



## **43 - AVALIAÇÃO DAS VAZÕES DE VAZAMENTOS DE ÁGUA EM REDES, RAMAIS E CAVALETES**

### **RESUMO**

Em sistemas de abastecimento, as perdas de água representam uma relevante parcela da água produzida pelas companhias de saneamento. Notadamente, a maior fração de perdas corresponde aos vazamentos que ocorrem em redes, ramais e cavaletes. Entretanto, a correta quantificação das mesmas se depara com dificuldades inerentes à aleatoriedade dos materiais utilizados e às próprias características e dinamicidade dos sistemas de abastecimento.

Nesse contexto, o presente trabalho visa quantificar a vazão dos vazamentos em redes, ramais e cavaletes através de medições de vazamentos em campo ocorridos nos municípios de São Paulo e São José dos Campos. Adicionalmente, foram coletados dados de materiais, pressões e locais dos vazamentos devido à sua direta relação com as vazões de vazamentos. Os dados obtidos foram analisados estatisticamente e os resultados serão apresentados no trabalho, contribuindo para o levantamento de estimativas de perdas bem como de recuperação de volumes através de ações de perdas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Vazão de vazamentos, redes de distribuição

### **INTRODUÇÃO**

As perdas de água no abastecimento representam um contínuo desafio às companhias de saneamento, demandando constante manutenção das estruturas que se deterioram com o tempo e a adequada gestão comercial dos clientes (TSUTIYA, 2006). Além disso, constituem um importante indicador de eficiência operacional, pois a sua correta gestão pressupõe baixos índices de perdas.

Os vazamentos constituem a maior parcela de toda a água perdida em redes de distribuição das companhias de saneamento do Brasil. Apesar de sua importância para a gestão das perdas, há poucos dados quantitativos disponíveis de vazões de água perdida nos vazamentos. As companhias de saneamento no Brasil e no mundo apresentam seus índices de perdas calculados a partir de balanços de volume macromedido versus micromedido na área de concessão da empresa ou em áreas geográficas menores como distritos de medição ou setores de abastecimento. Apesar destes indicadores serem de extrema importância, nem sempre são sensíveis às ações para redução de perdas, dificultando aos gestores avaliar a relação custo benefício destas ações. Nesse contexto, contabilizar o volume de água recuperado por estas ações a partir das vazões de vazamentos reparados nas redes ramais e cavaletes seria de grande valia. No entanto, caracterizar tais vazões de vazamentos não é um problema de fácil solução, razão pela qual tais dados são inexistentes na literatura até onde foi possível verificar; as pesquisas nesta área tem obtido mais sucesso em modelos para identificar os pontos de vazamento e não medir o vazamento (WU; YIPENG & LIU; SHUMING, 2017).

O presente trabalho apresenta os resultados de um estudo pioneiro que busca caracterizar as vazões de vazamentos em redes, ramais e cavaletes através de medições. Ao todo, foram coletadas 1.662 medições de vazão de vazamentos em redes, ramais e cavaletes reparados no ano de 2017 no município de São Paulo e São José dos Campos. Além da vazão de vazamento, outros dados como a pressão antes e após o reparo de vazamento, o tipo de material da rede, a localização e o tipo de rompimento do vazamento também foram levantados, de forma a analisar suas possíveis influências nas vazões.

Os resultados obtidos consistem em vazões de vazamentos caracterizadas estatisticamente pelas médias das medições das vazões de vazamentos agrupadas por local (rede, ramal ou cavalete) e material. Como as caracterizações foram feitas por amostragem, uma condição extremamente necessária para sua utilização é considerar as margens de erro inversamente proporcionais à quantidade de amostras.

A análise apontou margens de erro aceitáveis para aplicações reais, porém para algumas situações o aumento na amostragem de dados poderia garantir maior confiabilidade das vazões características.

## OBJETIVO

Apresentar medições reais de vazões de vazamentos para auxiliar os gestores das companhias de saneamento na elaboração de diagnósticos de perdas e no direcionamento adequado dos recursos existentes para o combate aos vazamentos em redes, ramais e cavaletes.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado concomitantemente aos serviços rotineiros de reparos de vazamentos executados nos municípios de São Paulo e São José dos Campos no período de janeiro de 2016 a setembro de 2017. Estes serviços foram acompanhados por fiscais com a tarefa de medir as vazões dos vazamentos antes de serem reparados. Além das medições, diversas informações foram anotadas pelos fiscais, entre elas: endereço do local do vazamento, características dos vazamentos quanto ao local na rede de distribuição, material do tubo ou conexão, pressões na rede antes e depois do reparo, horário das medições, tipo de ruptura, valores das medições dos vazamentos, entre outros. Do total de serviços acompanhados pelos fiscais, 1662 registros resultaram em medições válidas de vazamentos. Um ponto importante a salientar é que todas as medições foram feitas em vazamentos que, em sua maioria, afloraram à superfície e, portanto, eram visíveis.

A medição de vazão de vazamentos foi realizada através de dois métodos: o primeiro composto por 1 cronômetro, 2 recipientes graduados e um anteparo direcionador do jato de água e o segundo por um medidor de vazão de vazamento portátil - modelo - FLQ-02 (de fabricação japonesa). Ambos os métodos utilizaram um manômetro para medição da pressão da água na rede de abastecimento antes e após o reparo.



**Figura 1. Kit de medição e medidor de vazão de vazamento**

Adicionalmente, foram coletados dados que contribuem com a magnitude das vazões de vazamentos, denominados neste trabalho como cofatores:

- Localização do ponto de vazamento: rede, ramal ou cavalete;
- Material da rede/ramal;
- Tipo de rompimento: trinca, corte ou furo.

## MÉTODOS DE ANÁLISE ESTATÍSTICA

O presente estudo considera como universo de estudo os vazamentos com vazão  $< 2,5 \text{ m}^3/\text{h}$ , em atendimento a suposição necessária para utilização do modelo de análise de dados adotado neste trabalho; analisando-se os dados das vazões de vazamento, observou-se que o histograma das vazões  $< 2,5 \text{ m}^3/\text{h}$  se ajusta a uma distribuição de probabilidades normal em base logarítmica 10, ver Figura 2. Além disso, estima-se que estas vazões, nos locais estudados, correspondem aproximadamente a 70 % - 85 % do volume perdido nos vazamentos reparados, o que é bem representativo.

As análises estatísticas consistiram em inferir a vazão média populacional a partir da vazão média das amostras de medições, para cada condição dos cofatores. Em seguida, os efeitos dos cofatores foram avaliados utilizando a ferramenta estatística de comparações entre médias.

#### ▪ **Caracterização da vazão de vazamento pela estimativa da média de uma população**

A média populacional foi estimada pela média amostral e o intervalo de confiança (I.C.) adotado foi de 95%. O I.C. 95% é obtido pela média amostral  $\pm E$ , onde  $E$  é a margem de erro admitida para a média amostral e 95% é confiança de que esse intervalo contenha a média populacional. A margem de erro  $E$  é calculada pela fórmula  $E = k \times E.P.M.$ , onde  $k$  é um fator que depende do tamanho da amostra e o  $E.P.M.$  é o erro padrão da média amostral.

Cada condição de análise agrupa vazamentos nas mesmas condições de local, material, tipo de vazamento e rompimentos, onde o tamanho da amostra é representado por  $n$ . Para cada condição de análise, o intervalo de confiança I.C. 95% foi indicado por um intervalo com limite inferior e superior,  $L\_INF$  e  $L\_SUP$ , respectivamente, na unidade do vazamento ou por  $E$  em termos percentuais.

#### ▪ **Visualização da vazão de vazamento pela estimativa do Diâmetro Equivalente (DE)**

O diâmetro equivalente dos rompimentos que causaram os vazamentos, tais como furos, trincas, cortes, entre outros, foi utilizado para descrever as vazões de vazamentos através das seguintes relações descritas nas equações a seguir:

$$Q = C_d \times A_l \times \sqrt{2 \times g \times H} \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial A_l} = C_d \times \sqrt{2 \times g \times H} = 8,6 \times \sqrt{H} \quad (2)$$

$$Q = C_d \times \pi \times \frac{D^2}{4} \times \sqrt{2 \times g \times H} \quad (3)$$

Onde  $Q$  é a vazão medida com o kit ou o medidor ( $m^3/s$ );  $H$  é a pressão medida com o manômetro (mca);  $g$  é a aceleração da gravidade igual a  $9,8 m/s^2$ ;  $C_d$  é o coeficiente de descarga igual a  $0,62 \pm 10\%$ , assumindo que a área do rompimento é circular;  $A_l$  é a área do rompimento estimada a partir da equação de Bernoulli ( $m^2$ ) e  $D$  é o diâmetro do círculo com área equivalente a  $A_l$ .

## RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados das estimativas das vazões de vazamentos ( $m^3/h$ ) em função dos locais de ocorrência de vazamentos na rede de distribuição, materiais do tubo ou conexões e pressões na rede.

### a. **Histograma das vazões de vazamento por local de ocorrência**

Os histogramas das vazões de vazamento divididos em redes, ramais e cavaletes podem ser visualizados na Figura 2. O traço vermelho separa o grupo 1 (vazões menores que  $2,5 m^3/h$ ) do grupo 2, maiores que  $2,5 m^3/h$ .

### Histograma de Vazão Vazamento (l/s)

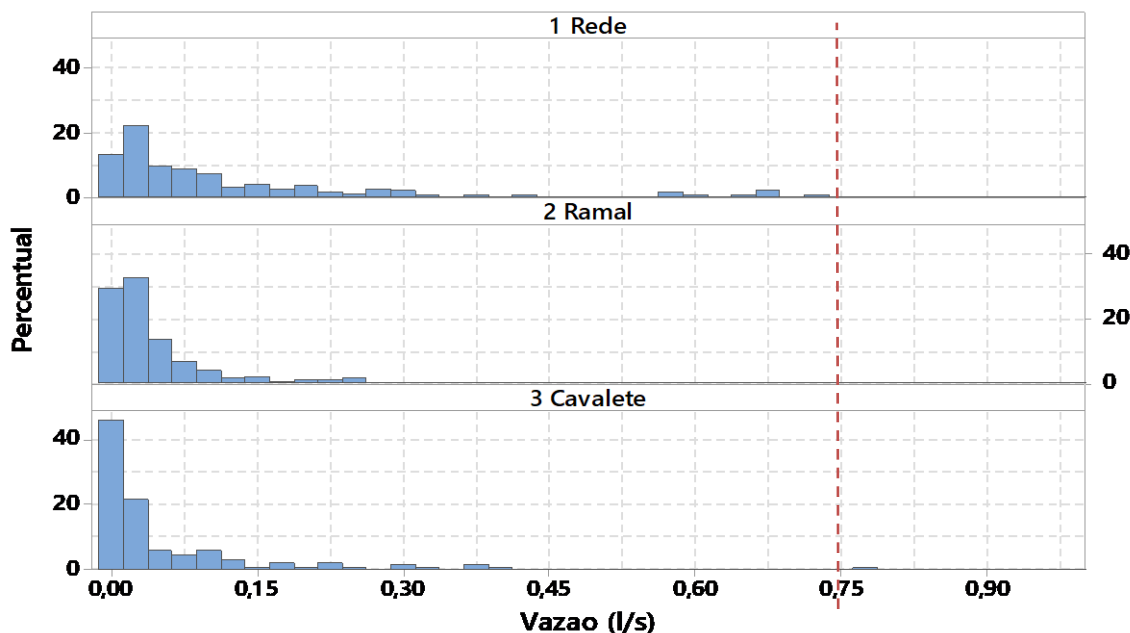


Figura 2. Histograma das vazões de vazamento em redes, ramais e cavaletes

As vazões de vazamentos maiores que 2,5 m<sup>3</sup>/h (grupo 2) representam menos de 2% do conjunto de amostras e, por desestabilizarem a caracterização estatística das vazões, foram desconsideradas para efeito deste estudo.

#### b. Estimativas das vazões de vazamentos por local do vazamento

A Figura 3 apresenta as vazões médias caracterizadas para o local de vazamento ocorrido para um intervalo de confiança (IC) de 95%.

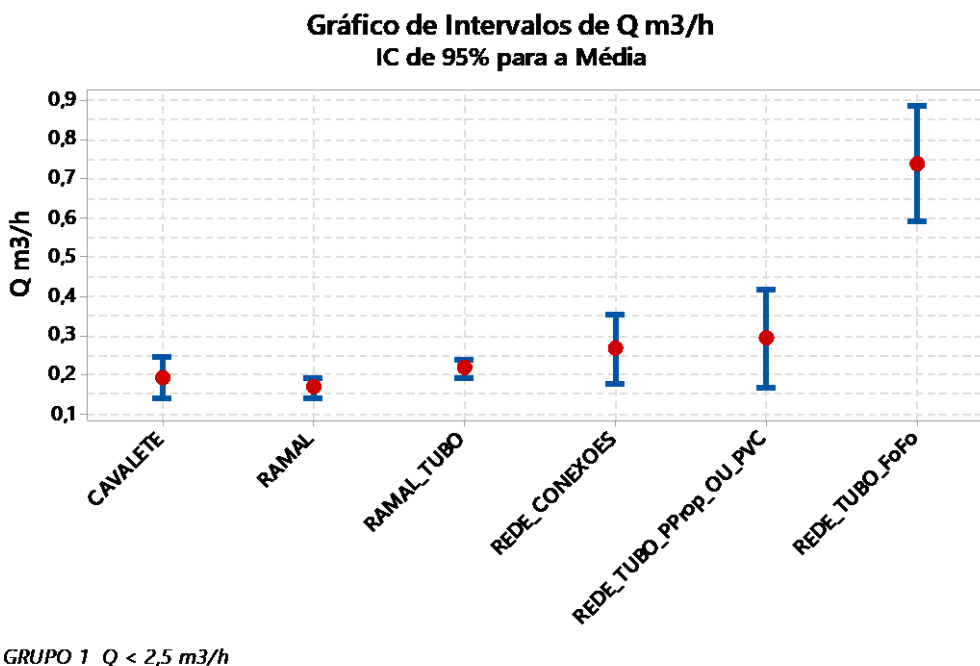


Figura 3. Vazões médias por local do vazamento

**c. Estimativas das vazões de vazamentos por local e material do ponto de vazamento**

As vazões de vazamentos médias divididas pelo material do local de vazamento podem ser visualizadas na Figura 4 para um IC de 95%.

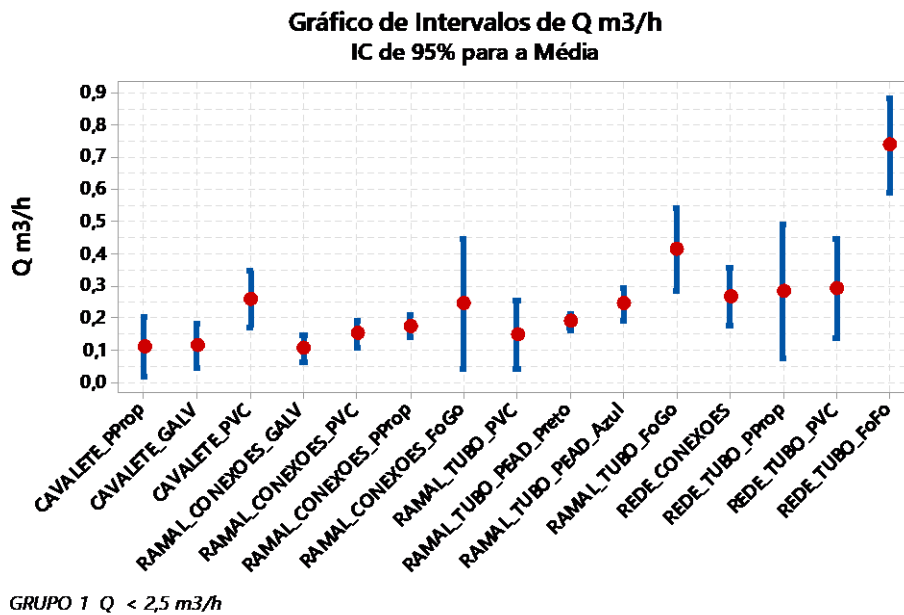


Figura 4. Vazões médias por material do local de vazamento

**d. Estimativa das vazões de vazamentos por local do vazamento e intervalo de pressão**

As vazões de vazamento em redes e ramais foram estratificadas de acordo com intervalos de pressão, conforme Figura 5.

Porém, os ramais foram o único local com amostragem suficiente para gerar uma visão por pressão, pois, as vazões nas redes apresentam margens de erros muito superiores aos ramais.

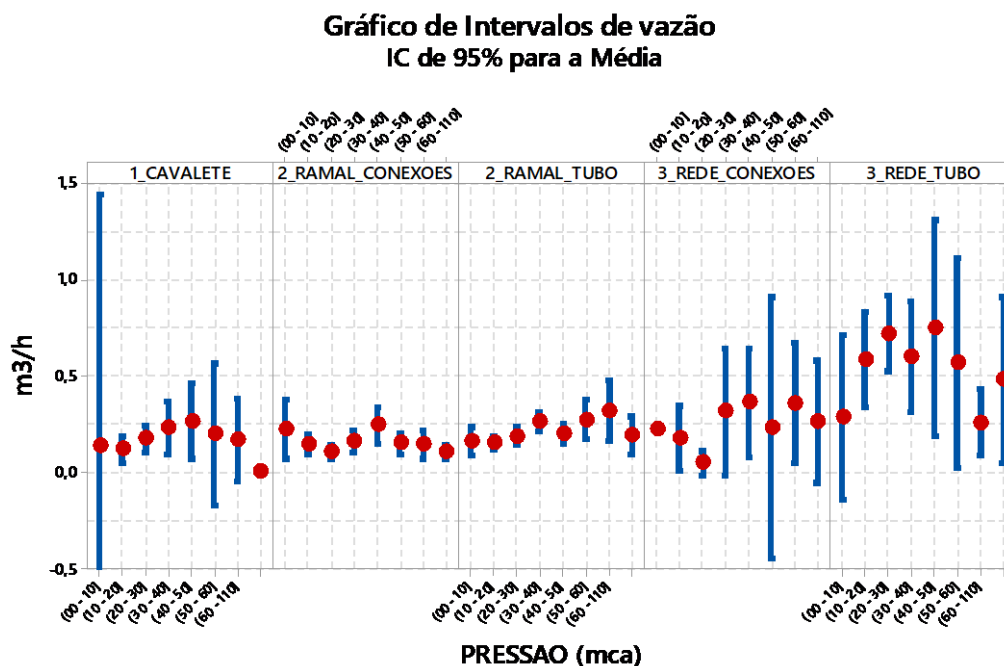
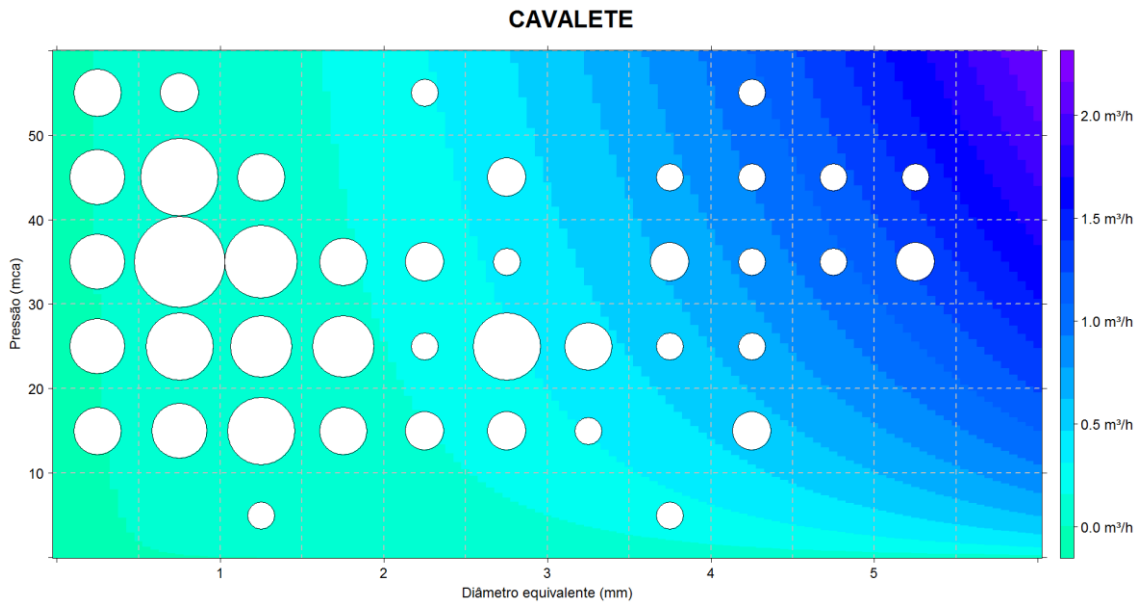


Figura 5. Vazões médias dos vazamentos agrupados por local de ocorrência e pressão

**e. Vazões de vazamentos pelo diâmetro equivalente**

As Figuras 6, 7, 8 e 9 ilustram as ocorrências dos vazamentos nas tábuas de curvas de nível da vazão pelo diâmetro equivalente e pressão; em redes, ramais e cavaletes. Adicionalmente, os diâmetros dos círculos representam a frequência de ocorrência dos vazamentos.

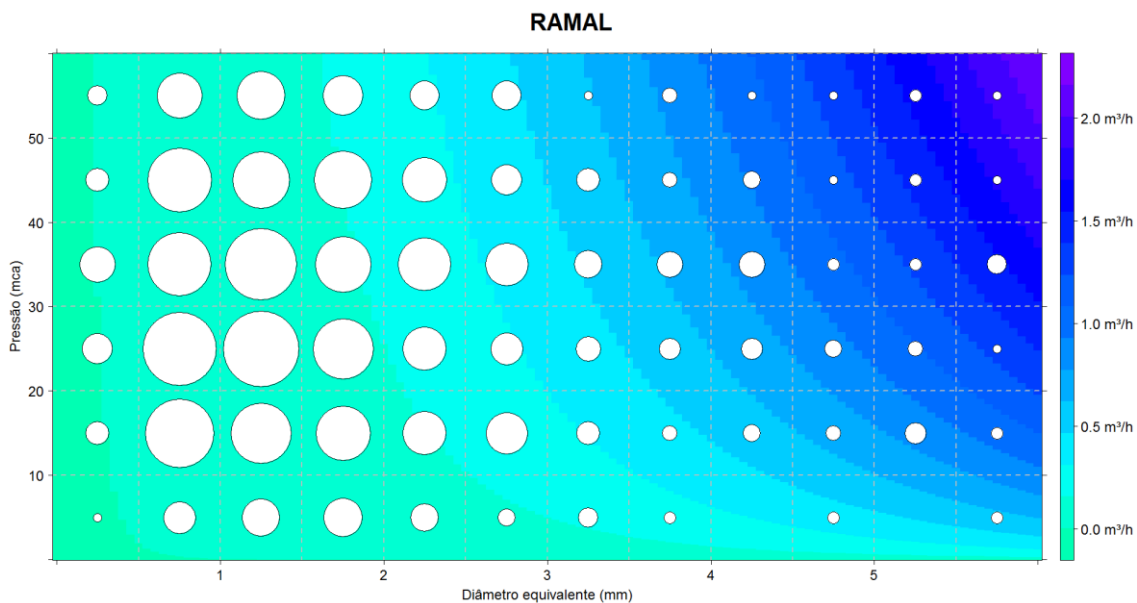
Na Figura 6, os vazamentos nos cavaletes concentram-se em diâmetros equivalentes menores que 1,25 mm , entre 10 a 50 mca e vazões menores que 1 m<sup>3</sup>/h.



**Figura 6. Tábua de curvas de nível da vazão pelos diâmetros equivalentes e pressão – CAVALETES em n° absoluto n= 126**

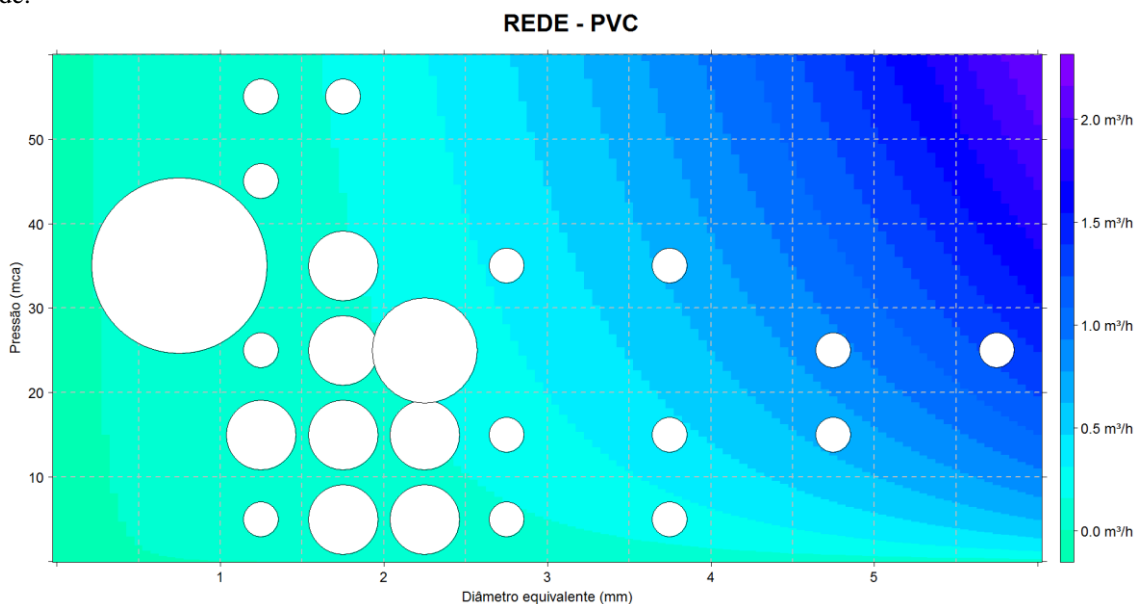
Já na Figura 7, os vazamentos em ramais são mais frequentes em diâmetros equivalentes menores que 1,75 mm, entre 10 a 60 mca e baixas vazões de vazamentos, menores que 1 m<sup>3</sup>/h.



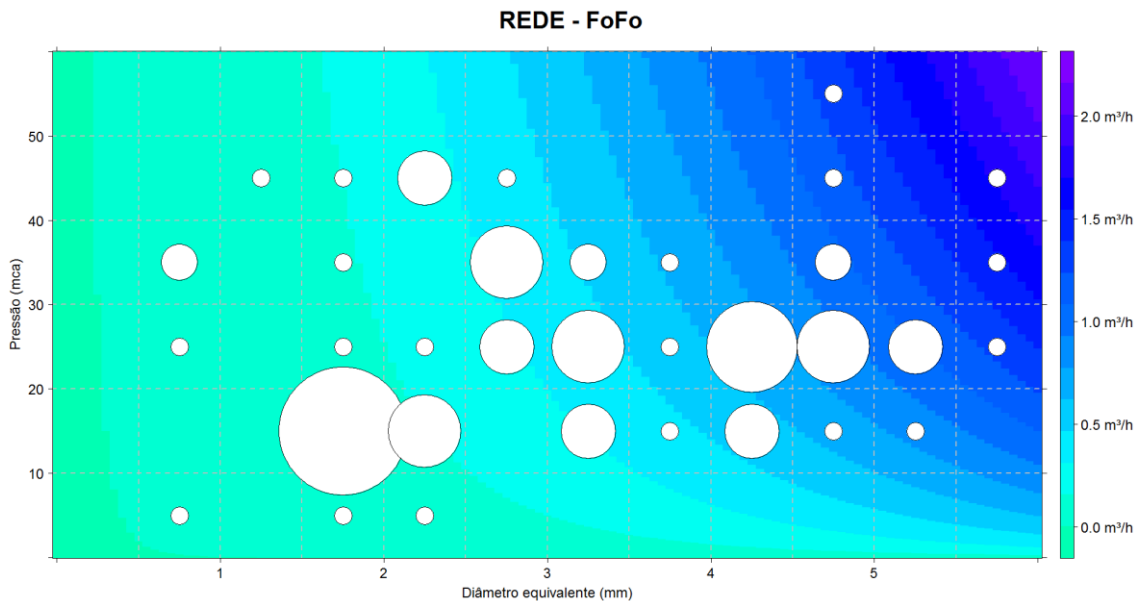


**Figura 7. Tábua de curvas de nível da vazão pelos diâmetros equivalentes e pressão –RAMAIS em n° absoluto n=1218**

As Figuras 8 e 9 ilustram as curvas de nível de vazão de vazamentos em redes de PVC e FoFo. Observa-se que em ambos os casos, os vazamentos concentram-se em rompimentos de diâmetro equivalente maiores se comparados aos ramais e cavaletes. Adicionalmente, verifica-se uma maior dispersão entre os diâmetros equivalentes com mais vazamentos e se evidencia a menor quantidade de dados obtida para os vazamentos em rede.



**Figura 8. Tábua das curvas de nível da vazão pelos diâmetros equivalentes e pressão –REDES PVC em n° absoluto**



**Figura 9. Tábua das curvas de nível da vazão pelos diâmetros equivalentes e pressão –REDES FoFo em n° absoluto**

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

É importante salientar que as vazões de vazamentos representam as médias das amostras de dados coletados. Portanto, apesar da exclusão dos outliers do conjunto de dados, as médias são afetadas por valores distantes da tendência central, o que contribui para o aumento da margem de erro das medições e também para a adoção de um intervalo de confiança de 95%.

A análise do efeito do local de ocorrência e do material sobre as vazões de vazamentos pode ser visualizada abaixo, onde o símbolo \* indica que a diferença entre as médias é significativa e a ausência dele nos símbolos  $\geq$  e = indica que a diferença não é significativa.

TUBO REDE FoFo >\* TUBO REDE PVC  $\geq$  CONEXÕES REDE = TUBOS RAMAL >\* CONEXÕES RAMAL = CAVALETE

TUBO RAMAL FoGo >\* TUBO RAMAL PEAD PRETO

Para os outros materiais, até o momento com a amostragem atual, não foi detectado efeito significativo sobre as vazões. É importante acentuar que a não significância estatística da diferença entre materiais ou locais não implica necessariamente na igualdade das médias, a diferença pode não ter sido observada por falta de amostragem ou por altas taxas de variabilidades entre vazões. Ou seja, em estudos com mais amostragem e maior controle, poderão ser validadas diferenças não evidenciadas neste estudo.

## CONCLUSÕES

As condicionantes para avaliação das vazões de vazamentos foram especificadas pelos locais de rompimento (redes, ramais e cavaletes), e por subgrupos destes classificados por conexões ou tubos, materiais e peças.

As incertezas associadas às vazões avaliadas quando estas são tomadas como estimativas das vazões médias populacionais são altas, com exceção daquelas associadas às vazões em ramais muito representadas na amostra analisada, como por exemplo conexões do ramal, tubos do ramal e ramal em tubo PEAD preto. É por esse motivo que se obteve uma margem de erro significativa em algumas análises, como por exemplo, em redes.

A análise pelo DE permitiu observar que as maiores vazões de vazamentos nos CAVALETES PVC ocorreram em altas pressões e menor DE enquanto que as maiores vazões na REDE FoFo ocorreram em baixas pressões e





maior DE. Nos RAMAIS FoGo a maior vazão média se deve a ocorrências de vazões altíssimas (maior DE) em baixa pressão.

Em tese, a vazão de vazamento aumenta com a pressão (H) proporcionalmente à Raiz de H. Somente para os ramais há amostragem suficiente para analisar o efeito da pressão. Não houve diferenças significativas entre vazões medidas em classes distintas de pressão. O efeito da pressão é bem menor do que a da geometria dos rompimentos – este, além da baixa amostragem, pode ser um dos motivos pelos quais o efeito da pressão não foi perceptível nas vazões de vazamento.

Salienta-se que a fim de melhorar a confiabilidade do cálculo de volumes perdidos de água, deve-se aumentar a confiabilidade das vazões de vazamentos nos cavaletes em primeiro lugar, depois em ramais, e por último em redes através do aumento da quantidade de amostras. Adicionalmente, deve-se garantir a aleatoriedade das escolhas das amostras.

Concomitantemente às avaliações das vazões de vazamentos, mais importante do que garantir a confiabilidade das vazões de vazamento, é diminuir o tempo de reparo dos vazamentos. Como o volume perdido é obtido pela multiplicação da vazão de vazamento pelo tempo de reparo e pelo número total de ocorrências de vazamentos, qualquer erro na quantificação do tempo é bem mais impactante na confiabilidade do volume perdido do que a própria vazão de vazamento.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. TSUTIYA, M.T. Abastecimento de Água. 3ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.643p.
2. WU, YIPENG & LIU, SHUMING. A review of data-driven approaches for burst detection in water distribution systems. Urban Water Journal, 1-12, 2017.