

ENSAIOS DE PERDA LOCALIZADA DE CARGA EM CONEXÕES UTILIZADAS NA MICROIRRIGAÇÃO

W. W. A. Bombardelli¹, A. P. Camargo², F. C. de Oliveira³, V. Melo⁴, J. O. Costa⁵, J. A. Frizzone⁶

RESUMO: Há pouca disponibilidade de informações de perda localizada de carga sobre conexões utilizadas em microirrigação. Diante disso, objetivou-se determinar experimentalmente as perdas localizadas de modelos de união e conectores iniciais utilizados em microirrigação. A metodologia de ensaios foi elaborada combinando recomendações de normas técnicas internacionais. Os conectores foram analisados sob pressão de entrada de 150 kPa. Para cada modelo de conexão, avaliou-se 10 peças. As curvas relacionando vazão e perda localizada de carga foram elaboradas com base em 15 valores de vazão, avaliados sob condição crescente e decrescente para incluir eventuais efeitos de histerese. Para cada vazão, coletou-se 30 pontos e, portanto, cada curva de perda de carga em função de vazão foi elaborada com base numa amostragem de 900 pontos, para cada uma das dez repetições por peça. Para cada modelo avaliado apresentam-se as seguintes informações: curva de perda localizada de carga em função de vazão, coeficiente de perda localizada de carga (KL) e comprimento equivalente da peça (Leq). Os coeficientes encontraram-se entre 3,16 até 24,21, sendo que a maioria apresentou valores praticamente constantes sob número Reynolds superior a 10000.

PALAVRAS-CHAVE: bancada automatizada, hidráulica, coeficientes experimentais

TESTS FOR DETERMINING MINOR LOSSES DUE TO MICROIRRIGATION FITTINGS

ABSTRACT: There is a lack of information about minor losses due to fittings used in microirrigation systems. The objective of this work was to determine experimentally minor loss in two models of drip joiner and two models of starter connector used in microirrigation. The

¹Mestrando em Engenharia de Sistemas Agrícolas, ESALQ/USP, CEP 13418-900, Piracicaba, SP. Fone (19) 34478573. E-mail: wavila@usp.br

²Gerente LEMI – ESALQ/USP, E-mail: apc.pires@gmail.com

³Doutorando em Engenharia de Sistemas Agrícolas – ESALQ/USP, E-mail: fabricio_agro@yahoo.com.br

⁴Graduanda em Engenharia Agrônômica – ESALQ/USP, E-mail: vegaspar.vg@gmail.com

⁵Doutorando em Engenharia de Sistemas Agrícolas – ESALQ/USP, E-mail: jeffersontaio@usp.br

⁶Prof. Dr. Titular – Departamento de Engenharia de Biossistemas – ESALQ/USP, E-mail: frizzone@usp.br

methodology was developed by combining recommendations stated by international technical standards. The connectors were evaluated under inlet pressure of 150 kPa. For each model of connector, 10 pieces were evaluated. The curves relating flow rate and pressure losses were plotted based on 15 flow rates, that were obtained increasing and decreasing values in order to factor in possible hysteresis effects. For each flow rate, 30 points were collected and, therefore, each curve was determined based on a sample size of 900 points, for each of the 10 repetitions per piece. For each evaluated model, the following information is presented: minor loss versus flow rate curve, minor loss coefficient (K_L) and equivalent length of pipe (L_{eq}). The minor loss coefficients were between 3.16 and 24.21 and such values tended to be steady when Reynolds number was higher than 10000.

KEYWORDS: automated bench, hydraulic, experimental coefficients

INTRODUÇÃO

No uso prático as canalizações não são constituídas exclusivamente por tubos retilíneos e de mesmo diâmetro. Sempre existem peças especiais e conexões, que, pela sua forma e arranjo, elevam a turbulência, provocam atritos e causam o choque das partículas. Como consequência, tais fenômenos são responsáveis por dissipações de energia pontuais, as quais são denominadas como perdas localizadas de carga. De um modo geral, as perdas localizadas mantêm proporções diretas com um coeficiente de perda localizada de carga (K_L). Tal coeficiente pode ser obtido experimentalmente para cada peça, o que vem sendo realizado, há vários anos por engenheiros interessados na questão, por fabricantes de conexões e válvulas e laboratórios de hidráulica e irrigação. Contudo, o banco de dados que expressa a perda localizada aos modelos de acessórios ainda é ínfimo quando comparado à sua exigência e disponibilidade no mercado, além de exigir dados recentes pelo aprimoramento contínuo de sua tecnologia de produção. No contexto agrícola, a microirrigação, usualmente é praticada com elevado número de tubulações e peças acessórias, de forma que a perda localizada de carga em conexões pode assumir valores consideráveis nos projetos desses sistemas.

Como demonstram os estudos na área, há relevantes impactos a serem considerados, tal como o acréscimo de 5% a 32% sob as perdas totais de energia devido à protrusão de emissores on-line em tubos de polietileno de 13 e 25 mm (AL-AMOUD, 1995). Relatou-se, também, que negligenciar o efeito das perdas localizadas pode induzir a erros de até 25% na estimativa de diâmetros e 7% no comprimento máximo das linhas laterais (YILDIRIM, 2007). Considerando

em simulações dois modelos de tubos com emissores integrados, as perdas localizadas de carga contribuíram entre 6,4% e 49,5% das perdas totais de energia no projeto de linhas laterais (PROVENZANO; PUMO, 2004). Noutro estudo, a perda de carga total aumentou de 24,5% para 50,8%, devido a perdas localizadas causadas por gotejadores não coaxiais integrados a tubos de polietileno (RETTORE NETO et al., 2009).

Nota-se que tais omissões nos cálculos de dimensionamento podem comprometer a operação do sistema. Por outro lado, nos dias atuais, a informatização vem permitindo que operações computacionais executem rotinas com menores esforços e demanda de tempo, com cálculos mais próximos das condições reais. O incremento da observação, da experiência e a necessidade de verificação prática em estudos da hidráulica proporcionou modelos mais concisos com a realidade que, por sua vez, fomentam ainda mais o avanço da tecnologia para a aquisição dos dados.

Diante do exposto, o presente trabalho propôs determinar a perda localizada de carga em usuais conexões aplicadas em sistemas de microirrigação, por meio de uma bancada automatizada, a fim de auxiliar o dimensionamento hidráulico de projetos.

MATERIAL E MÉTODOS

Os procedimentos experimentais para determinação das perdas localizadas de carga foram executados no Laboratório de Irrigação do Departamento de Engenharia de Biosistemas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – USP, município de Piracicaba, SP. O arranjo dos instrumentos (Figura 1) procedeu baseado em normativas atuais pertinentes (ISO 9644: 2008; ISO TR 15155: 2005). A estrutura consiste num circuito fechado constituído por reservatório de 1000 L conectado a um conjunto motobomba responsável pela pressurização do sistema. O volume de água é suficiente para que a temperatura da água durante os ensaios não sofra variações significativas. Circuito eletrônicos microcontrolados foram desenvolvidos e utilizados para facilitar a aquisição de dados e controle das condições de ensaio.

O tubo adotado no trecho de ensaio é de polietileno de baixa densidade, de uso comum na prática de microirrigação, com diâmetros aplicáveis conforme a conexão ensaiada. Vilela et al. (2003) estabeleceram um estudo de perda de carga em tubos de polietileno, variando-se a vazão para cada pressão estudada, de maneira a obter velocidades de escoamento entre 0,5 a 3,0 m s⁻¹. Mantovani et al. (2009) afirmaram, para algumas situações, o uso prático acima de 2,0 m s⁻¹. Frizzone et al. (2012) recomendam evitar velocidades acima de 2,0 m s⁻¹ adotando-se sistemas de segurança que previnam transientes hidráulicos. De forma a construir uma curva

de representação mais expressiva, os intervalos de ensaio podem vir a extrapolar tais limites usuais.

Conforme Figura 2, os seguintes modelos de conectores iniciais (0037 e 0046) e de uniões (0081 e 0082) foram ensaiados. Os componentes apresentados são aplicáveis a sistemas de microirrigação e possuem diâmetro nominal para integração com tubo variando de 13 a 16 mm.

Por meio de um paquímetro digital, de marca Starett® com resolução de 0,01 milímetros, realizou-se a medição do diâmetro interno dos tubos de polietileno. Os diâmetros foram estimados numa média de dez mensurações para cada um dos dois tubos. No caso da conexão 0081, foi utilizado um tubo com diâmetro interno de 13,70 mm, enquanto que, nas demais uniões, foi selecionado um tubo com diâmetro interno de 16,39 mm.

A queda de pressão proporcionada pelo escoamento através da amostra é quantificada por dois pontos de tomadas de pressão, com colares acoplados na entrada e saída do trecho de ensaio. O fenômeno de escoamento foi simulado (Figura 3), por meio de análises computacionais de fluidodinâmica pelo programa COMSOL Multiphysics®, com o propósito de se observar qual a distância mínima de estabilização para instalação das tomadas de pressão. Pensando nisso, simulou-se duas uniões, de dimensões operacionais opostas, operando sob uma velocidade de $3,5 \text{ m s}^{-1}$.

Constatou-se a magnitude crítica da zona de jato provocada pela perturbação na seção e, em conformidade com a normativa ISO 9644 (2008), se propôs um espaçamento adequado como sendo equivalente a 2 diâmetros na entrada e 10 diâmetros na saída. O tubo de polietileno foi então perfurado e adaptado com revestimento em silicone, a fim de evitar vazamentos.

A perda de carga localizada é estimada pela diferença da queda de pressão observada com a perda distribuída do tubo no trecho ensaiado, equacionada com o fator de atrito de Blasius por sua natureza predominante no regime turbulento liso. Convém, por fim, significar a importância dos cuidados na furação do tubo para alocação das tomadas de pressão, tendo-se tomado cautela com possíveis rebarbas que provocassem distorção nos resultados.

O arranjo dos trechos para ensaios de união foi instalado retilinearmente com a bancada (Figura 4a). Posteriormente, seguiu-se com os ensaios dos conectores iniciais assumindo um novo arranjo (Figura 4b), no qual alocou-se, perpendicularmente, um tubo rígido PVC DN 50 como simulação da linha de derivação do sistema de irrigação. No ensaio dos conectores iniciais manteve-se o mesmo espaçamento de saída da tomada de pressão, porém o ponto inicial encontra-se diretamente na seção onde a peça é conectada ao tubo rígido. Uma ventosa foi instalada em sua extremidade, de modo a evitar formação de um bolsão de ar durante o preenchimento da seção com água.

Como o coeficiente de perda localizada de carga (K_L) se torna exclusivamente dependente das características geométricas da peça a partir de um dado número de Reynolds, levantou-se as informações dimensionais das conexões ensaiadas (Figura 5), com uso do paquímetro digital. Para cada modelo de conexão foram analisadas 10 peças de mesmo lote, das quais foram extraídas 5 mensurações de cada dimensão. As médias desses valores são informadas, em milímetros, pela Tabela 1.

As curvas relacionando vazão e queda de pressão foram elaboradas acima de 15 valores de vazão, submetidas sob uma pressão de entrada de 150 kPa (com controle PID) e construídas sob condição crescente e decrescente para incluir eventuais efeitos de histerese pela instrumentação. O intervalo de vazão parte do ângulo de abertura do retorno que condiz com a vazão mínima suportada até sua abertura máxima, retornando posteriormente a sua posição de origem. Para cada intervalo, foram coletados 30 pontos e, portanto, cada ensaio foi elaborado com base numa amostragem completa de 900 pontos por peça.

Adicionalmente, os valores da temperatura da água foram monitorados continuamente durante os ensaios. A massa específica e a viscosidade absoluta podem ser estimadas em função de sua temperatura (t). Tanaka et al. (2001) modelou a estimacão da massa específica da água (equação 4) para temperaturas entre 0°C – 40°C com pressões inferiores ao nível do mar. Pinto et al. (2014) aplicaram os dados empíricos apresentados por Azevedo Netto et al. (2015) com o modelo sugerido por Likhachev (2003), obtendo uma equação da viscosidade cinemática em função da temperatura e da massa específica.

A partir dos dados obtidos, foram ajustadas equações para estimativa de perda localizada de carga. Para cada modelo avaliado apresentam-se as seguintes informações: curva de perda localizada de carga em função de vazão, coeficiente de perda localizada de carga (K_L) e comprimento equivalente da peça (L_{eq}). O comprimento equivalente (L_{eq}) é relacionado com o diâmetro do tubo de inserção. Por critérios práticos de dimensionamento, os valores dos conectores iniciais consideram a dimensão da linha de derivação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados das conexões de união foram tratados e são apresentados nos gráficos (Figura 6) de perda localizada de carga e K_L em função do número de Reynolds, respectivamente aos modelos 0081 (13 mm) e 0082 (16 mm).

Da mesma forma, organizou-se os dados dos conectores iniciais (Figura 7), respectivamente aos modelos 0046 e 0037, ambos com saída para tubos de 16 mm, porém o

acoplamento com a linha de derivação (única de 50 mm) mantém dimensões distintas de entrada, com alteração da chula em uso.

Os expoentes da vazão das equações de perda de carga apresentaram valores próximos aos expoentes da vazão nas fórmulas da perda de carga Universal apresentadas na literatura (Azevedo Netto & Fernandez, 2015; Porto, 2006). No ensaio de microtubos, (Zitterell et al., 2009) encontraram variações de 1,780 a 1,800 para o expoente da vazão das equações potenciais de perda de carga ajustadas.

De acordo com Azevedo Netto & Fernandez (AZEVEDO NETTO; FERNANDEZ Y FERNANDEZ, 2015), o coeficiente K_L assume valores praticamente constantes para números de Reynolds acima de $50 \cdot 10^3$. À respeito dos estudos no campo da microirrigação, Cardoso (2007) notou o estabelecimento logo após $20 \cdot 10^3$ para um conjunto tubo-conexão; outros autores reportam ainda que, para os gotejadores integrados, o coeficiente se mantém com Reynolds a partir de $10 \cdot 10^3$. (GOMES, 2009; RETTORE NETO et al., 2009). Com exceção do modelo 0082, as demais conexões já se mostram com coeficientes de perda localizada estabilizados.

CONCLUSÕES

Os coeficientes de perda localizada dos modelos 0081 e 0082 estimados pela média estabilizada foram, respectivamente, próximos a 3,65 e 3,16. No caso dos conectores iniciais, a proporção da energia cinética é mais expressiva, dada a natureza de sua perturbação no fluxo. Os modelos 0037 e 0046 apresentaram valores médios de 10,14 e 24,21. Verificou-se estabilização do coeficiente de perda localizada aproximadamente com número de Reynolds a partir de 10000. Diferente dos demais, a conexão 0082 mostrou-se estabilizar após um valor próximo de 35.000.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-AMOUD, A. I. Significance of Energy Losses Due to Emitter Connections in Trickle Irrigation Lines. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 60, n. 1, p. 1–5, 1995.

AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNANDEZ Y FERNANDEZ, M. **Manual de Hidráulica**. 9 ed ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2015.

CARDOSO, G. G. DE G. **Índice geométrico na determinação da perda de carga localizada**

em conexão de emissores sobre tubos de polietileno de pequenos diâmetros. Irrigação e Drenagem. ESALQ/USP, 2007.

FRIZZONE, J. A. et al. **Microirrigação: Gotejamento e microaspersão.** EDUEM 1. ed. Maringá, 2012.

GOMES, A. W. A. **Perda de carga localizada em gotejadores integrados em tubos de polietileno.** Irrigação e Drenagem. ESALQ/USP, 2009.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO TR 15155 - Test facilities for agricultural irrigation equipment,** 2005.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 9644 - Pressure losses in irrigation valves - Test method,** 2008.

LIKHACHEV, E. R. Dependence of Water Viscosity on Temperature and Pressure. **Technical Physics,** v. 48, n. 4, p. 514–515, 2003.

MANTOVANI, E. C.; SALASSIER, B.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos.** UFV. 3 ed. Viçosa: 2009.

PINTO, M. F. et al. Caracterização hidráulica de tubos porosos oriundos de pneus reciclados utilizados em irrigação subsuperficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** v. 18, n. 11, p. 1095–1101, 2014.

PORTO, R. DE M. **Hidráulica Básica.** EDUSP. 4 ed. São Carlos, 2006.

PROVENZANO, G.; PUMO, D. Experimental Analysis of Local Pressure Losses for Microirrigation Laterals. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering,** v. 130, n. 4, p. 318–324, 2004.

RETTORE NETO, O. et al. Perda de carga localizada em emissores não coaxiais integrados a tubos de polietileno. **Engenharia Agrícola,** v. 29, n. 1, p. 28–39, 2009.

TANAKA, M. et al. Recommended table for the density of water between 0 °C and 40 °C based on recent experimental reports. **Metrologia,** v. 38, n. 4, p. 301, 2001.

VILELA, L. A. A. et al. Alteração no diâmetro e na perda de carga em tubos de polietileno submetidos a diferentes pressões. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** v. 7, n. 1, p. 182–185, 2003.

YILDIRIM, G. An assessment of hydraulic design of trickle laterals considering effect of minor losses. **Irrigation and Drainage,** v. 421, n. May, p. 399–421, 2007.

ZITTERELL, D. B. et al. Perda de carga em microtubos e conectores utilizados em microaspersão. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 4, p. 591–604, 2009.

Tabela 1. Indicação das características dimensionais médias, em milímetros, das conexões reportadas.

Código	μ (mm)				
	D1	D2	L1	L2	L
0037	12,240	9,791	43,284	16,826	60,110
0046	12,357	7,950	40,834	21,629	62,463
0081	9,194	9,663	-	-	64,683
0082	11,628	11,225	-	-	63,459

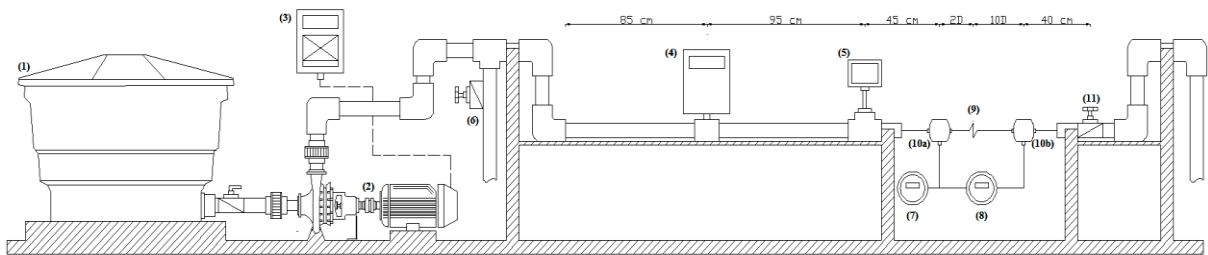


Figura 1. Ilustração da estrutura de ensaio: (1) reservatório de água; (2) conjunto motobomba; (3) inversor de frequência; (4) medidor eletromagnético de vazão; (5) transmissor de temperatura; (6) registro by-pass; (7) transmissor de pressão de entrada; (8) transmissor de pressão diferencial; (9) trecho de ensaio; (10) tomadas de pressão a montante (a) e a jusante (b); (11) válvula proporcional para controle de vazão.

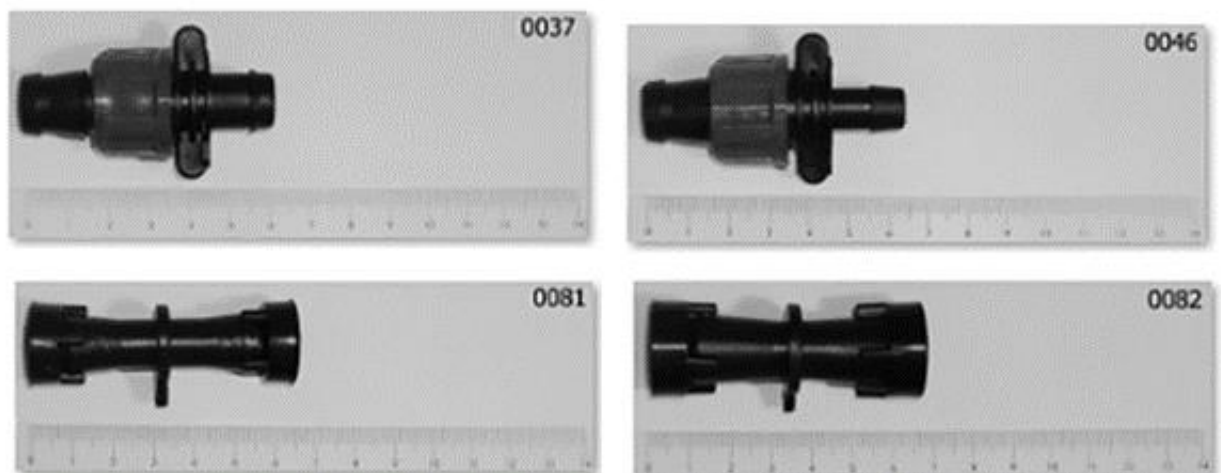


Figura 2. Conexões avaliadas.

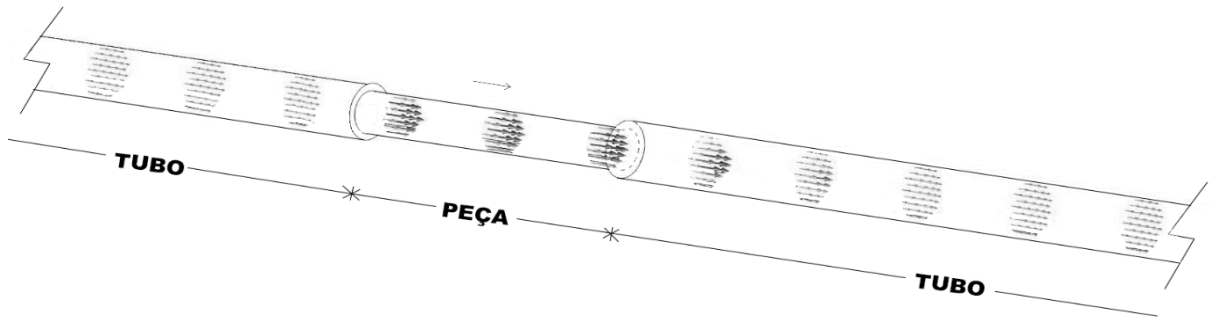


Figura 3. Simulação dos vetores de velocidade na seção do conduto pela passagem da singularidade.

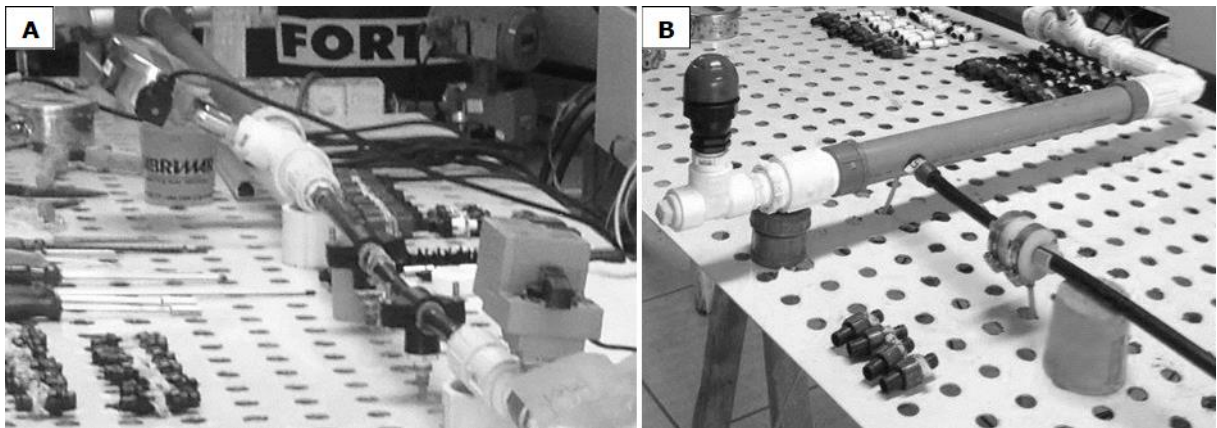


Figura 4. Trecho experimental instalado na bancada para (a) ensaios de união, e, para (b) ensaios dos conectores iniciais.

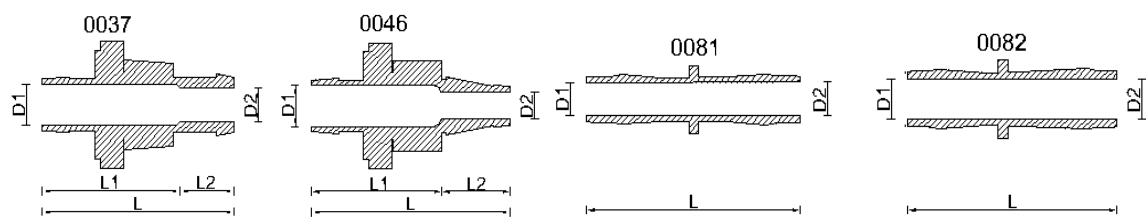


Figura 5. Corte longitudinal das conexões (conectores iniciais e uniões) ensaiadas.

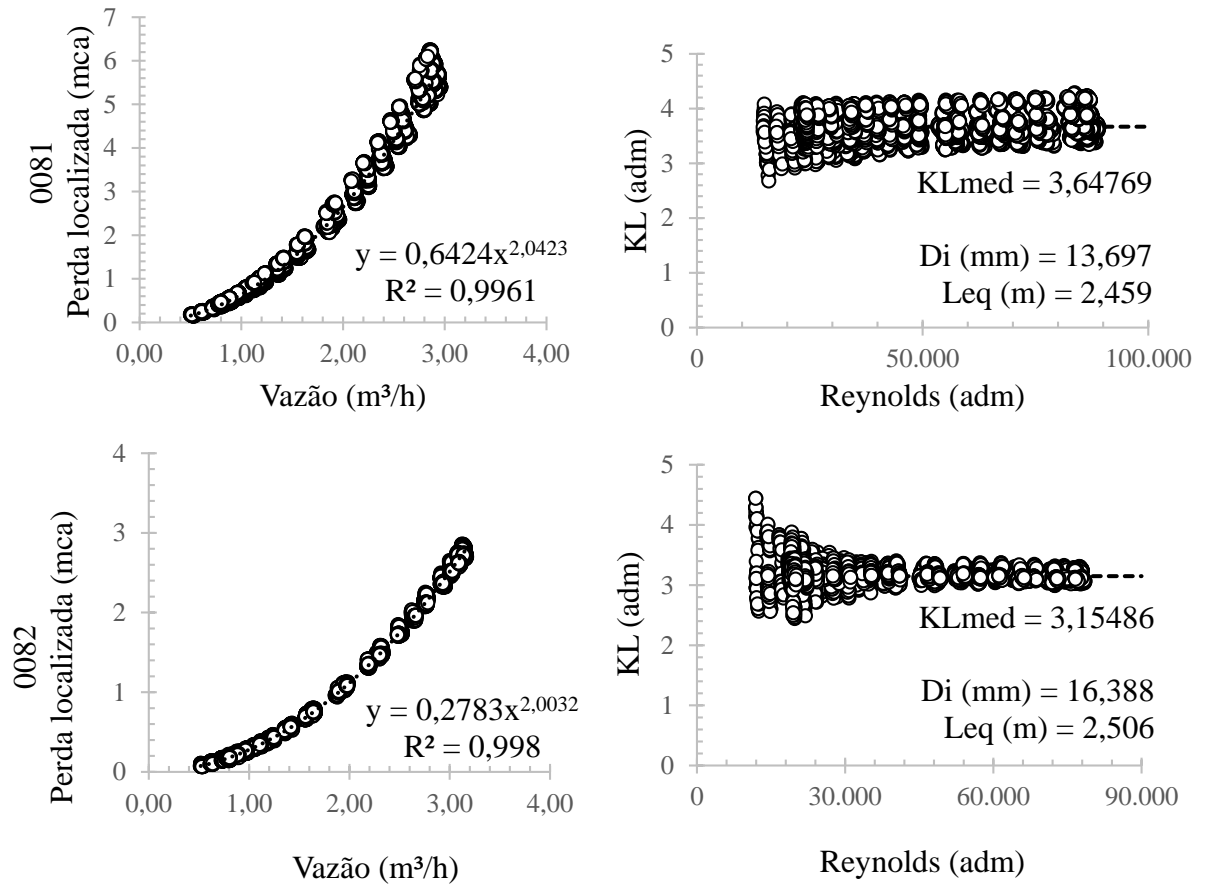


Figura 6. Dados analisados nos modelos de conectores de união ensaiados

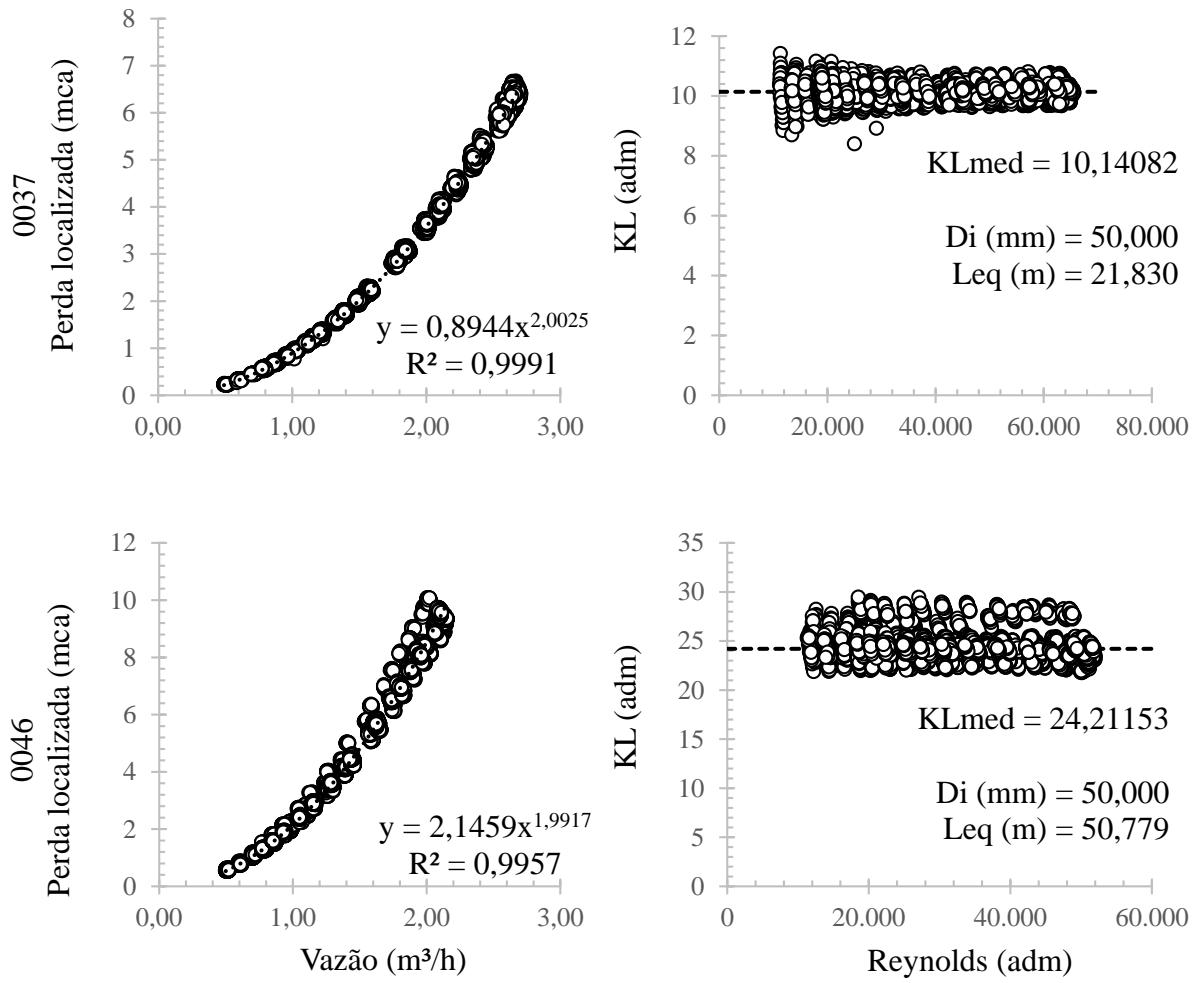


Figura 7. Dados analisados nos modelos de conectores iniciais ensaiados.