes e no percentual médio de falhas na cobrança.

A outra abordagem é o Balanço Hídrico *Bottom Up* (de baixo para cima, em Português). Neste caso, parte-se da vazão do vazamento, quantificada por meio dos testes de mínima vazão noturna, descontam-se os usos legítimos estimados como sendo o volume de perdas reais. Mensurado esse volume, descontam-se os usos conhecidos, subtraindo-se das perdas totais, para se chegar aos volumes de perdas aparentes.

Vale mencionar que, considerando-se a complexidade dos sistemas de abastecimento de água, para Souza Junior (2014), a divisão em sistemas menores, tais como: captação, tratamento, adução, reservação e distribuição, figura-se imprescindível para a análise de cada componente do sistema e a definição das ações que proporcionem uma gestão mais eficiente. Numa abordagem mais aprofundada, o sistema de distribuição de água subdivide-se em setores, delimitando diversas áreas de abastecimento, geralmente a partir de reservatórios, ou em alguns casos, a partir de derivações em marcha de adutoras.

“O setor de abastecimento é definido pela área abastecida por um reservatório de distribuição, destinado a regularizar as vazões e equalizar as pressões na rede de distribuição. Através da implantação de reservatórios, que podem ser elevados, apoiados, enterrados ou semienterrados, é possível estabelecer setores, de forma a evitar pressões excessivas nas redes e atender os pontos mais desfavoráveis, ou seja, os pontos mais distantes ou de cota mais elevada.”

Yoshimoto *et al.* (1998) *apud* Souza Junior (2014).

Segundo a Norma Técnica Brasileira ABNT NBR 12218 (2017), um setor de abastecimento é definido como parte do sistema de distribuição de água, englobando reservatórios, estações elevatórias, redes primárias, secundárias e acessórios, dividida de forma a permitir um melhor gerenciamento do sistema.

Importante ressaltar que o gerenciamento do sistema de distribuição de água por setores de abastecimento só será viável e efetivo se os mesmos permanecerem estanques ou seja, com limites claramente definidos e isolados seja por válvulas ou por seccionamento da rede, não podendo haver entrada ou saída de água não adequadamente medida.

Ações para combate às perdas

Vicentini (2012) elenca, para o combate às perdas reais, as seguintes ações:

- Controle ativo de vazamentos: esta ação é representada pela pesquisa de vazamentos não-visíveis;
- Agilidade e qualidade nos reparos dos vazamentos: os vazamentos, visíveis ou não-visíveis, devem ser reparados no menor tempo possível, assegurando-se qualidade na execução;
- Gerenciamento de pressões: como a pressão é uma das variáveis mais importantes na quantidade de vazamentos ocorridos e no volume perdido, ações devem ser direcionadas no sentido de manter estáveis e dentro de faixas aceitáveis as pressões na rede de distribuição e nas adutoras, buscando-se a otimização das pressões piezométricas, por meio reservatórios, de estações pressurizadoras de água tratada - *boosters* e de válvulas redutoras de pressão - VRP's;
- Gerenciamento da infraestrutura: os materiais empregados na rede de distribuição e nas adutoras devem ser de boa qualidade, e a execução dos serviços de implantação e de manutenção deve ser feita por pessoal qualificado. Vale mencionar que esta ação está relacionada ao conhecimento das condições dos sistemas de abastecimento, quanto à idade das redes, aos materiais aplicados e ao histórico de manutenções executadas.

Ainda segundo Vicentini (2012), para o combate às perdas aparentes, basicamente, citam-se as seguintes ações:

- Gerenciamento da micromedição: esta ação é representada pela substituição dos hidrômetros de pequena e de grande capacidade, de forma corretiva (hidrômetro parado) ou preventiva (hidrômetro vencido pelo tempo de instalação ou pelo volume registrado);
- Gerenciamento da macromedição: envolve a medição adequada dos volumes produzidos nas Estações de Tratamento de Água - ETA's e distribuídos pelos reservatórios setoriais. É de suma importância por representar uma variável que compõe o indicador de perdas, sendo, também, referência para outros indicadores de desempenho das companhias;
- Combate a fraudes e ligações clandestinas: representa as ações que visam à coerção, busca e eliminação de fraudes nas ligações de água;
- Melhoria do cadastro comercial e do processo de apuração de consumo: representa a atividade de cadastramento das ligações no sistema comercial das companhias, bem como as investigações sobre as ligações consideradas inativas no cadastro comercial, para checar se efetivamente estão fora do rol de consumidores das companhias.

Indicadores de perdas

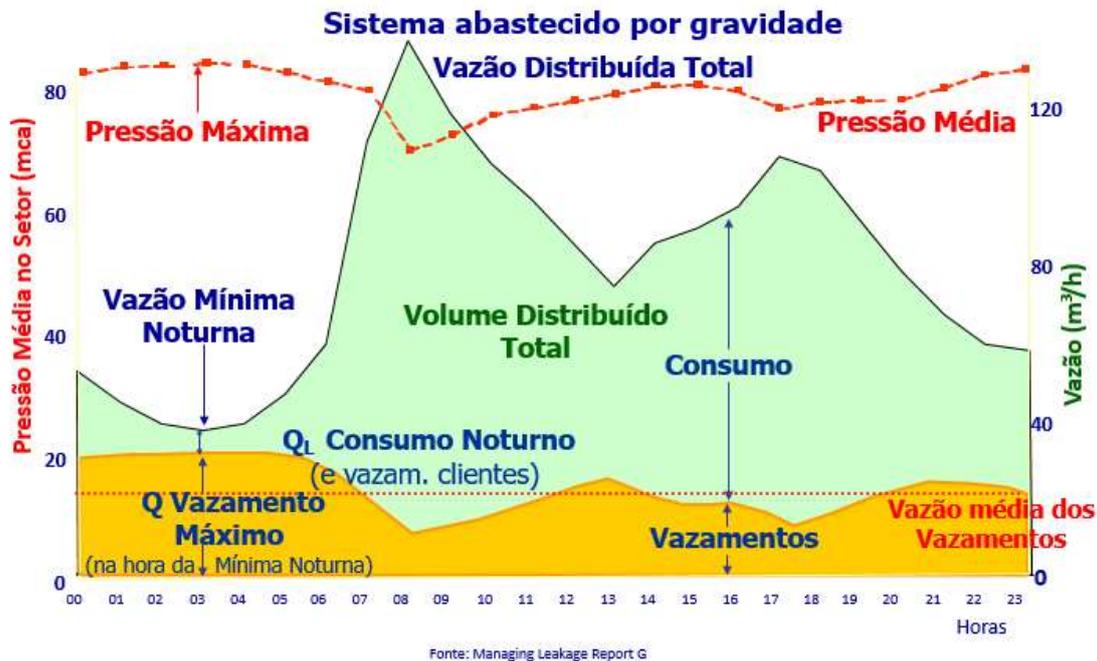
Segundo Tardelli Filho (2016), os principais indicadores utilizados para avaliação e acompanhamento das perdas em sistemas de distribuição de água são:

- Indicador Percentual (IP): é a relação entre os volumes de perdas totais em um período (geralmente anual) e os volumes de água produzidos ou disponibilizados à distribuição;
- Indicador Técnico (IT), em L/ligação.dia: é a relação entre os volumes totais perdidos em um período (geralmente anual) e o número de ligações ativas de água;
- Índice de Vazamentos da Infraestrutura (IVI), adimensional: é a relação entre o volume de perdas reais e o volume de perdas reais inevitáveis para o sistema em questão (base anual). Por sua vez, reflete o quanto o sistema está distante do volume de perdas tecnicamente possível de ser atingido;
- Índice de Perdas Aparentes (IPA), adimensional: é o mesmo conceito do IVI, sendo a relação entre o volume de perdas aparentes e um fator equivalente a 5% do volume micromedido na cidade ou região (base anual), denominado perda aparente de referência.

Vazão mínima noturna

Segundo Farley *et al.* (2008) *apud* Souza Junior (2014), a vazão mínima noturna é a menor vazão de entrada em um setor de abastecimento durante um período de 24 horas ocorrendo, nas regiões urbanas, geralmente entre 02 e 04 horas da manhã, quando o consumo é mínimo e as perdas por vazamentos atingem os níveis máximos. Ou seja, estes dados de vazões mínimas noturnas são determinantes para a avaliação das perdas reais em um sistema de abastecimento.

Apresenta-se na Figura 1, o comportamento da vazão para um sistema abastecido por gravidade, no decorrer das horas do dia.



Fonte: Adaptado de Sabesp (2011).

Medição de vazão

Coelho (1983) define medidores de água como instrumentos usados para medição de volumes que atravessam uma determinada seção. De acordo com o princípio de funcionamento, estão divididos em mecânicos, diferenciais ou deprimogêneos e especiais (ultrassônicos e eletromagnéticos).

O foco deste trabalho será o medidor eletromagnético tubular.

A Norma Técnica Brasileira ABNT NBR ISO 9104 (2000), define um medidor de vazão eletromagnético como um medidor que cria um campo magnético perpendicular ao fluxo, permitindo a determinação da vazão a partir da força eletromotriz produzida pelo movimento de fluido condutor em um campo magnético. O medidor é composto por elemento primário e por um ou mais elementos secundários. Construtivamente, o elemento primário contém um tubo de medição isolado eletricamente através do qual o fluido a ser medido escoar, um ou mais pares de eletrodos, diametralmente opostos e um eletroímã para gerar um campo magnético no tubo de medição. Já o elemento secundário contém um circuito eletrônico que converte o sinal do eletrodo em um sinal padrão de saída proporcional à vazão.

Vicentini (2012) esclarece que, como as vazões registradas nos medidores de vazão são obtidas da relação entre a velocidade do fluido e a área da seção transversal da tubulação, a precisão do medidor de vazão está diretamente relacionada ao correto dimensionamento do ponto de medição.

Pesquisa a especificações técnicas de medidores eletromagnéticos tubulares permitiu identificar que a maioria dos fabricantes trabalha com um range de medição de 0,30 m/s a 12,0 m/s.

A macromedição é a referência principal de todo o Balanço Hídrico, realizada na apuração dos volumes produzidos nas estações de tratamento de água, disponibilizados à distribuição ou disponibilizado em subsetores de abastecimento (ABES, 2015).

Estudo de caso

Jarinu é uma cidade do Estado do São Paulo. Possui área de 207,6 km² e apresentou uma população de 23.827 habitantes no último censo. Faz divisa com os municípios de Campo Limpo Paulista, Itatiba e Atibaia. Está situada a 781 metros de altitude, nas seguintes coordenadas geográficas: Latitude: 23°06'07" Sul, Longitude: 46°43'41" Oeste (CIDADE BRASIL, 2019).

Apresenta-se, na Tabela 2, a quantidade de ligações ativas de água para os anos de 2016 e 2017 e o volume de água consumido para o ano de 2017.

Tabela 2: Dados de volume consumido e quantidade de ligações ativas de água para o Município de Jarinu.

Quantidade de ligações ativas de água - 2017	8.355
Quantidade de ligações ativas de água - 2016	8.059
Volume de água consumido - 2017 (x 1.000 m ³ /ano)	1.147,60

Fonte: Snis (2019).

A média entre os anos de 2016 e 2017 resulta em 8.207 ligações ativas de água e um volume consumido médio de 95.633 m³/mês.

A região de estudo, o Setor Trieste, é abastecido a partir do reservatório localizado neste bairro, escoando por gravidade, por uma adutora de 250 mm de diâmetro, englobando, atualmente, cerca de 3.500 ligações de água, conforme delimitação apresentada na Figura 1.



Figura 1: Delimitação do Setor Trieste.

Fonte: Sabesp (2019b).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os cenários foram construídos estabelecendo-se as seguintes premissas:

O volume consumido mensal por ligação médio foi calculado dividindo-se o volume consumido médio de 95.633 m³/mês pelo número de ligações ativas médio de 8.207, resultando em 11,65 m³/mês.lig.

Os coeficientes de variação da vazão de demanda foram adotados conforme literatura ($K_1= 1,20$; $K_2= 1,50$; $K_3= 0,50$).

Os resultados de vazão de demanda estão apresentados na Tabela 3.



Tabela 3: Vazões de demanda para o Setor Trieste.

Número de ligação de água	Índice de Perdas (%)	Demanda (m³/mês.lig)	Vazão Mínima (L/s)	Vazão Média (L/s)	Vazão Máxima (L/s)
3.500	35	17,93	12,10	24,21	43,57
	30	16,65	11,24	22,48	40,46
	25	15,54	10,49	20,98	37,76
	20	14,57	9,83	19,67	35,40
2.500	35	17,93	8,65	17,29	31,12
	30	16,65	8,03	16,06	28,90
	25	15,54	7,49	14,99	26,97
	20	14,57	7,02	14,05	25,29
1.500	35	17,93	5,19	10,37	18,67
	30	16,65	4,82	9,63	17,34
	25	15,54	4,50	8,99	16,18
	20	14,57	4,21	8,43	15,17

Considerando-se a ocupação atual de 3.500 ligações de água, para os cenários 1A, 2A e 3A partiu-se do índice de perdas atual, da ordem de 35%; para os cenários 4A, 5A e 6A, de 30%; para os cenários 7A, 8A e 9A, de 25% e, para os cenários 10A, 11A e 12A, de 25%. Na sequência, partiu-se para a variação dos diâmetros da adutora que abastece o Setor Trieste, começando-se pelo diâmetro atualmente implantado (250 mm), diminuindo-se até 2 diâmetros comerciais (200 mm e 150 mm). As velocidades mínima, média e máxima resultantes foram, então, comparadas aos limites mínimo (de acordo com o range do medidor de vazão) e máximo (de acordo com os limites recomendados pela Norma Técnica Sabesp NTS 024). Os resultados desta simulação estão apresentados graficamente nas Figuras 2, 3, 4 e 5.

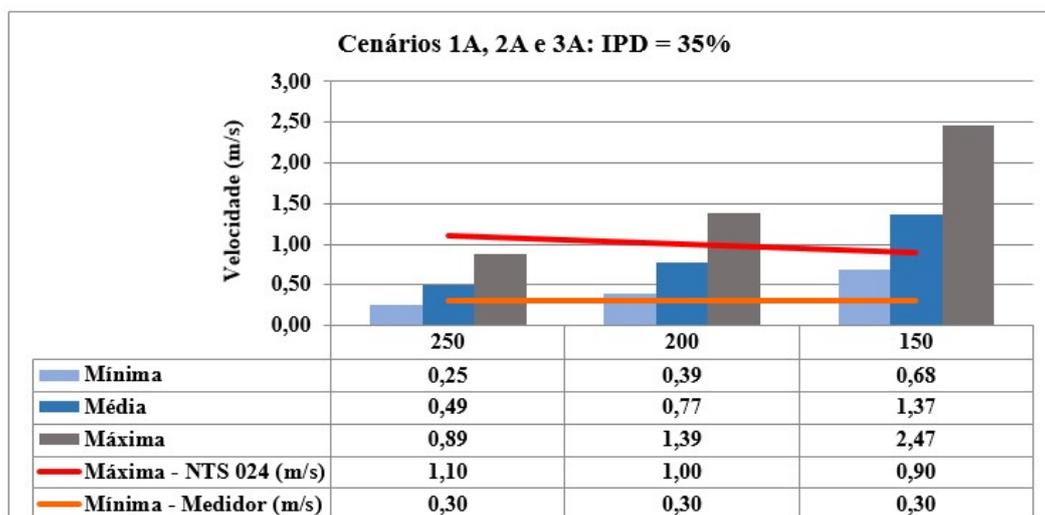


Figura 2: Cenários 1A, 2A e 3A de velocidade para o Setor de Abastecimento Trieste.

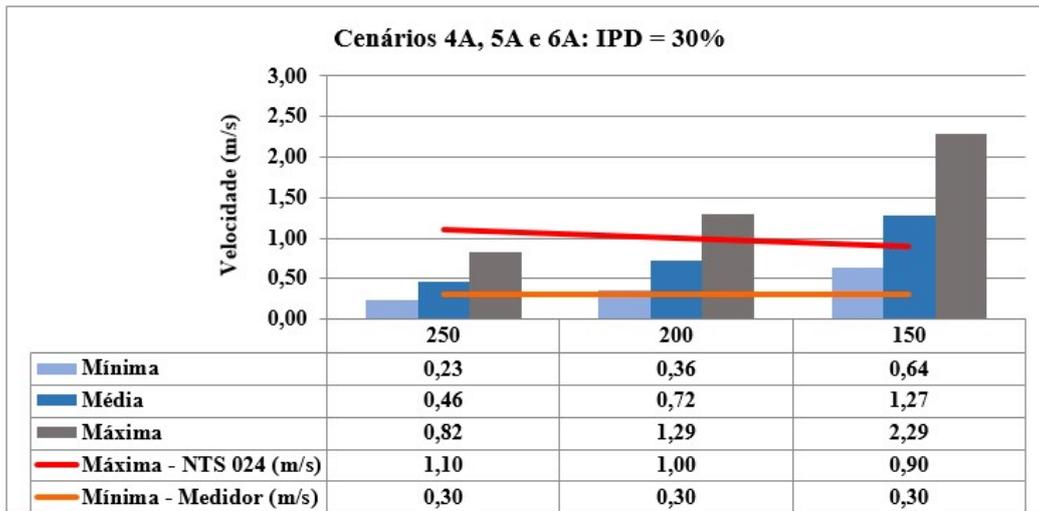


Figura 3: Cenários 4A, 5A e 6A de velocidade para o Setor de Abastecimento Trieste.

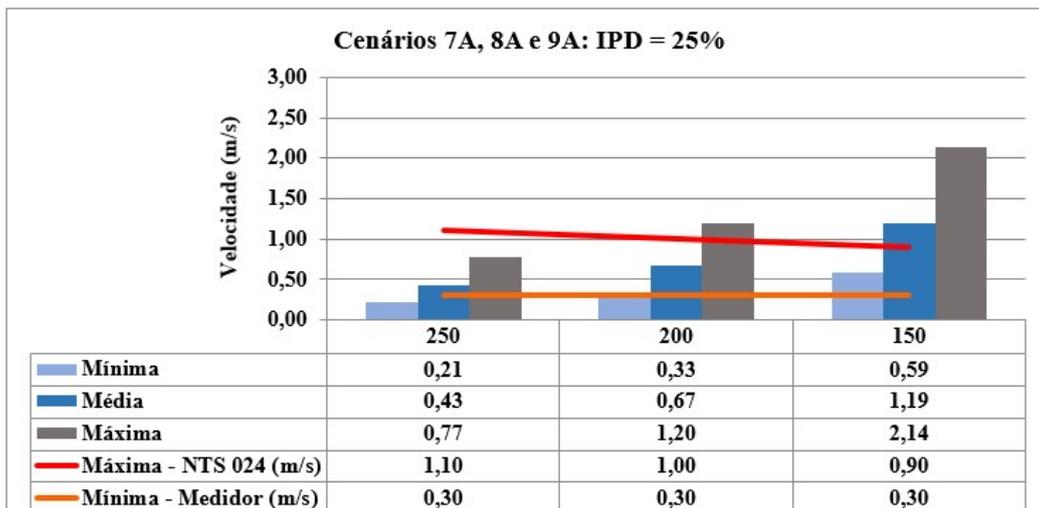


Figura 4: Cenários 7A, 8A e 9A de velocidade para o Setor de Abastecimento Trieste.

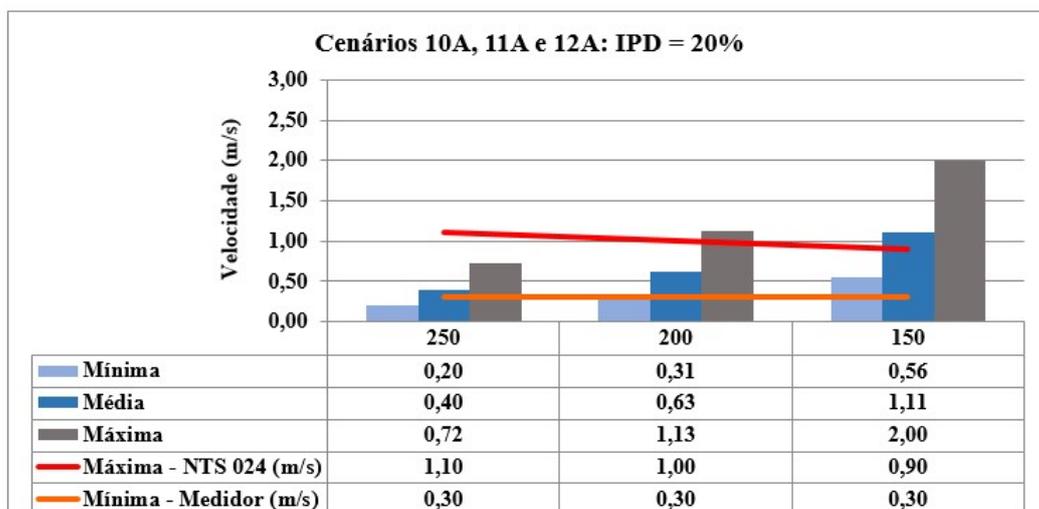


Figura 5: Cenários 10A, 11A e 12A de velocidade para o Setor de Abastecimento Trieste.

Analisando-se os gráficos apresentados nas Figuras 2, 3, 4 e 5, verifica-se que, em nenhum dos cenários, o diâmetro de 150 mm mostrou-se viável para a distribuição considerando-se a ocupação atual do Setor de Abastecimento em estudo. Já o diâmetro de 200 mm, embora tenha apresentado velocidades máximas acima do valor máximo recomendado pela NTS 024, as velocidades referentes à vazão média não atingiram este valor máximo recomendado pela NTS 024. Por outro lado, no caso do diâmetro de 250 mm, mesmo as velocidades máximas não atingem o valor máximo recomendado pela NTS 024 em nenhum dos cenários provavelmente pelo grau de ocupação ainda não ter alcançado o dimensionado para final de plano. É possível chegar-se ao entendimento, portanto, de que o diâmetro de 200 mm, considerando-se a ocupação atual do Setor de Abastecimento em estudo, encontra-se numa situação intermediária e mais favorável em termos de medição de vazão nos horários de menor consumo, por apresentar uma velocidade mínima acima de 0,30 m/s, valor mínimo necessário para o bom funcionamento da maioria dos medidores eletromagnéticos disponíveis no mercado ou que, a partir do qual, os erros de medição diminuem.

Vale mencionar que a maioria dos loteamentos são ocupados de maneira gradativa. Desta forma, prever o medidor de vazão no mesmo diâmetro da adutora de distribuição (dimensionada para final de plano), pode acarretar significativos erros de medição e, até mesmo, inviabilizar o controle de perdas naquela região. A título de ilustração, foram simulados mais alguns cenários, conforme descrito a seguir.

Considerando-se uma ocupação de 2.500 ligações de água, para os cenários 1B, 2B e 3B partiu-se do índice de perdas de 35%; para os cenários 4B, 5B e 6B, de 30%; para os cenários 7B, 8B e 9B, de 25% e, para os cenários 10B, 11B e 12B, de 25%. Da mesma forma, na sequência, partiu-se para a variação dos diâmetros, 250 mm, 200, mm e 150 mm. As velocidades mínima, média e máxima resultantes foram, então, comparadas aos limites mínimo (de acordo com o range do medidor de vazão) e máximo (de acordo com os limites recomendados pela Norma Técnica Sabesp NTS 024). Os resultados desta nova simulação estão apresentados graficamente nas Figuras 6, 7, 8 e 9.

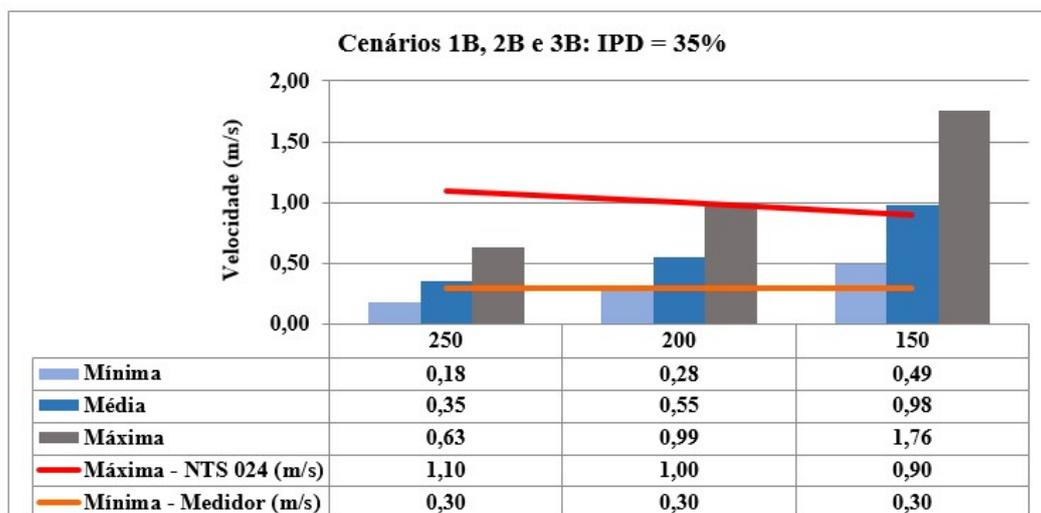


Figura 6: Cenários 1B, 2B e 3B de velocidade para o Setor de Abastecimento Trieste.

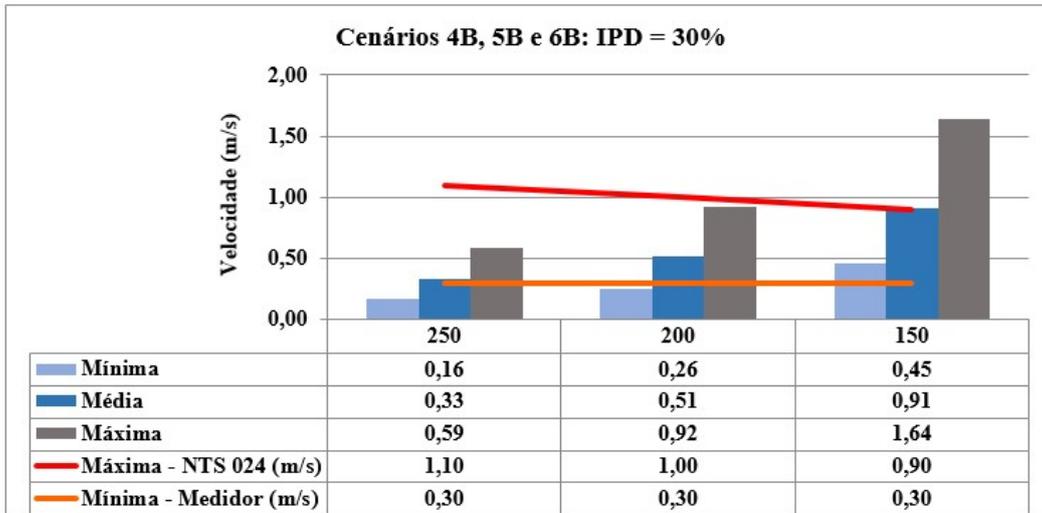


Figura 7: Cenários 4B, 5B e 6B de velocidade para o Setor de Abastecimento Trieste.

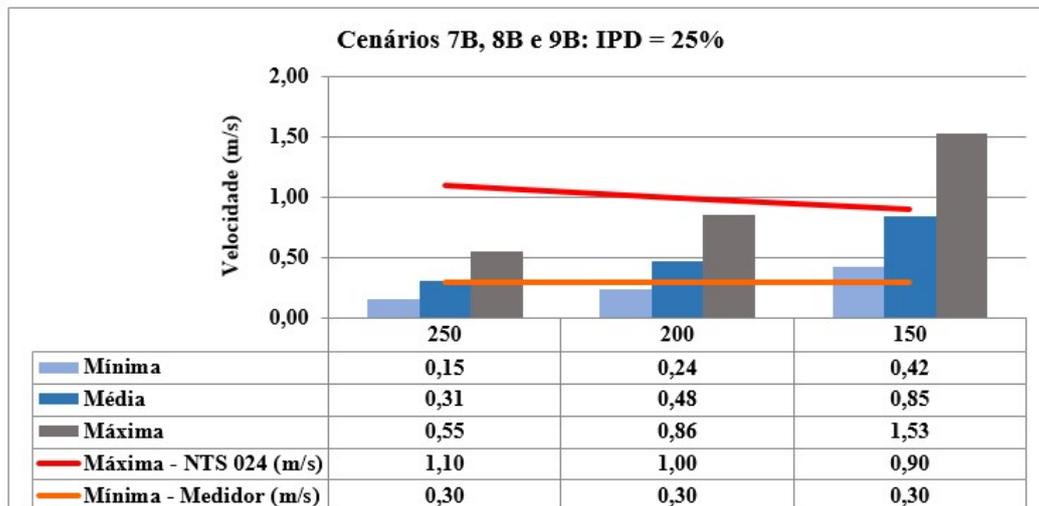


Figura 8: Cenários 7B, 8B e 9B de velocidade para o Setor de Abastecimento Trieste.

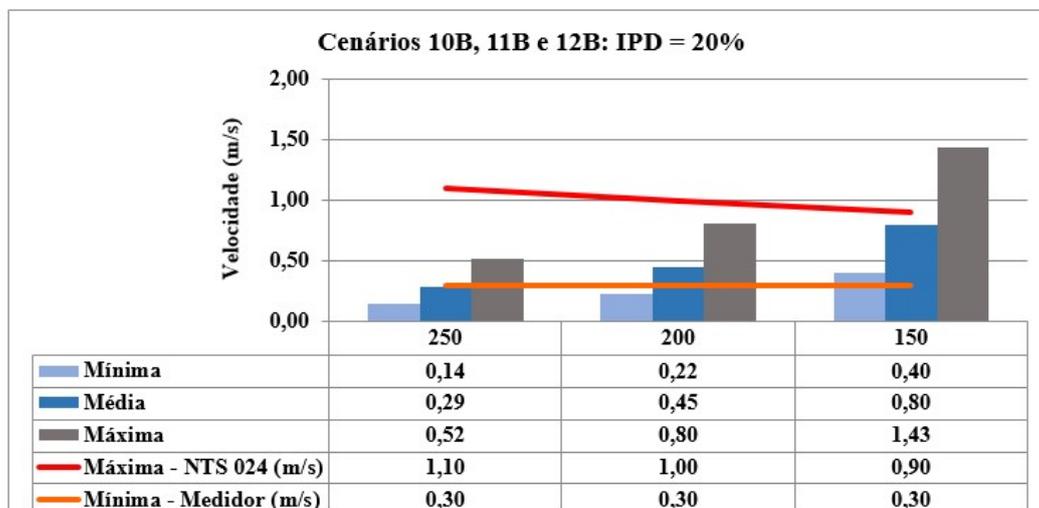


Figura 9: Cenários 10B, 11B e 12B de velocidade para o Setor de Abastecimento Trieste.

Considerando-se uma ocupação de 1.500 ligações de água, para os cenários 1C, 2C e 3C partiu-se do índice de perdas de 35%; para os cenários 4C, 5C e 6C, de 30%; para os cenários 7C, 8C e 9C, de 25% e, para os cenários 10C, 11C e 12C, de 25%. Na sequência, partiu-se para a variação dos diâmetros, 250 mm, 200, mm e 150 mm. As velocidades mínima, média e máxima resultantes foram, então, comparadas aos limites mínimo (de acordo com o range do medidor de vazão) e máximo (de acordo com os limites recomendados pela Norma Técnica Sabesp NTS 024). Os resultados desta última simulação estão apresentados graficamente nas Figuras 10, 11, 12 e 13.

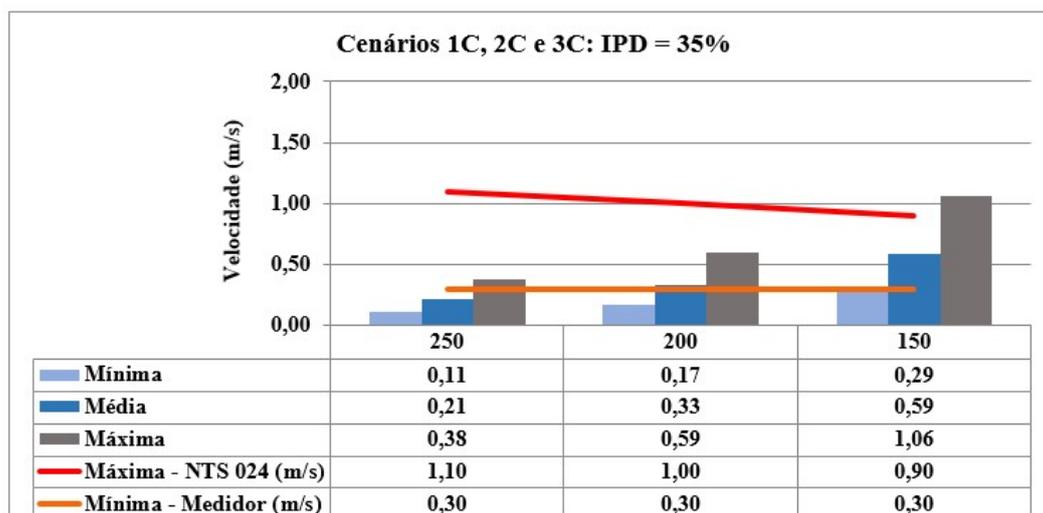


Figura 10: Cenários 1C, 2C e 3C de velocidade para o Setor de Abastecimento Trieste.

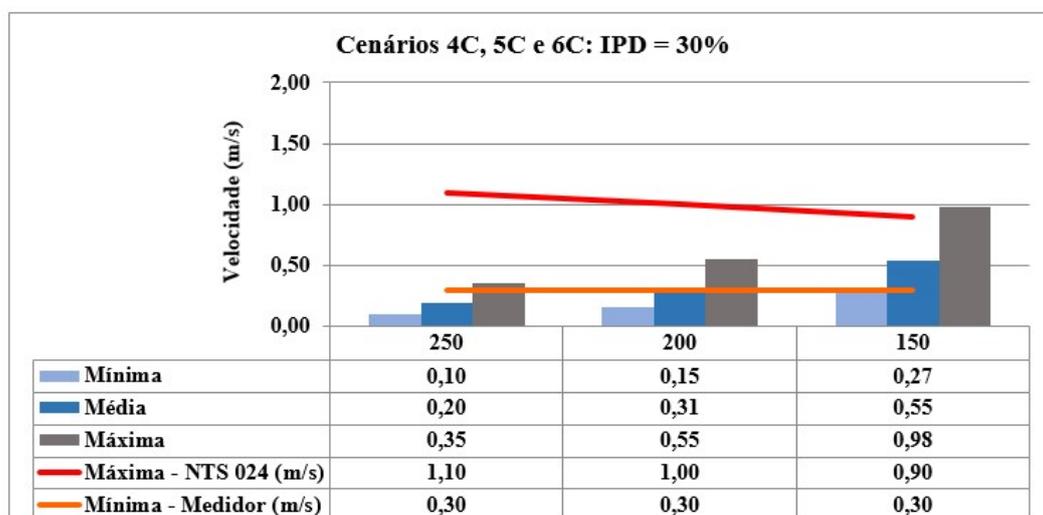


Figura 11: Cenários 4C, 5C e 6C de velocidade para o Setor de Abastecimento Trieste.

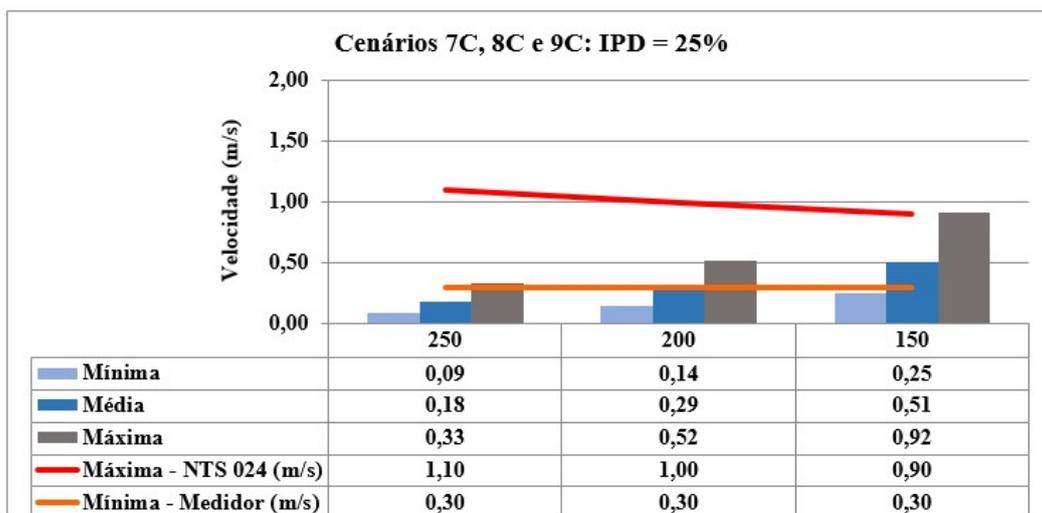


Figura 12: Cenários 7C, 8C e 9C de velocidade para o Setor de Abastecimento Trieste.

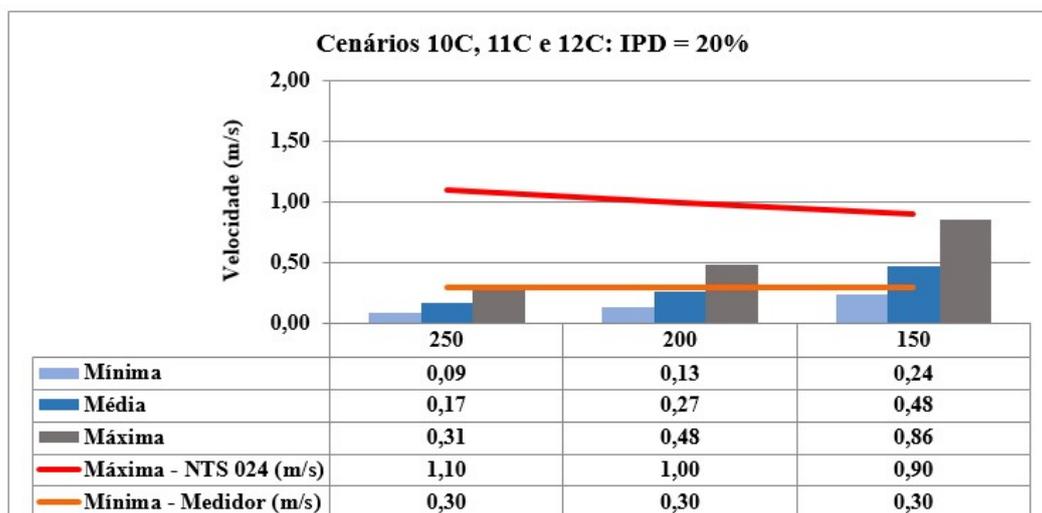


Figura 13: Cenários 10C, 11C e 12C de velocidade para o Setor de Abastecimento Trieste.

Analisando-se, por exemplo o Cenário 1C, verifica-se que a velocidade máxima na tubulação de 250 mm está muito abaixo do limite recomendado pela Norma Técnica Sabesp NTS 024 e bem próxima do limite mínimo necessário para o bom funcionamento do medidor de vazão. Ou seja, a medição de vazão fica quase que totalmente comprometida em tempo integral.

Neste contexto, os dados apresentados nas Figuras 6 a 13 explicitam a importância de a implantação da medição de vazão estar atrelada à ocupação do empreendimento.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

No desenvolvimento deste trabalho, procurou-se mostrar o comportamento de um determinado ponto de medição de vazão localizado na saída de um reservatório de distribuição por meio de cenários construídos a partir de indicadores operacionais e da aplicação de conceitos baseados na Engenharia Hidráulica clássica.

As avaliações realizadas chamam a atenção para um ponto fundamental que é o correto dimensionamento dos medidores de vazão, procurando-se respeitar o range de medição dos equipamentos.

Aos gestores de perdas, a abordagem deste trabalho pode ser vista como diretriz para melhoria do processo de implantação e/ou adequação dos pontos de medição de vazão, onde, na maioria das vezes, em empreendimentos ainda em fase de início de plano, a medição das mínimas vazões noturnas configura-se inviável.

Por fim, considerando-se que cada Município possui particularidades, é necessária uma análise mais aprofundada do perfil de consumo de cada região visando um dimensionamento seguro e otimizado tanto em termos de abastecimento como de medição de vazão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABENDE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS. **Apostila do Curso de detecção de vazamentos não visíveis. Métodos acústicos**. 1ª Edição. São Paulo, 2003.

ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Controle e redução de perdas nos sistemas públicos de abastecimento de água. Posicionamento e contribuições técnicas**. 95p. Out. 2015. Disponível em: http://abes-dn.org.br/pdf/28Cbesa/Perdas_Abes.pdf. Acesso em: 22 abr. 2019.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9104:2000 - Medição de vazão de fluidos em condutos fechados - Métodos para avaliação de desempenho de medidores de vazão eletromagnéticos para líquidos**. 17p. 2000.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12218:2017 - Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público - Procedimento**. 23p. 2017.

AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ. **Disponibilidade hídrica**. Disponível em: <http://www.agenciapcj.org.br/novo/informacoes-das-bacias/disponibilidade-hidrica>. Acesso em: 29 mar. 2019.

ALEGRE, H. *et al.*. **Performance Indicators for Water Supply Services. Second Edition**. IWA Publishing, 2006.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. **Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Política Nacional de Recursos Hídricos**. Brasília, DF. Jan. 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm. Acesso em: 03 mai. 2019.

CIDADE BRASIL. **Município de Jarinu**. Disponível em: <https://www.cidade-brasil.com.br/municipio-jarinu.html>. Acesso em: 03 mai. 2019.

COELHO, Adalberto Cavalcanti. **Medição de água e controle de perdas**. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária - ABES. p. 3-13. 1983.

FARLEY *et al.*. **The Manager's Non-Revenue Water Handbook a Guide to Understanding Water Losses. Ranhill Utilities Berhad and the United States Agency for International Development (USAID)**. 110p. Malaysia, 2008.

GALVÃO, José Ricardo Bueno. **Avaliação da relação pressão x consumo, em áreas controladas por válvulas redutoras de pressão (VRPs). Estudo de caso: rede de distribuição de água da Região Metropolitana de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. 247p. São Paulo, 2007.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Lei das Águas 20 anos**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/informma/item/10990-mes-das-aguas-2017.html>. Acesso em: 29 mar. 2019.

PALO, Paulo Rogério. **Avaliação da eficácia de modelos de simulação hidráulica na obtenção de informações para diagnósticos de perdas de água**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. 169p. São Paulo, 2010.

PORTO, Rodrigo de Melo Porto. **Hidráulica básica**. 3ª Edição. Editora EESC-USP. p. 169-188. 2004.

SABESP - COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Utilização do FP - fator de pesquisa de vazamentos e da vazão mínima noturna para controle das perdas reais**. In: 6º Workshop de Combate às Perdas. Unidade de Negócio Vale do Ribeira. Registro, SP. 6 jul. 2011.

SABESP - COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Norma Técnica Sabesp. NTS 024 - Redes de distribuição de água. Elaboração de Projetos. Procedimento**. 3p. Mai. 1999. Disponível em: <http://www2.sabesp.com.br/normas/>. Acesso em: 26 mar. 2019. 2019 a.

SABESP - COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Unidade de Negócio Capivari / Jundiaí. Divisão de Itatiba. Posto de Operação de Jarinu.** Consulta verbal em: 03 mai. 2019. 2019b.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Série Histórica.** Disponível em: <http://app4.cidades.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em: 03 mai. 2019.

SOUZA JÚNIOR, José do Carmo de. **Distritos de medição e controle como ferramenta de gestão de perdas em redes de distribuição de água.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. 152p. Campinas, 2014.

TARDELLI FILHO, Jairo. **Aspectos relevantes do controle de perdas em sistemas públicos de abastecimento de água.** Revista DAE. São Paulo. p. 6-20. Jan.-abr. 2016.

VICENTINI, Líliliana Pedroso. **Componentes do balanço hídrico para avaliação de perdas em sistemas de abastecimento de água.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. 196p. São Paulo, 2012.

YOSHIMOTO, P. M.; TARDELLI FILHO, J.; SARZEDAS, G. L. **Controle da Pressão na Rede.** Documento Técnico de Apoio DTA D1. Brasil. Ministério das Cidades. Programa Nacional de Combate ao desperdício de água. 43p. Brasília, 1998.