

CRISTIANO EGNALDO ZINATO

PERDA DE CARGA EM TUBULAÇÕES COMERCIAIS CONDUZINDO
ÁGUA RESIDUÁRIA DE AVICULTURA

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2003

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

Z77p
2003

Zinato, Cristiano Egnaldo, 1967-

Perda de carga em tubulações comerciais conduzindo
água residuária de avicultura / Cristiano Egnaldo Zinato. –
Viçosa : UFV, 2003.
136p. : il.

Orientador: Wilson Denículi

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de

Viçosa

1. Hidráulica agrícola. 2. Tubulações - Perda de carga.
3. Águas residuais de avicultura. 4. Águas residuais -
Tubulações. 5. Águas residuais - Reologia. I. Universidade
Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 19.ed. 631.7

CDD 20.ed. 631.7

CRISTIANO EGNALDO ZINATO

PERDA DE CARGA EM TUBULAÇÕES COMERCIAIS CONDUZINDO
ÁGUA RESIDUÁRIA DE AVICULTURA

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

APROVADA: 29 de agosto de 2003.

Prof. Rubens Alves de Oliveira
(Conselheiro)

Prof. Antônio Teixeira de Matos
(Conselheiro)

Prof. Demétrius David da Silva

Prof. Edvaldo Fialho dos Reis

Prof. Wilson Denículi
(Orientador)

A Deus, a minha família, aos amigos do Grama de todos os tempos, aos amigos do 46 e às demais amizades feitas em Viçosa, que não foram poucas.

AGRADECIMENTOS

À Deus, que me faz tirar vida das cinzas.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

À Universidade Federal de Viçosa e, em especial, ao Departamento de Engenharia Agrícola, com todos os seus funcionários e professores, que acreditaram em mim e me acolheram de portas abertas após 9 anos de amadurecimento.

Ao Professor Wilson Denículi, pela motivação, orientação objetiva e pelo exemplo de professor que é.

Aos Professores Rubens Alves de Oliveira, Antônio Teixeira de Matos, Paulo Roberto Cecon, meus conselheiros, Paulo César Correia, pelo patrocínio, Sílvio César Sampaio (UNIOESTE - PR), Hugo Ruiz (DPS), Carlos Alexandre (DEC), entre outros, pelas contribuições prestadas a este trabalho.

Aos colegas Flávio (Mosquito), Adjalma, Dalmácio, Rafael, aos estudantes de graduação Flávio (Urso), Luiz Augusto (Teco), Agnaldo, Bruno, Cleiber e o Gaúcho, que me ajudaram na montagem e testes de campo, especialmente ao Rogélio, Roberto e Cristiano Tagliaferre. Também a Ricardo e Cristiano Souza, pelo ajuda nas análises estatísticas.

Ao Professor Everardo Chartuni Mantovani, pela grande oportunidade de desenvolvimento a mim proporcionada, pela paixão com que conduz seus trabalhos, por sua capacidade de envolvimento.

À Precitech Instrumental Ltda., pela cortesia na análise das amostras de água residuária de avicultura e pela oportunidade de treinamento.

Às amizades conquistadas nas salas de aula, nos trabalhos em equipe, nas repúblicas, nas festas e nas viagens.

Aos Engenheiros à Grito, meus ex-alunos, atuais colegas de Pós-Graduação e companheiros de casa, José Antonio, William e Natanael, além de Anderson Balandino e Christiano Dib.

Aos velhos amigos de todos os tempos, em especial aos “Amigos do 46”, que, por qualquer caminho que eu trilhe, sempre estão comigo.

A minha família, para qual a não tenho palavras, tenho sentimentos.

BIOGRAFIA

Cristiano Egnaldo Zinato, filho de Christiano Zinato e Célia Salgado Zinato, nasceu em Santo Antônio do Grama, MG, em 14 de setembro de 1967.

Em agosto de 1992, concluiu o Curso de Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa – UFV.

Prestou consultoria em mecanização e transporte à Usina Jatiboca, Urucânia - MG, sendo que de outubro de 1993 a outubro de 1996 esteve à frente do Departamento de Motomecanização desta empresa.

De abril de 1997 a dezembro de 1999 foi responsável pelo Setor de Planejamento, Orçamento e Custo Agrícola da Usina Paineiras, Itapemirim – ES.

De fevereiro a junho de 2000 exerceu o cargo de Gerente Agrícola da Destilaria Atenas, em São Pedro dos Ferros – MG.

De 1998 a 2001, foi professor de Matemática, Química, Física e Educação Ambiental do ensino médio, em escolas públicas de Itapemirim, no Espírito Santo, e em Santo Antônio do Grama e Urucânia, em Minas Gerais.

Em agosto de 2001, iniciou o Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, área de concentração em Irrigação e Drenagem, na UFV.

De abril de 2002 a março de 2003, trabalhou como voluntário na difusão de tecnologia de manejo da irrigação, sob a coordenação do Professor Everardo Mantovani. Desde abril de 2003 atua como Coordenador Operacional do GESAI: Grupo de Estudos e Soluções para a Agricultura Irrigada, com o mesmo professor. A partir de agosto de 2003, é bolsista da EMBRAPA Café.

ÍNDICE

RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	7
2.1. Reologia e viscosimetria.....	7
2.2. Perda de carga em condutos forçados.....	16
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1. Caracterização da bancada experimental.....	25
3.2. Caracterização dos fluidos.....	32
3.4. Modelos avaliados.....	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
4.1. Características químicas e físicas dos fluidos circulantes.....	36
4.2. Calibração do diafragma.....	41
4.3. Comportamento hidráulico dos fluidos circulantes.....	42
4.4. Metodologias.....	46
4.4.1. Metodologia de Lee e Duffy (1976) modificada.....	46
4.4.2. Metodologia de Duffy e Titchener.....	47
4.4.3. Metodologia de Hazen e Williams modificada.....	47
5. RESUMO E CONCLUSÕES.....	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55

APÊNDICES.....	60
APÊNDICE A.....	61
APÊNDICE B.....	110
APÊNDICE C.....	125
APÊNDICE D.....	132

RESUMO

ZINATO, Cristiano Egnaldo, M. S., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2003. **Perda de carga em tubulações comerciais conduzindo água residuária de avicultura.** Orientador: Wilson Denículi. Conselheiros: Rubens Alves de Oliveira, Antônio Teixeira de Matos e Paulo Roberto Cecon.

Este trabalho foi desenvolvido com os propósitos de avaliar a perda de carga em tubulações comerciais de ferro galvanizado, aço zincado e PVC conduzindo água residuária de avicultura (ARA), determinar equações que a estimem em função da vazão, do diâmetro e da concentração de sólidos totais, bem como levantar as características reológicas da ARA. Os resultados possibilitaram concluir que: (a) a ARA foi classificada reologicamente como plástico de Bingham; (b) as viscosidades de todas as concentrações analisadas apresentaram-se menores que a viscosidade da água; (c) a massa específica das partículas em suspensão na ARA foi de $1,84 \text{ g cm}^{-3}$ e o seu diâmetro menor que 1 mm; (d) a perda de carga da ARA para as concentrações de sólidos totais estudadas foi menor do que para a água limpa, diminuindo até a concentração de $0,4600 \text{ dag L}^{-1}$ e voltando a crescer daí até a concentração de $2,8941 \text{ dag L}^{-1}$; (e) os modelos empíricos apresentaram melhores resultados do que o modelo que estima o fator de atrito f . O modelo que melhor estimou a perda de carga foi o de Hazen-Williams modificado, para quaisquer vazões, concentrações de sólidos totais, tipos de materiais e diâmetros de tubos, recomendando-se seu uso em

detrimento dos outros modelos. Este modelo subestima, em média, a perda de carga, e apresenta, em geral, os menores erros médios e desvios padrão, justificando seu melhor ajuste, quando comparados aos demais; (f) na prática a variável ST (concentração de sólidos totais) pode ser suprimida da equação para a faixa de ST estudada, considerando-se desprezível o seu efeito no cálculo da perda de carga pelo modelo de Hazen-Williams modificado; (g) uma vez que a perda de carga medida na água limpa foi maior de 9,7 % a 20,8 % para a tubulação de ferro galvanizado de 130,30 mm, de 9,7 % a 32,0 % para a tubulação de aço zincado de 99,83 mm, e de 11,0 % a 26,3 % para a tubulação de PVC de 79,90 mm, comparadas às estimadas pelo modelo de Hazen-Williams modificado para água residuária de avicultura, recomenda-se utilizar equações que determinem a perda de carga para a água limpa no dimensionamento de sistemas hidráulicos que ocasionalmente transportem água residuária de avicultura com as características apresentadas neste trabalho.

ABSTRACT

ZINATO, Cristiano Egnaldo, M. S., Universidade Federal de Viçosa, August 2003. **Head loss in the commercial pipelines conducting poultry raising wastewater.** Adviser: Wilson Deniculi. Committee members: Rubens Alves de Oliveira, Antônio Teixeira de Matos and Paulo Roberto Cecon.

The objective of this study was to evaluate the head loss in commercial pipelines made of galvanized iron, zinc-coated steel and PVC conducting poultry raising wastewater (PW), to determine the equations that would estimate this loss as a function of flow rate, pipe diameter and the concentration of the total solids, as well as to determine the rheological characteristics found in poultry raising wastewater (PW), as well as to determine the rheological characteristics of this wastewater. Based on the results, the conclusions were drawn as follows. (a) PW was rheologically classified as Bingham plastic. (b) The viscosity of all analyzed concentrations were lower than that the viscosity of the water. (c) The specific mass of the particles suspended in PW was 1.84 g cm^{-3} , while the diameter of all these particles were lower than 1 mm. (d) The PW head loss for the studied concentrations of the total solids was lower than that for clean water, as decreasing down to $0.4600 \text{ dag L}^{-1}$ and increasing again up to $2.8941 \text{ dag L}^{-1}$. (e) The empiric models showed better results than the model estimating the friction factor f . The Hazen-Williams's modified model was the one that better estimating the head loss for any flow rates, total solid concentrations, material

types and pipe diameters, therefore being the most recommended. That model on the average underestimates the head loss and generally presents the lowest average errors and standard deviations, so justifying its adjustment in comparison to the other ones. (f) In the practice, the TS (total solid concentration) may be omitted from the equation at the studied TS range, as its effect is considered as a negligible one when the head loss is calculated by the Hazen Williams's modified model. (g) Since the head loss measured for clean water showed to be higher than 9.7 to 20.8% for the galvanized-iron 130.30 mm pipeline, than 9.7% to 32.0% for the zinc-acid pipeline, than 11.0 to 26.3% for the PVC 79.90 mm pipeline, comparative to those head losses estimated by the Hazen-Williams's modified model for the poultry raising wastewater, it is recommended the use of equations that would determine the head loss in clean water in dimensioning the hydraulic systems that occasionally transport the poultry wastewater that have the characteristics determined in the current study.

1 – INTRODUÇÃO

A produção avícola no Brasil tem crescido muito nos últimos anos, alcançando cerca de 7,5 milhões de toneladas de carne de frango em 2002, com expectativa de atingir 7,8 milhões de toneladas em 2003, segundo Anualpec (2003). Como fatores que justificam este crescimento destacam-se a contínua evolução tecnológica e sanitária do plantel e o desenvolvimento de novos produtos industrializados de carne de frango. Alguns dados da produção avícola no Brasil são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 - Números da produção da avicultura brasileira

Produção	2002	Estimativa 2003
Ovos (unidades)	16.488.000.000	16.920.000.000
Plantel de poedeiras (unidades)	67.769.000	-
Carne de frango (t)	7.449.000	7.821.000
Carne - mercado interno (%)	78,5	77,9
Carne – mercado externo (%)	21,5	22,1
Consumo per capta (kg/ano)	33,3	34,1
Exportações do setor (US\$)	1.335.100.000	1.578.700.000

Fonte: Anualpec 2003

O aumento dos contingentes populacionais e a disputa entre os espaços produtivos fazem com que, atualmente, o meio ambiente seja considerado não só uma vertente ecológica, mas também uma variável econômica, identificada dentre os fatores de competitividade e oportunidade de negócios. O que se apresenta de novo neste cenário é um indicativo de que a proteção ambiental está

deixando de ser considerada responsabilidade exclusiva dos órgãos oficiais de meio ambiente, passando a ser compartilhada por todos os setores da sociedade.

Além do aspecto ambiental, discutir o destino dos resíduos da produção é fundamental também do ponto de vista econômico. Prevê-se que os mercados mais importantes deverão dificultar a entrada de produtos oriundos daqueles países que não apresentarem uma produção avícola sustentada.

Segundo Dias (1999), as unidades produtoras de animais de alto rendimento são, geralmente, de grande porte, e consomem mais energia por unidade de produção em relação às unidades tradicionais. Além disso, normalmente são acrescentadas às forragens e rações substâncias como hormônios e uréia, para intensificar o crescimento dos animais, e utiliza-se de antibióticos para protegê-los contra doenças, o que aumenta o risco da presença destas substâncias nos alimentos de origem animal. O acúmulo de excrementos nos galpões pode gerar problema de poluição ambiental, com o aumento da concentração de resíduos líquidos e sólidos, podendo trazer como impactos ambientais negativos, entre outros, a contaminação de águas superficiais e subterrâneas, a geração de odores e a contribuição para a proliferação de vetores de doenças.

Para que os produtores e a indústria avícola continuem a tirar proveito dos benefícios econômicos desta atividade e, ao mesmo tempo, para que ela desenvolva-se sob as condições de restrições legais atualmente existentes, reduzindo os riscos associados ao processamento, armazenagem, disposição e uso dos resíduos gerados pelas instalações de confinamento de aves, torna-se necessário dispor de um plano de manejo bem definido, no qual conste o zoneamento das instalações, o manejo do esterco e das aves mortas, o emprego do esterco como fertilizante e o controle de vetores de doenças.

A característica fertilizante do estrume produzido por frangos e poedeiras lhe garante uma destinação nobre. O dejetos de frangos possui uma concentração de nitrogênio (N) suficiente para fertilizar grande parte das áreas de cultivo de cereais conduzidas nas proximidades dos aviários, sendo em geral utilizada a dose de 90 kg ha⁻¹. As concentrações de fósforo (P) e potássio (K) contidos no

estrupe são, também, mais do que suficientes para suprir as necessidades de nutrientes de cereais como o milho (Seiffert et al., 2000).

Por outro lado, o esterco de aves tem um grande potencial poluidor, podendo comprometer a qualidade da água, devido à concentração de amônia, nitrato, fósforo e sulfeto de hidrogênio. De acordo com Dias (1999), efluentes de instalações de animais domésticos possuem altas concentrações de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), de demanda química de oxigênio (DQO), de sólidos suspensos e dissolvidos, de óleos e graxas e, conforme a matéria-prima e o processo utilizado, de colibacilos. Podem haver outros contaminantes que dependem dos insumos utilizados, a exemplo de resíduos de agrotóxicos, óleos complexos, compostos alcalinos e outras substâncias orgânicas.

Atualmente, além de seu uso como fertilizante orgânico aplicado em sulcos no cultivo de cereais e na distribuição a granel em pastagens, o esterco de aves pode ser usado em cultivos hortícolas, de fruteiras, florestas e como componente orgânico, para composição de solo destinado à jardinagem (Seiffert et al., 2000). Estas têm sido as aplicações tradicionalmente dadas ao esterco de aves, usado principalmente na consistência sólida, com distribuição manual ou com equipamentos de distribuição à tração.

Uma outra forma do seu uso seria a diluição e posterior transporte por meio de condutos forçados até o campo cultivado, procedendo-se a fertirrigação. Comparada à aplicação à granel, o uso do esterco diluído via irrigação permite melhor uniformidade de aplicação de nutrientes, com a vantagem de possibilitar a divisão da dosagem ao longo do desenvolvimento da cultura de acordo com suas necessidades. Esta forma de aplicação evita a compactação provocada por equipamentos de distribuição, exige menos mão-de-obra e tem custo reduzido, conforme a escala de produção, além de permitir a utilização dos equipamentos na irrigação convencional.

A perda de carga na tubulação devido ao atrito entre as partículas do fluido a ser transportado é o principal fator limitante no dimensionamento dos sistemas de distribuição. De acordo com Selecting (2002), água residuária com um conteúdo de sólidos totais menor que 4 dag L^{-1} pode ser tratada como água limpa no cálculo de perdas de carga. Porém, potência adicional para compensar a

perda de carga é necessária para bombear água residuária com mais de 4 dag L⁻¹ de concentração de sólidos totais. Sistemas de manejo de esterco que envolvam a adição de quantidade significativa de água de diluição ou equipamento de separação de líquido-sólidos constituem uma solução muito apropriada para a aplicação de dejetos.

A velocidade de escoamento da água com sólidos deve ser menor que 1,5 m s⁻¹, para diminuir perda de carga, e maior que 0,6 m s⁻¹ para prevenir a sedimentação. O esterco de aves apresenta elevada massa específica e, geralmente, forma colunas líquidas estratificadas com material de menor viscosidade no topo (Waste, 2002).

As características hidráulicas do escoamento de água residuária de avicultura (ARA) nas tubulações são pouco conhecidas, podendo levar os técnicos a cometer erros consideráveis no dimensionamento de sistemas de transporte e distribuição da referida água. Existem poucos trabalhos que abordam o assunto detalhadamente, provavelmente devido ao grau de complexidade envolvido, por se tratar de um fluido com comportamento diferente da água.

Neste contexto, com este trabalho objetivou-se:

- Ajustar equações empíricas para o cálculo da perda de carga contínua em tubulações comerciais de ferro galvanizado, aço zincado e PVC de diferentes diâmetros, conduzindo água residuária de avicultura com diversas concentrações de sólidos totais;
- Ajustar equações que permitam o cálculo do fator de atrito (f) da fórmula universal, em função da concentração de sólidos totais da água residuária de avicultura, para tubulações de ferro galvanizado, aço zincado e PVC;
- Obter as propriedades físicas da água residuária de avicultura para diferentes concentrações de sólidos totais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Reologia e viscosimetria

Nos últimos quinze anos ocorreram grandes mudanças no campo da reologia e da reometria, com o aprimoramento de equipamentos e desenvolvimento de novas tecnologias. Isto ocorreu em função da crescente demanda de estudos do comportamento dos fluidos sob a ótica da engenharia, em processos que envolvam o manuseio, a estocagem, o transporte e a aplicação de matérias-primas, produtos acabados e, mais recentemente, resíduos, entre eles, os das agroindústrias e de explorações agropecuárias.

Há várias décadas, situações práticas têm levado os engenheiros a buscar métodos de dimensionamento de sistemas de transporte e distribuição de fluidos por meio de tubulações. Mais recentemente, para o caso das águas residuárias de animais domésticos, assim como para outros fluidos, tornou-se necessário conhecer as propriedades reológicas para projetar tais sistemas.

O primeiro cientista a pesquisar o escoamento dos fluidos foi Isaac Newton, que descreveu o comportamento de um fluido ideal com a lei básica da viscosimetria, a qual revela que o fluxo é diretamente proporcional à força aplicada. Em sua homenagem, esta classe de líquidos ficou conhecida como fluidos newtonianos. Daí em diante, outros pesquisadores estudaram fluidos mais complexos, como Schluber, em 1928, que incluiu nova constante física

denominada taxa de fluidez. Poiseuille estudou o escoamento de fluidos em tubos capilares, podendo ser considerado um dos precursores dos viscosímetros. George Gabriel Stokes consolidou o estudo de Poiseuille com o seu experimento sobre o escoamento de fluidos através de orifícios (Bourne, 1982).

Com base nestes estudos, Herchel e Bulkley propuseram a equação geral da viscosidade (Equação 1), que descreve o comportamento reológico da grande maioria dos fluidos (Herum et al., 1966; Hughes e Bringhton, 1974; Bourne, 1982; Steffe e Morgan, 1986).

$$t = K\left(\dot{g}\right)^n + t_0 \quad (1)$$

em que

t = tensão de cisalhamento, $[ML^{-1}T^{-2}]$;

K = índice de consistência (constante reológica), $[ML^{-1}T^{n-2}]$;

$\dot{g}$ = taxa de deformação angular, $[T^{-1}]$;

n = índice de comportamento (constante reológica), adimensional; e

t_0 = tensão mínima para o escoamento (constante reológica), $[ML^{-1}T^{-2}]$.

A taxa de deformação angular $\dot{g}$ pode ser definida por

$$\dot{g} = \frac{dV}{dy} \quad (2)$$

onde

$$\frac{dV}{dy} = \text{gradiente de velocidade, } [T^{-1}]$$

No caso de duas placas paralelas com queda de velocidade linear ao longo da altura, a diferencial da Equação 2 reduz-se a

$$\dot{g} = \frac{V_{\max}}{y} \quad (3)$$

onde

$V_{\max}$ = velocidade máxima junto à placa superior, $[LT^{-1}]$;

y = distância entre as placas paralelas, $[L]$.

O ponto acima do g indica que a taxa de deformação angular é a derivada da deformação em relação ao tempo, causada pela tensão que age na lâmina líquida.

A viscosidade dinâmica ou absoluta m representa a fricção interna do líquido newtoniano, isto é, sua tendência de resistir ao escoamento. Neste caso, na Equação 1, $n = 1$, $t_0 = 0$ e $k = m$.

A Equação 1 pode, então, ser reescrita como

$$t = m \frac{dV}{dy} = m \dot{g} \quad (4)$$

onde

m = viscosidade dinâmica ou absoluta, $[ML^{-1}T^{-1}]$.

Resolvendo a Equação 4 para a viscosidade dinâmica m , tem-se

$$m = \frac{t}{\dot{g}} \quad (5)$$

Quando as propriedades reológicas de fluidos newtonianos são medidas por meio de viscosímetros capilares como Ubbelohde ou Cannon Fenske, a viscosidade é determinada nas unidades de viscosidade cinemática, sendo esta relacionada com a viscosidade dinâmica por

$$n = \frac{m}{r} \quad (6)$$

onde

n = viscosidade cinemática, $[L^2T^{-1}]$;

r = massa específica do fluido, $[\text{ML}^{-3}]$.

A viscosidade relativa m_{rel} é a razão entre as viscosidades dinâmicas da solução e do solvente puro, como a água, sendo um parâmetro adimensional.

A viscosidade aparente h é a viscosidade de um fluido não-newtoniano expressa como se fosse um fluido newtoniano. A maioria dos fluidos não-newtonianos possui viscosidades aparentes relativamente elevadas quando comparadas com a viscosidade da água (Fox e McDonald, 1995). Esta viscosidade pode ser determinada utilizando-se a equação

$$h = K \left(\dot{\gamma} \right)^{n-1} + t_0 \left(\dot{\gamma} \right)^{-1} \quad (7)$$

onde

h = viscosidade aparente, $[\text{ML}^{-1}\text{T}^{-1}]$.

A viscosidade efetiva m_e representa a viscosidade real de um fluido não-newtoniano, utilizada em cálculos de perda de carga e dimensionamento de sistemas de bombeamento para fluidos não-newtonianos, sendo expressa na dimensão $\text{ML}^{-1}\text{T}^{-1}$ (Steffe e Morgan, 1986).

A viscosidade do fluido é afetada pelos seguintes fatores: temperatura, pressão, taxa de deformação angular, tempo, campo elétrico, concentração do soluto e pH (Chen e Hashimoto, 1976a; Bourne, 1982; Schramm, 2000).

Os líquidos podem ser classificados quanto a sua resistência ao escoamento (viscosidade) como fluidos newtonianos e não-newtonianos. Nos fluidos newtonianos, a relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação angular constitui-se de uma linha reta passando pela origem (Figura 1, curva 1). Nesta classe, destacam-se os óleos minerais, a gasolina, o leite, a água e as bebidas aquosas como chá, café e cerveja (Herum et al., 1966; Hughes e Brington, 1974; Bourne, 1982; Fox e McDonald, 1995).

A tensão de cisalhamento t para o fluido newtoniano relaciona-se linearmente com a taxa de deformação angular $\dot{g}$ pela viscosidade m (Equação 4).

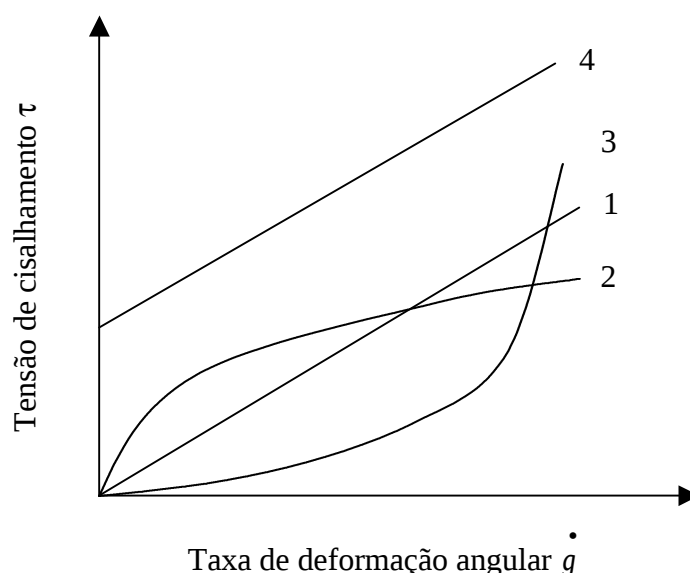


Figura 1 – Diagrama reológico: fluido newtoniano (1), fluido pseudoplástico (2), fluido dilatante (3) e plástico de Bingham (4)

Um grande número de fluidos usados na engenharia é não-newtoniano e apresentam viscosidade que varia em função da taxa de deformação angular de diversas maneiras, podendo também depender da natureza das superfícies sólidas em contato com o escoamento, e até mesmo da história prévia do escoamento (Vieira, 1971).

Os fluidos não-newtonianos são agrupados em três classificações gerais, segundo Hughes e Brighton (1974): fluidos independentes do tempo, fluidos dependentes do tempo e fluidos viscoelásticos. Os fluidos independentes do tempo são classificados em: plásticos de Bingham, pseudoplásticos e dilatantes.

No diagrama reológico (Figura 1, curva 2), a curva do fluido pseudoplástico é côncava para o eixo da taxa de deformação; para isso, $t_0 = 0$ e $n < 1$. Existem várias relações empíricas usadas para descrever fluidos pseudoplásticos. A mais simples delas é a lei de potência de Ostwald, que pode ser escrita como

$$t = k \dot{\gamma}^n \quad (8)$$

onde $n < 1$ e k e n são constantes para um fluido particular. k é uma medida da consistência do fluido e n , o expoente, é uma medida de como o fluido se afasta do newtoniano.

Segundo Schramm (2000) muitos fluidos que têm comportamento pseudoplástico sob certas condições de tensão e taxa de deformação angular, mostram diminuições de viscosidade drásticas quando a taxa de deformação angular é aumentada. De acordo com Fox e McDonald (1995) e Bourne (1982), a maioria dos fluidos não-newtonianos enquadra-se nesta categoria, como polímeros, suspensões coloidais e quase todas as polpas e sucos de frutas. As propriedades reológicas das águas residuárias de bovinocultura, suinocultura e avicultura (ARB, ARS e ARA) demonstram que esses fluidos também são do tipo pseudoplástico, conforme trabalhos desenvolvidos por Kumar et al. (1972), Chen e Hashimoto (1976a, 1976b), Hashimoto e Chen (1976) e Bashford et al. (1977).

No diagrama reológico, a curva do fluido dilatante é convexa para o eixo da taxa de deformação angular (Figura 1, curva 3); para isso, $t_0 = 0$ e $n > 1$. São fluidos que aumentam de volume quando ocorre o escoamento, sendo uma característica de líquidos que contêm alta concentração de partículas sólidas e insolúveis em suspensão, da ordem de 40 a 70 %, como o caso de areia e amido (Sampaio, 1999). Para Schramm (2000), fluidos que apresentam um comportamento de fluxo dilatante aumentam sua viscosidade sempre que se eleva a taxa de deformação angular.

Os plásticos de Bingham (Figura 1, curva 4), segundo Hughes e Brighton (1974), exibem uma tensão de escoamento com taxa de deformação angular nula, seguida por uma relação linear entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação angular. As características desses fluidos são definidas por duas constantes: a tensão de escoamento t_0 , aquela a ser superada para o início do

escoamento, e a viscosidade plástica m_p , que é a inclinação da parte linear da curva $\dot{\gamma}$ versus t . A equação do plástico de Bingham é, então,

$$t = t_0 + m_p \dot{\gamma} \quad (9)$$

Forças internas (de ligação entre partículas ou moléculas) restringem a mudança de posição de elementos de volume e dão à substância um caráter sólido, com uma viscosidade infinitamente alta. Quando as forças externas forem intensas o suficiente para superar as forças internas, ultrapassando o limite da tensão de cisalhamento chamado de ponto de escoamento ou ponto de fluidez, a rede entra em colapso e o sólido se transforma em um líquido fluindo. Substâncias típicas apresentam o ponto de escoamento: lamas para perfuração de poços de petróleo, graxas, betume, pastas de dentes e polímeros de borracha natural. A mistura de óleo cru e água forma um fluido plástico de Bingham que produz uma perda de carga menor que a do óleo, como também da água pura (Huang et al., 1993; Arney et al., 1993; Joseph, 1997). Comportamento semelhante foi verificado no bombeamento da mistura de cloreto de cálcio, carvão triturado e água (Hughes e Brighton, 1974). Fluidos desta categoria apresentam perfil de velocidade mais achatado do que os fluidos newtonianos, adquirindo no escoamento em tubulações a forma de “rolha”, isto é, forma-se uma camada de fluido estacionada em torno da parede da tubulação.

Nos fluidos tixotrópicos, a consistência ou viscosidade aparente, assim como a taxa de deformação angular, dependem do período de aplicação do cisalhamento. Quando o fluido é cisalhado em estado estacionário, quebra-se em escala molecular, mas a reconstituição estrutural aumentará com o tempo. Atinge-se, eventualmente, uma situação de equilíbrio em que a taxa de fratura (quebra) é igual à de reconstituição. Segundo Schramm (2000), a tixotropia é uma característica muito importante para indústrias de tintas, produtos alimentícios, cosméticos, produtos farmacêuticos e outros.

Fluidos reopéticos são aqueles dependentes do tempo que mostram um comportamento anti-tixotrópico, segundo Schramm (2000). Eles são caracterizados por um aumento de viscosidade relacionada à duração do cisalhamento. Quando estes líquidos são postos em repouso, eles recuperarão a consistência original, isto é, o nível de viscosidade baixa. Um exemplo simples de formação da estrutura por cisalhamento é a batida e o endurecimento da clara do ovo, embora não seja provavelmente um fluido reopético verdadeiro. Muitas substâncias perdem sua propriedade reopética com tensões de cisalhamento extremamente altas e podem comportar-se como fluidos tixotrópicos (Hughes e Brighton, 1974).

Fluidos viscoelásticos apresentam propriedades elásticas e viscosas. Seu tipo mais simples é o newtoniano de viscosidade e obedece à lei de Hooke para a parte elástica. Pode-se escrever que

$$\dot{g} = \frac{t}{m_0} + \frac{\dot{t}}{l} \quad (10)$$

onde l é um módulo de rigidez. No escoamento permanente, $\dot{g}$ é igual a $\frac{\dot{t}}{m_0}$ e o fluido comporta-se como fluido newtoniano. Todavia, se a tensão cisalhante muda, nota-se um efeito elástico (Hughes e Brighton, 1974).

Segundo Schramm (2000) é um procedimento normal em reologia usar cálculo de regressão para ajuste de curvas na plotagem de gráficos de viscosidade e fluxo. Dezesete diferentes equações matemáticas com significado reológico e funções polinomiais adicionais estão contidas no software Rheowin, da HAAKE, que pode ser usado para este ajuste de curvas.

De acordo com Chen e Hashimoto (1976a), Einstein, em 1905, foi o primeiro a propor que a tensão de cisalhamento era proporcional à taxa de deformação e, também, à fração de volume de sólidos. Este parâmetro é definido pela relação entre os pesos inicial e final da mistura, representando relação direta

com os sólidos totais. A partir dessa teoria, surgiu a equação que define esta relação.

$$t = b_1 \Phi^{b_2} \left(\dot{g} \right)^{b_3 + b_4 \ln \Phi} \quad (11)$$

em que

Φ = fração de volume de sólidos totais, adimensional; e

b_i = constantes ($i = 1, 2, 3, 4$).

Nota-se que as constantes reológicas k e n podem ser determinadas a partir da fração de volume de sólidos, quando a Equação 11 é comparada com a Equação 1, ou seja, $K = b_1 \Phi^{b_2}$ e $n = b_3 + b_4 \ln \Phi$.

A partir dessa teoria, Chen e Hashimoto (1976a, 1976b) desenvolveram um trabalho que apresenta a Equação 11 ajustada para águas residuárias de bovinocultura, suinocultura e avicultura (ARB, ARS e ARA). Assim, fazendo-se uso das Equações 12, 13 e 14 para ARB, ARS e ARA, respectivamente, é possível estimar os valores de k e n .

$$t = 0,0104.10^{-6} \Phi^{4,56} \left(\dot{g} \right)^{0,584 - 0,0607 \ln \Phi} \quad R^2 = 0,99 \quad (12)$$

$$t = 0,533.10^{-6} \Phi^{3,51} \left(\dot{g} \right)^{1,108 - 0,1960 \ln \Phi} \quad R^2 = 0,90 \quad (13)$$

$$t = 2,25.10^{-5} \Phi^{2,50} \left(\dot{g} \right)^{0,78 - 0,084 \ln \Phi} \quad R^2 = 0,865 \quad (14)$$

em que

Φ = fração do volume de sólidos totais = massa de sólidos / massa total;

t = tensão de cisalhamento, Pa; e

$\dot{g}$ = taxa de deformação, s^{-1} .

A Equação 12 foi determinada para a faixa de 2,9 a 7,2 dag L⁻¹ de sólidos totais e de 30 a 54% de Φ , a Equação 13 para a faixa de 4,4 a 10 dag L⁻¹ de sólidos totais e de 30 a 54% de Φ e a Equação 14 para a faixa de 1,2 a 6,3 dag L⁻¹ de sólidos totais e de 35 a 80% de Φ .

Quando partículas no dejetos formarem flocos grandes mas com pouca coesão, o volume efetivo do floco é maior que a soma dos volumes das partículas, pois um pouco de água também é incorporada ao floco. Quando certa força de cisalhamento for aplicada movendo uma das placas paralelas relativa à outra, à taxa constante, o dejetos com flocos grandes necessitará de força de cisalhamento maior que o dejetos não floculado, porque o atrito interno e a dissipação de energia mecânica são mais altos (Chen e Hashimoto, 1976a).

2.2. Perda de carga em condutos forçados

As características reológicas de um fluido influenciam diretamente na perda de carga que ocorre durante o escoamento de qualquer fluido real. A determinação dessa perda de carga é de fundamental importância no dimensionamento de sistemas pressurizados. Alguns pesquisadores estudaram as propriedades reológicas de vários tipos de fluidos com o objetivo de avaliar as perdas de carga ocorridas devido às mudanças dessas propriedades. Em experimento realizado para medir o efeito da rugosidade na viscosidade e perda de carga teórica em tubos conduzindo água residuária de bovinocultura, Bashford et al. (1977) concluíram que dejetos de gado alimentado com rações contendo menos de 10% de fibra bruta (LR) e mais de 18% de fibra bruta (HR) têm comportamento não-newtoniano pseudoplástico. A perda de carga estimada para dejetos diluídos com a remoção das partículas maiores que 500 microns foi cerca de duas vezes maior que a da perda de carga dos dejetos HR e LR quando as concentrações de sólidos totais variaram de 2 a 6 dag L⁻¹ e 6 a 15 dag L⁻¹, respectivamente.

A perda de carga no bombeamento de água residuária de avicultura com 6 dag L⁻¹ de sólidos totais na região laminar é estimada como sendo de cinco a

doze vezes maior que no bombeamento de água, dependendo das propriedades reológicas do dejetos (Chen e Hashimoto 1976a). As propriedades reológicas do dejetos também influenciam na potência característica do misturador e na eficiência de transferência de oxigênio na aeração do dejetos (Hashimoto e Chen, 1975).

O balanço de energia para um escoamento incompressível em regime permanente e uniforme, para duas seções quaisquer, é expresso por

$$\frac{p_1}{g} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{g} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_t \quad (15)$$

em que

$\frac{p}{g}$ = carga de pressão, [L];

$\frac{V^2}{g}$ = carga cinética, [L];

z = carga de posição, [L]; e

h_t = perda de carga total na tubulação, [L].

A perda de carga total numa tubulação que conduz qualquer tipo de fluido é calculada utilizando-se a seguinte equação

$$h_t = h_f + h_a \quad (16)$$

em que

h_f = perda de carga contínua, [L]; e

h_a = perda de carga localizada, [L].

A perda de carga localizada pode ser estimada por três métodos: expressão de Borda-Belanger (fator K_f), comprimento equivalente e diâmetro equivalente. Existem várias tabelas que possibilitam a determinação da perda de carga localizada para fluidos newtonianos (Azevedo Netto et al., 1998).

Broadfoot et al. (1984) mencionaram que o fator K_f pode também ser estimado para fluidos não-newtonianos, utilizando-se o número de Reynolds generalizado.

Considerando-se o balanço de energia em uma tubulação horizontal, de seção transversal constante e escoamento plenamente estabelecido, a Equação 15 resume-se a

$$\frac{p_1 - p_2}{g} = \frac{\Delta p}{g} = h_f \quad (17)$$

em que

p_1 = pressão na seção 1 da tubulação, $[ML^{-1}T^{-2}]$;

p_2 = pressão na seção 2 da tubulação, $[ML^{-1}T^{-2}]$;

g = peso específico do fluido circulante, $[ML^{-2}T^{-2}]$; e

Δp = diferença de pressão entre duas seções quaisquer da tubulação, $[ML^{-1}T^{-2}]$.

Existem diversas fórmulas que estimam a perda de carga contínua em condutos forçados com seção circular e área constante. De acordo com Duffy (1976), os métodos de avaliação dessa perda de carga são agrupados em três categorias: correlações gráficas, equações empíricas e equações que estimam o fator de atrito. Atualmente, as duas últimas são as mais utilizadas e de maior precisão, devido à facilidade de acesso ao computador.

Dentre as equações que utilizam o fator de atrito, a mais usada é a Equação Universal, ou seja

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} = 8f \frac{L}{D^5} \frac{Q^2}{p^2 g} \quad (18)$$

em que

f = fator de atrito, adimensional;

L = comprimento da tubulação, $[L]$;

D = diâmetro interno da tubulação, $[L]$;

V = velocidade média do fluido, $[LT^{-1}]$;

g = aceleração da gravidade, $[LT^{-2}]$; e

Q = vazão média do fluido, $[L^3T^{-1}]$.

Existem várias equações que permitem estimar o fator de atrito para condutos circulares de seção constante, em função da rugosidade relativa das paredes da tubulação e do número de Reynolds, para fluidos newtonianos, sendo este último definido por

$$Re_y = \frac{rVD}{m} = \frac{VD}{n} \quad (19)$$

em que

Re_y = número de Reynolds, adimensional.

No regime laminar ($Re_y < 2.000$), o fator de atrito depende, exclusivamente, do número de Reynolds, sendo estimado pela equação de Poiseuille.

$$f = \frac{64}{Re_y} \quad (20)$$

Dentre as equações mais utilizadas para o regime turbulento ($Re_y > 4.000$), Azevedo Neto et al. (1998) e Rouse (1982) destacam as equações de Blasius (Equação 21), de Colebrook-White (Equação 22) e Von Karman (Equação 23).

$$f = 0,3164(Re_y)^{-0,25} \quad (21)$$

válida para $4.000 < Re_y < 10^5$;

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{e/D}{3,71} + \frac{2,51}{Re_y \sqrt{f}} \right) \quad (22)$$

válida para $Re_y > 4.000$; e

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{1}{0,4} \log(Re_y \sqrt{f}) \quad (23)$$

válida para $Re_y > 4.000$, em que

e = rugosidade absoluta dos tubos, [L].

Alguns autores como Herum et al. (1996), Chen e Hashimoto (1976b) e Steffe e Morgan (1986) citam uma fórmula alternativa derivada da Equação Universal (Equação 18) usada para fluidos não-newtonianos pseudoplásticos. A mudança na equação diz respeito ao fator de atrito de Fanning (f_n). Hughes e Brighton (1974) relataram que esse fator relaciona-se com o fator f por $f = 4f_n$, podendo a Equação 18 ser escrita como

$$h_f = 2 f_n \frac{L}{D} \frac{V^2}{g} \quad (24)$$

em que

f_n = fator de atrito de Fanning, válido para fluidos pseudoplásticos, adimensional.

Ostwald de Waele propôs a Equação 25, que estima a perda de carga contínua causada por qualquer fluido não-newtoniano quando ocorre o escoamento laminar (Bashford et al., 1977; Broadfot et al., 1994), ou seja,

$$h_f = 2kL \left(\frac{3n+1}{n} \right)^n \frac{V^n}{r^{n+1}} \quad (25)$$

em que

h_f = perda de carga, dina cm^{-2} ;

L = comprimento da tubulação, cm;

V = velocidade média do fluido, cm s^{-1} ;

r = raio da tubulação, cm;

k = índice de consistência (constante reológica), dina sⁿ cm⁻².

Um método ainda mais simples é sugerido por Estep, citado por Kumar et al. (1972), segundo o qual, de modo geral, a perda de carga contínua causada por águas residuárias provenientes da criação de animais deve ser aumentada em 10%, com relação à perda de carga com água limpa.

Em estudos envolvendo o bombeamento de ARB e ARS, Oliveira (1996) e Soccol et al. (1999), respectivamente, verificaram a complexidade desses fluidos. De acordo com os resultados encontrados, a bomba apresentou rendimento inferior em relação à operação com água quando se trabalhou com ambos os fluidos, levando os referidos autores a uma recomendação prática de adicionar 20 % ao valor da potência da bomba quando o sistema operar com ARB e ARS para concentrações de sólidos totais situados entre 1,83 e 9,85 dag L⁻¹ e 0,94 e 7,77 dag L⁻¹, respectivamente.

Lee e Duffy (1976) desenvolveram uma metodologia baseada na equação de Von Karman, aplicada para fluidos não-newtonianos, a qual não segue os métodos reológicos, sendo indicada também para aqueles fluidos dos quais não existem informações quanto a sua reologia. O modelo relaciona o fator f exclusivamente com o número de Reynolds (Equação 26), tratando o fluido não-newtoniano como newtoniano. Neste caso, o fluido de referência é sempre a água.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = \frac{1}{b} \ln(\text{Re}_y) \sqrt{f} + \left(14 - \frac{5,6}{b} \right) \quad (26)$$

O fator b é a constante característica para cada tipo e concentração do fluido em questão, bastando realizar uma regressão simples para determiná-lo. No caso da água, $b = 0,4$, transformando-se, assim, a Equação 26 na Equação de Von Karman (Equação 23).

Sampaio et al. (2000 e 2001), por meio da Equação 27, apresentaram o modelo de Lee e Duffy (1976) modificado, desenvolvido a partir da Equação 26, obtendo resultados estatisticamente satisfatórios.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = a(\ln \text{Re } y)(\sqrt{f}) + b \quad (27)$$

em que

a e b = constantes características do fluido, adimensionais.

Uma equação empírica, que estima a perda de carga para a água limpa, foi proposta por Hazem e Williams (1963), estando apresentada na Equação 28.

$$h_f = \left(\frac{V}{0,355CD^{0,63}} \right)^{1,852} L = 10,648Q^{1,852} C^{-1,852} D^{-4,87} L \quad (28)$$

em que

V = velocidade média, m s⁻¹;

C = coeficiente que depende da natureza das paredes do tubo e do seu estado de conservação, além do fluido transportado, adimensional;

D = diâmetro interno da tubulação, m;

L = comprimento da tubulação, m; e

Q = vazão média, m³ s⁻¹.

Esta equação é indicada para escoamento de água limpa em condutos forçados, em regime turbulento, à temperatura ambiente.

Para fluidos não-newtonianos também existe um modelo empírico (Equação 29), semelhante ao de Hazen-Williams, desenvolvido por pesquisadores atuantes nas áreas de alimentos, papel e celulose e de transporte de óleo em refinarias (Duffy e Titchener, 1974; Moller, 1976; Lee e Duffy, 1976; Moller e Duffy, 1978).

$$\frac{h_f}{L} = b_1 V^{b_2} ST^{b_3} D^{b_4} \quad (29)$$

em que

b_1 , b_2 , b_3 e b_4 = constantes características do fluido, adimensionais; e
ST = concentração de sólidos totais, dag L⁻¹.

As equações empíricas usadas no cálculo da perda de carga, em geral apresentam melhores resultados do que os métodos de correlações gráficas e as equações que estimam o fator de atrito (Duffy, 1976).

Sampaio et al. (2000 e 2001), na busca de modelos matemáticos que estimassem a perda de carga distribuída em tubulações de aço zincado, ferro galvanizado e PVC com diâmetros comerciais de 2 a 6 polegadas, utilizando como fluidos circulantes as águas residuárias de suinocultura e bovinocultura com diferentes concentrações de sólidos totais, apresentaram a Equação 30 como uma proposta de modificação do modelo de Hazen-Williams.

$$J = \frac{k_1(ST)^{k_2} Q^{k_3}}{C^{k_4} D^{k_5}} \quad (30)$$

onde

J = perda de carga unitária, m m⁻¹; e

k₁, k₂, k₃, k₄ e k₅ = parâmetros de ajuste da equação, adimensionais.

As Equações 31 e 32 são as equações ajustadas com base neste modelo para ARB e ARS, respectivamente.

$$J = \frac{8,17344(ST)^{0,100} Q^{1,760}}{C^{1,704} D^{4,520}} \quad (31)$$

$$J = \frac{0,540257(ST)^{0,173} Q^{1,789}}{C^{1,1724} D^{4,589}} \quad (32)$$

Os mesmos autores concluíram que os métodos que estimam a perda de carga baseados na equação universal não apresentaram bons ajustes, principalmente quando se utilizou o número de Reynolds generalizado. Segundo os autores, as equações empíricas obtidas utilizando-se as metodologias de Duffy e Titchener (1974) e Hazen-Williams modificada para as águas residuárias de bovinocultura e de suinocultura, que relacionam a perda de carga com vazão, diâmetro, coeficiente de rugosidade e concentração de sólidos totais, apresentaram bons resultados, com coeficientes de determinação superiores a 98%, podendo-se recomendar sua utilização para dimensionamento de projetos hidráulicos pressurizados, para escoamento das duas águas residuárias.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da bancada experimental

O trabalho foi conduzido na Área Experimental de Hidráulica, Irrigação e Drenagem do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, no período de agosto de 2002 a janeiro de 2003. Na Figura 2 está representada uma vista geral do experimento em campo, constituído por um sistema com tubulações, conjuntos motobombas, piezômetros e reservatórios.



Figura 2 - Vista geral da bancada experimental

Na Figura 3 está apresentado o esquema da bancada experimental mostrando os conjuntos motobombas, as tubulações, os piezômetros e os detalhes internos dos reservatórios.

No presente trabalho foram utilizadas tubulações de ferro galvanizado com diâmetros internos de 53,75, 84,01, 105,90, 130,30 e 155,58 mm, tubulações de aço zincado com diâmetros internos de 73,54, 99,83, 125,24 e 150,43 mm e tubulações de PVC com diâmetros de 52,61, 79,90, 103,22, 127,31 e 153,43 mm.

As conexões das tubulações ensaiadas foram do tipo luva rosqueável, excetuando-se as de aço zincado, em que as conexões utilizadas foram do tipo flange.

Todas as tubulações estudadas foram colocadas em nível na bancada de ensaios, conforme ilustrado na Figura 4, permitindo, assim, o uso da Equação 18 para calcular a perda de carga. O trecho onde foi avaliada a perda de carga contínua teve um comprimento útil de 18 m. As tomadas dos piezômetros foram localizadas sempre no meio de cada tubo, à exceção do tubo de aço zincado de 125,24 mm, que teve um comprimento útil de 12 m, com apenas três tubos de 6 m e três piezômetros. Havia trechos de 3 m de comprimento situados à jusante e à montante do trecho útil, com o intuito de garantir o escoamento plenamente desenvolvido, minimizando-se, assim, possíveis erros durante a leitura nos piezômetros.

No final de cada ensaio foi necessária a mudança das tubulações estudadas. As conexões que permitiram a troca das tubulações foram feitas por meio de reduções concêntricas, confeccionadas com chapas de aço de 4 mm de espessura, dotadas de flanges, como se pode observar na Figura 5.

A diferença entre dois piezômetros consecutivos correspondia à perda de carga em cada trecho de 6 m, como apresentado na Figura 4, obtendo-se, portanto, três repetições. Os piezômetros foram identificados por P1, P2, P3 e P4. Com a finalidade de evitar possíveis entupimentos, usou-se piezômetros com diâmetro interno de 25 mm.

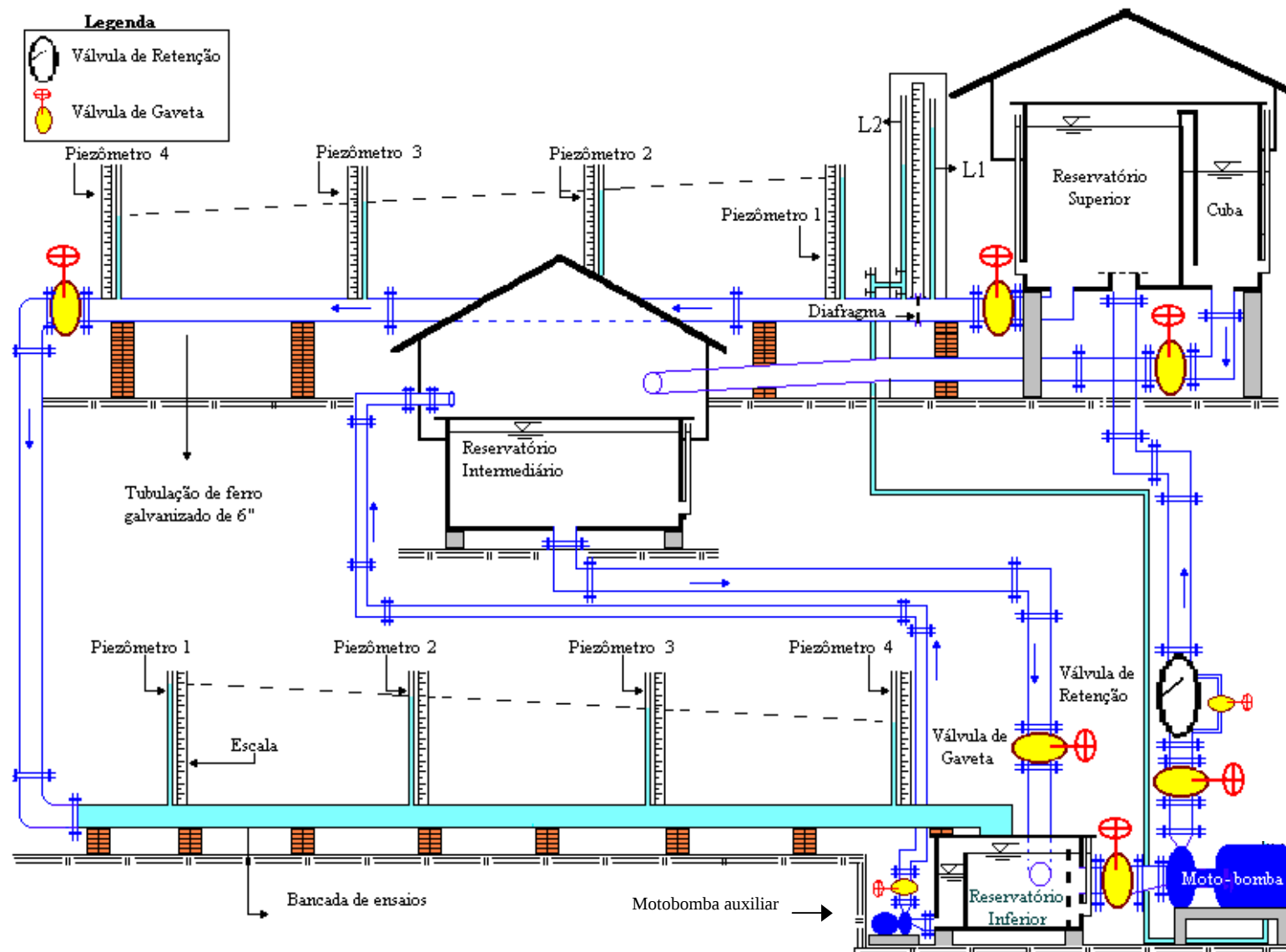


Figura 3 - Esquema representando a bancada experimental



Figura 4 – Vista parcial da bancada de ensaios mostrando a tubulação em nível e a posição dos piezômetros, com detalhe da indicação da perda de carga nos piezômetros

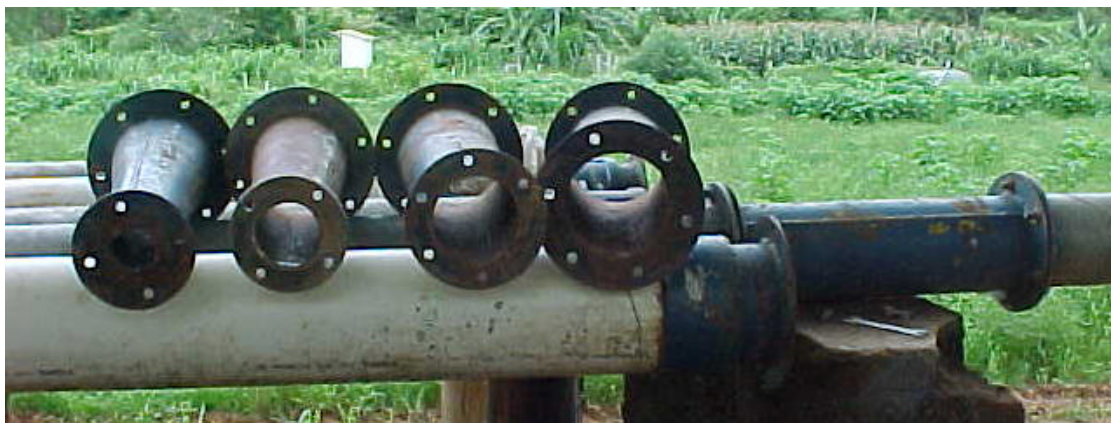


Figura 5 – Vista das conexões utilizadas para a troca das tubulações

A vazão foi medida por meio de um diafragma com diâmetro de 84,5 mm, situado na tubulação derivada do reservatório superior, conforme mostrado nas

Figuras 3, 6a e 6b. O diâmetro dos dois piezômetros do diafragma foi de 25 mm e estão indicados na Figura 3 por L1 e L2.

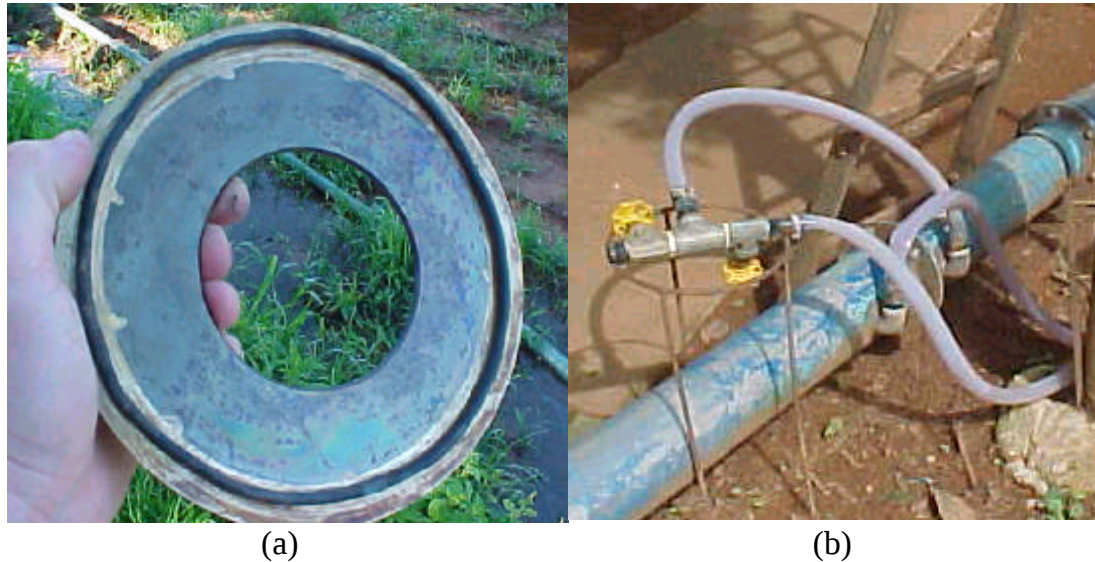


Figura 6 – Vista do diafragma (a) e piezômetros situados a jusante e a montante do diafragma (b)

Na bancada experimental (Figura 3), os ensaios foram conduzidos da seguinte maneira: o fluido era bombeado do reservatório inferior para o reservatório superior, de onde parte do fluido escoava por gravidade para as tubulações situadas na bancada de ensaios, que apresentava um desnível de 4,5 m em relação ao nível constante do reservatório superior. Em seguida, o fluido era descarregado no reservatório inferior. O excedente do fluido do reservatório superior era conduzido para o reservatório intermediário para, posteriormente, ser conduzido para o reservatório inferior, onde era novamente bombeado, fechando-se, dessa maneira, o ciclo.

Todos os ensaios foram conduzidos com as tubulações cheias de fluido nos pontos de conexão dos piezômetros e em toda seção transversal por meio da instalação de curvas de 90° voltadas para cima na extremidade final de cada tubulação, de forma a garantir a qualidade da leitura nos piezômetros.

Na tubulação de ferro galvanizado de 155,58 mm foi instalado outro conjunto de piezômetros para determinação da perda de carga, devido à dificuldade de sua movimentação, sendo a mesma mantida fixa na posição indicada pela Figura 7. Assim, utilizou-se também essa tubulação para a condução do líquido circulante do reservatório superior até a bancada de ensaios das outras tubulações.

Em cada ensaio foram coletados, em média, 16 dados de vazão para cada tubulação e concentração de sólidos totais da ARA. Entretanto, consideraram-se apenas as observações que resultaram no melhor ajuste dos dados, com número de Reynolds igual ou superior a 100.000, seguindo as recomendações do trabalho de Hazen e Williams (1963).

A vazão de água residuária foi regulada com o uso de uma válvula de gaveta situada na extremidade final da tubulação de ferro galvanizada de 155,58 mm (Figura 7).



Figura 7 – Tubulação fixa de ferro galvanizado de 155,58 mm, com a válvula de gaveta para controle de vazão

O conjunto motobomba foi montado sobre base metálica e constituído de um motor elétrico da marca WEG, de 20 cv, e de uma bomba centrífuga da marca REFAGA, modelo TU-70, com rotor tubular de 200 mm de diâmetro.

Antes de realizar os ensaios, todos os tubos foram lavados, circulando-se água por pelo menos três horas em cada tubulação, renovando-se a água e limpando-se os reservatórios a cada lavagem do tubo.

Instalou-se no interior do reservatório inferior uma chapa sem perfuração, que serviu para estabelecer um nível constante do fluido, bem como uma chapa perfurada para reduzir a turbulência causada pela entrada de fluido proveniente da tubulação avaliada. O excesso de fluido no reservatório inferior foi recebido num compartimento localizado à esquerda da chapa metálica sem perfurações, para, em seguida, ser bombeado para o reservatório intermediário com um conjunto motobomba auxiliar, com 7,5 cv de potência, dotado de chave-bóia para efetuar o acionamento e desligamento automáticos desse recalque toda vez que o nível atingia a altura de 0,67 m em relação ao fundo.

No reservatório superior instalou-se uma chapa metálica circular, posicionada horizontalmente nas proximidades da seção de entrada a 25 cm do fundo, para reduzir a turbulência do fluido. Outra chapa metálica com entalhe em “V” foi instalada na parte superior, semelhante a um vertedor triangular, mantendo-se o nível constante do fluido, para condicionar todos os ensaios às mesmas características de escoamento e altura de carga. Possibilitou-se, também, a criação de um compartimento (cuba) para uso na calibração do diafragma.

O diafragma foi previamente calibrado com água limpa, no Laboratório de Hidráulica do DEA – UFV, e ARA nas respectivas concentrações de sólidos totais utilizadas no experimento, realizado em campo. A vazão durante a calibração do diafragma foi obtida pelo método direto, determinando-se o tempo necessário para ocupar $0,8 \text{ m}^3$ da cuba do reservatório superior, volume este situado entre duas marcas fixadas num indicador de nível do lado externo da cuba. Durante a obtenção de dados, o nível do fluido nos reservatórios inferior e superior foi mantido constante, de modo a evitar que qualquer variação na vazão da bomba pudesse acarretar possíveis erros de medição.

A calibração do diafragma para a água limpa e as diversas concentrações de ARA resultou em sete modelos diferentes para estimar a vazão em função da pressão. Utilizou-se o teste de identidade de modelos através do programa estatístico SAEG, na expectativa de encontrar um modelo único que pudesse ser utilizado para todos os fluidos.

3.2. Caracterização dos fluidos

Os fluidos avaliados no experimento foram água e ARA, nas concentrações de sólidos totais de 0,2587, 0,4600, 0,7269, 0,9431, 1,6315 e 2,8941 dag L⁻¹. As diferentes concentrações foram obtidas mediante a adição e mistura de esterco proveniente do aviário da UFV, acumulado sob as gaiolas de galinhas poedeiras, previamente moído para facilitar a homogeneização e manuseio e depois passado em peneira de malha 6 mm para a retirada de penas e outros materiais indesejáveis. A ração das galinhas poedeiras do galpão de onde foi obtido o esterco é composta aproximadamente por 60 % de milho, 25 % de farelo de soja, 7 % de calcário e 2 % de fosfato bicálcico, além de suplementos minerais, óleos e aditivos, totalizando 6 %. O esterco, acondicionado em sacaria, foi adicionado ao reservatório intermediário com o fluido em circulação, para evitar sedimentação e facilitar a homogeneização. Após adicionar o esterco correspondente a cada concentração avaliada, o fluido circulava por pelo menos 5 horas, depois de ficar pelo menos 12 horas em repouso para absorção de água.

Antes da execução dos ensaios referentes a cada concentração, era realizada diariamente a circulação do fluido no sistema por um período de aproximadamente 2 horas. Uma circulação prévia de 1 hora antecedia cada ensaio, visando garantir a homogeneização.

A temperatura do fluido circulante foi determinada no início e no final de cada teste. Amostras do fluido circulante foram coletadas para determinação de análises físicas e químicas.

O peso específico médio do fluido estudado foi determinado por meio da pesagem de 1.000 mL da amostra contida numa proveta, fazendo-se três repetições. A concentração de sólidos totais (ST) e sólidos sedimentáveis (SS) também foi determinada com três repetições. As análises químicas constituíram-se na determinação do conteúdo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), sódio (Na), magnésio (Mg) e pH, bem como da DBO (demanda bioquímica de oxigênio) e da DQO (demanda química de oxigênio). Com exceção do pH, as outras determinações químicas foram feitas apenas para a concentração de 1,6315 dag L⁻¹, com duas repetições, a título de caracterização do fluido circulante. Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Qualidade de Água do DEA – UFV.

Para determinar as propriedades reológicas da ARA e definir o tipo de fluido em questão foi utilizado reômetro RheoStress RS 150, de fabricação da Haake, apresentado na Figura 8. Nas determinações foi utilizado um sensor DG41 Ti (doblo gap 41 titânio), com fatores geométricos “A” igual a 3701.000 Pa/Nm e “M” igual a 72.670 (s⁻¹)/(rad s⁻¹) e fenda de 5.100 mm.



Figura 8 – Reômetro Rheostress RS 150 utilizado na caracterização reológica da ARA

Com o auxílio do software Rheowin versão 2.94, foram obtidos dados de tensão de cisalhamento τ , taxa de cisalhamento $\dot{\gamma}$ e viscosidade aparente η a cada segundo, durante três minutos, totalizando 180 dados para cada concentração de ARA, com temperatura de ensaio de $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.50\text{ }^{\circ}\text{C}$. O método de teste utilizado foi o CS (deformação constante). O volume da amostra foi de $4,5\text{ cm}^3$. A amplitude das medidas de viscosidades é de $0,5$ a 10^4 mPa s , com uma faixa de taxa de deformação de $0,05$ a 4.000 s^{-1} , com incerteza de $\pm 6\%$.

3.3. Modelos avaliados

Os ensaios realizados com os tubos comerciais consistiram de combinações obtidas com as concentrações de fluidos circulantes, com os diâmetros e com os tipos de materiais de fabricação. De posse dos dados de perda de carga, de concentração de sólidos totais, de vazão, de material de fabricação da tubulação e de diâmetros, avaliaram-se alguns modelos de estimativa de perda de carga baseados nas equações de Hazen-Williams e Universal.

a) Modelo de Sampaio et al. (1999)

O modelo mostrado na Equação 33 foi adaptado da Equação 27 proposta por Sampaio et al. (2000 e 2001) com alteração na sua forma para considerar o efeito da concentração de sólidos totais. Foram ajustadas equações para cada um dos três tipos de materiais estudados (ferro galvanizado, aço zincado e PVC).

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = aST^c (\ln Re y) (\sqrt{f}) + b \quad (33)$$

onde

c = constante característica do fluido, adimensional.

b) Modelo de Duffy e Titchener (1974)

É um modelo empírico que estima a perda de carga em função da velocidade, diâmetro e concentração de sólidos totais para cada tipo de material de tubulação (Equação 29). Desse modo, foi ajustada uma equação para cada tipo de material (aço zincado, ferro galvanizado e PVC).

c) Modelo de Hazen-Williams modificado

É uma proposta nova do modelo de Hazen-Williams, adaptado para ARA (Equação 30). Este modelo, semelhante à equação de Hazen-Williams, possui grande potencial de uso devido à sua simplicidade e capacidade de síntese.

As análises estatísticas de todos os modelos avaliados foram realizadas utilizando o programa computacional SAEG.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Características químicas e físicas dos fluidos circulantes

Encontram-se no Quadro 2 os resultados da análise física da ARA nas suas diversas concentrações de sólidos totais (ST) e da água limpa. Esses resultados constituem-se em médias aritméticas de três repetições.

Quadro 2 – Caracterização física da água limpa e da ARA nas diversas concentrações de sólidos totais estudadas

	Água	C 1	C 2	C 3	C 4	C 5	C 6
ST (dag L ⁻¹)	0,0066	0,2587	0,4600	0,7269	0,9431	1,6315	2,8941
SS (mL L ⁻¹)	< 0,1	13,5	27,2	51,6	81,0	173,3	296,7
<i>g</i> (kgf m ⁻³)	999,48	1.003,01	1.004,27	1.005,98	1.004,15	1.009,05	1.014,75

C1, C2, C3, C4, C5 e C6 são as diferentes concentrações da ARA.

O peso específico *g* aumentou com a concentração de sólidos totais da ARA. Como o peso específico do esterco de galinhas poedeiras é maior que o da água pura, à medida que se aumenta a quantidade de esterco na água, aumenta o peso específico da ARA. Sampaio (1999) encontrou peso específico de 1.012,26 kgf m⁻³ para a concentração de 3,23 dag L⁻¹ da ARB e 1.015,15 kgf m⁻³ para a concentração de 4,73 dag L⁻¹ da ARS. Para uma mesma faixa de peso específico de ARA, 1.014,75 kgf m⁻³, a concentração de sólidos totais encontrada foi bem menor, apresentando o valor de 2,8941 dag L⁻¹.

No Quadro 3 estão apresentadas as características reológicas da ARA, cujas determinações foram decisivas para a definição dos modelos e a conseqüente classificação do fluido quanto ao seu comportamento reológico. Possivelmente, a baixa viscosidade, comparada à da água pura, contribuiu com o aumento da velocidade de sedimentação das partículas e, conseqüentemente, com o crescimento da quantidade de material sedimentado em relação ao material em suspensão. Para efeito de comparação, a viscosidade da água a 20 °C é de $1,0 \times 10^{-3}$ Pa s. A unidade Pa s (Pascal segundo) corresponde a 1 Poiseuille (1 Pl), o que equivale a 1 N s m^{-2} .

Quadro 3 – Caracterização reológica da ARA (viscosidade aparente, tensão de escoamento e coeficiente de determinação de acordo com a Equação 9)

ST (dag L ⁻¹)	0,2587	0,4600	0,7269	0,9431	1,6315	2,8941
<i>h</i> (Pa.s)	0,000836	0,0007822	0,0008554	0,0002796	0,0007191	0,0002706
<i>t</i> ₀ (Pa)	0,01555	0,01906	0,01925	0,05283	0,02741	0,5517
<i>r</i> ²	0,9966	0,9932	0,9847	0,9070	0,9847	0,0225

O acúmulo de aproximadamente 30 cm de material sedimentado no reservatório intermediário, principalmente em suas bordas, foi determinante para o encerramento dos ensaios. Parte do esterco acrescentado para compor a concentração de sólidos totais de 2,8941 dag L⁻¹ não circulou. Nos cantos do reservatório inferior, já a partir da concentração de sólidos totais de 0,4600 dag L⁻¹, foi percebido acúmulo de material.

Este grande acúmulo de material sedimentado no fundo dos reservatórios causou sobrecarga no motor do agitador submersível instalado no reservatório superior, cuja hélice trabalhava justamente onde estava concentrado o material mais grosseiro, forçando o equipamento e provocando curto circuito. Após o encerramento dos ensaios com a maior concentração de sólidos totais, devido ao repouso do fluido, o material sedimentou-se também dentro do rotor da bomba principal, impedindo sua rotação. O material sedimentado constituiu-se dos ingredientes minerais da ração presentes no esterco, da terra do fundo do galpão das aves e de outros materiais estranhos incorporados ao esterco.

A massa específica das partículas em suspensão para a concentração de sólidos totais de $2,8941 \text{ dag L}^{-1}$ foi de $1,84 \text{ g cm}^{-3}$; já o material sedimentado no fundo dos reservatórios apresentou massa específica de partículas de $2,57 \text{ g cm}^{-3}$, bem maior do que a do material em suspensão. As partículas em suspensão na água residuária circulante apresentaram diâmetro menor que 1 mm. As partículas maiores que 1 mm sedimentaram.

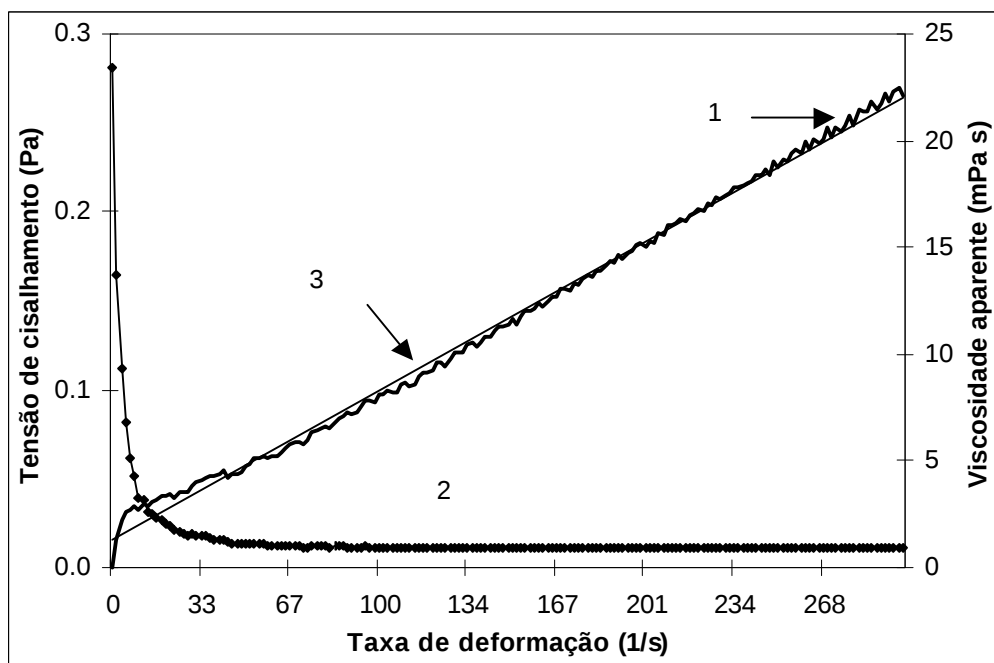
Em vista dos problemas relacionados, é fundamental que em sistemas de transporte hidráulico de ARA haja uma estrutura para promover a separação prévia do material mais grosseiro, através de filtração ou sedimentação.

Na Figura 9 estão apresentadas as curvas de taxa de deformação angular x tensão de cisalhamento (curva de fluxo) e da taxa de deformação angular x viscosidade (curva de viscosidade), construídas ao longo do teste para caracterização reológica da ARA com a concentração de sólidos totais de $0,2587 \text{ dag L}^{-1}$. Está representada na figura a equação referente ao modelo reológico que caracterizou o fluido como plástico de Bingham. Os dados e demais gráficos referentes a estas determinações estão apresentados no Apêndice B. Com exceção da concentração de sólidos totais de $2,8941 \text{ dag L}^{-1}$, conforme pode ser visto no Quadro 3, o coeficiente de regressão foi alto para modelo ajustado. Possivelmente, durante a determinação, ocorreu sedimentação de parte dos sólidos no cilindro do reômetro e as características levantadas podem representar apenas a solução sobrenadante, explicando os valores mais baixos para as viscosidades aparentes das concentrações de sólidos totais de $0,9431$ e $2,8941 \text{ dag L}^{-1}$. Para esta última concentração não houve ajuste de modelo.

Os plásticos de Bingham, segundo Hughes e Brighton (1974), exibem uma tensão de escoamento com taxa de deformação nula, seguida por uma relação linear entre tensão e taxa de deformação.

Forças de ligação moleculares ou interpartículas possibilitam às partículas sólidas dispersas e em suspensão a formação de estrutura em forma de flocos. Quando submetidas a um esforço externo, estas forças internas conferem ao fluido uma resistência ao escoamento relativamente alta, dificultando, num primeiro instante, o fluxo do fluido. A partir de certa magnitude, a força externa

supera as forças internas, rompendo a estrutura inicial, e o fluido se comporta como um líquido. Este comportamento caracteriza o fluido como plástico de Bingham, modelo reológico descrito pela Equação 9, que melhor se ajustou entre todos contidos no software Rheowin para a ARA.



1 Taxa de deformação x tensão de cisalhamento

2 Taxa de deformação x viscosidade aparente

3 Taxa de deformação x tensão de cisalhamento: $\hat{\tau} = 0,01555 + 0,000836\dot{\gamma}$ $r^2 = 0,9966$

Figura 9 – Curva da taxa de deformação x tensão de cisalhamento e curva da taxa de deformação x viscosidade aparente para ARA com 0,2587 dag L⁻¹

O limite a partir do qual o líquido começa a fluir após a resistência inicial é chamado de ponto de escoamento (yield point). A tensão de cisalhamento correspondente a este limite é representada graficamente pelo ponto do eixo das ordenadas interceptado pela reta da Equação 9, que descreve o fluxo. É chamada de tensão de escoamento que, na Figura 9, corresponde a 0,01555 Pa. Até então, a taxa de deformação é nula. A partir daí, à medida que aumenta a tensão de cisalhamento cresce proporcionalmente a taxa de deformação angular. Esta relação de proporcionalidade é definida pelo coeficiente angular da reta e corresponde à viscosidade aparente do fluido; neste caso, 0,000836 Pa s.

Referências indicam a ARA como fluido pseudoplástico. Duas possibilidades podem justificar o resultado diferente encontrado neste trabalho. A primeira é que a ARA em questão foi produzida com a adição de esterco curtido à água, depois de seco, moído e peneirado, enquanto que nos trabalhos de Chen e Hashimoto (1976a,b), a ARA de esterco fresco foi reutilizada para lavar o galpão das poedeiras. As características químicas, físicas e biológicas podem ser diferentes para cada processo de geração da ARA, podendo variar de acordo com a dieta dos animais, forma de coleta, armazenamento, manejo e utilização, podendo ainda apresentar características diferentes nos diferentes estágios do tratamento pelo qual passa a ARA.

Outro fato é que os reômetros e viscosímetros nos quais foram testados os fluidos há décadas atrás eram experimentais e não haviam equipamentos automatizados que garantissem a repetibilidade e as condições de controle para a realização destas determinações, como nos equipamentos atuais, dificultando qualquer comparação conclusiva.

Na determinação do número de Reynolds foi utilizada a Equação 6, considerando a viscosidade aparente da ARA no lugar da viscosidade dinâmica.

No Quadro 4 estão apresentadas as análises químicas da concentração de sólidos totais de 1,6315 dag L⁻¹ da ARA, com média de duas repetições. Devido às restrições orçamentárias não foram feitas as análises para as outras concentrações, com exceção da determinação do pH.

Quadro 4 – Análise química da ARA

	Concentrações de sólidos totais (dag L ⁻¹)						
	Água	0,2587	0,4600	0,7269	0,9431	1,6315	2,8941
pH ¹	7,05	7,47	7,19	7,28	7,33	7,12	7,17
Mg (mg L ⁻¹)	-	-	-	-	-	90,53	-
Ca (mg L ⁻¹)	-	-	-	-	-	459,42	-
Na (mg L ⁻¹)	-	-	-	-	-	267,00	-
N total (mg L ⁻¹)	-	-	-	-	-	809,10	-
P (mg L ⁻¹)	-	-	-	-	-	3,48	-
K (mg L ⁻¹)	-	-	-	-	-	804,00	-
DBO ₅ (mg L ⁻¹)	-	-	-	-	-	2.065,10	-
DQO (mg L ⁻¹)	-	-	-	-	-	10.576,00	-

Não foi considerada nenhuma interferência das características químicas na determinação da perda de carga, apesar de Chen e Hashimoto (1976a) citarem que o pH possa apresentar efeito significativo na perda de carga de um fluido não-newtoniano em regime laminar, pois, durante os ensaios experimentais, o escoamento dos fluidos se processou em regime turbulento.

4.2. Calibração do diafragma

A calibração do diafragma para água e para as diversas concentrações de ARA resultou em sete modelos diferentes, relacionando vazão e pressão. Estes modelos estão apresentados no Quadro 5, bem como os respectivos coeficientes de vazão C_Q .

Quadro 5 – Equações ajustadas para a calibração do diafragma para água e ARA, coeficientes de vazão do diafragma C_Q e respectivos coeficientes de determinação ajustados r^2

ST (dag L ⁻¹)	Vazão (m ³ h ⁻¹)	C_Q	r^2 ajustado
0,0066 (água)	$\hat{Q} = 1,7817 \Delta p^{0,501096}$	0,6328	0,9998
0,2587 (C1)	$\hat{Q} = 1,8002 \Delta p^{0,504741}$	0,7078	0,9948
0,4600 (C2)	$\hat{Q} = 2,0017 \Delta p^{0,500798}$	0,7005	0,9946
Comum (C1, C2)	$\hat{Q} = 1,9414 \Delta p^{0,502124}$	0,6923	0,9944
0,7269 (C3)	$\hat{Q} = 2,0378 \Delta p^{0,514224}$	0,7206	0,9982
0,9431 (C4)	$\hat{Q} = 2,0866 \Delta p^{0,524426}$	0,7379	0,9953
1,6315 (C5)	$\hat{Q} = 2,1184 \Delta p^{0,523261}$	0,7491	0,9931
2,8941 (C6)	$\hat{Q} = 2,1072 \Delta p^{0,523193}$	0,7452	0,9963
Comum (C3, C4, C5, C6)	$\hat{Q} = 1,7104 \Delta P^{0,521048}$	0,6570	0,9951

Δp = gradiente de pressão a jusante e a montante do diafragma, mm.

Procurou-se, sem sucesso, um modelo único que ajustasse, de forma independente, os dados de vazão e pressão, usando-se o teste de identidade de modelos. Várias tentativas foram feitas, chegando-se a três modelos distintos

para a determinação da vazão medida indiretamente pelo diafragma: o primeiro só para a água, o segundo para ARA com as concentrações de sólidos totais de 0,2587 e 0,4600 dag L⁻¹, e o terceiro para ARA com as demais concentrações de sólidos totais.

A equações de vazão foram ajustadas utilizando-se valores de número de Reynolds acima de 10⁵, que possibilitaram ao diafragma trabalhar acima do limite de constância, o que implicou num coeficiente de vazão único para cada fluido estudado.

Todas as avaliações foram realizadas com o diafragma instalado na bancada experimental (Figuras 3 e 6).

4.3. Comportamento hidráulico dos fluidos circulantes nas tubulações

Estão apresentados no Quadro 6 os dados obtidos em campo, tendo como fluido escoante a água limpa, para a tubulação de ferro galvanizado de 155,48 mm de diâmetro interno. Os dados encontrados nos demais ensaios estão apresentados no Apêndice A.

Quadro 6 – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para água limpa na tubulação de ferro galvanizado com diâmetro de 130,30 mm e temperatura entre 23,0 e 24,0°C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3160	1030	1814	1638	1484	1314	82,922	27,778	1,727	122	0,02380	2,22630
2	3172	1086	1756	1584	1436	1274	82,059	26,778	1,709	123	0,02343	2,20313
3	3188	1172	1700	1550	1400	1240	80,668	25,556	1,680	124	0,02314	2,16577
4	3208	1290	1642	1488	1350	1206	78,678	24,222	1,639	124	0,02305	2,11236
5	3220	1386	1598	1450	1320	1150	76,932	24,889	1,603	120	0,02477	2,06548
6	3250	1530	1520	1388	1260	1122	74,498	22,111	1,552	124	0,02347	2,00012
7	3276	1692	1440	1316	1200	1078	71,485	20,111	1,489	125	0,02318	1,91924
8	3300	1856	1360	1248	1144	1028	68,246	18,444	1,422	125	0,02333	1,83228
9	3324	2010	1290	1180	1076	978	65,095	17,333	1,356	123	0,02410	1,74768
10	3350	2134	1230	1124	1038	944	62,615	15,889	1,304	124	0,02387	1,68110
11	3320	2340	1120	1034	960	874	56,198	13,667	1,171	121	0,02549	1,50882
12	3420	2560	1006	940	876	810	52,638	10,889	1,097	128	0,02315	1,41322
13	3468	2790	884	830	778	726	46,725	8,778	0,973	128	0,02369	1,25448
14	3500	3006	786	734	696	658	39,870	7,111	0,831	122	0,02635	1,07044

No Quadro 7 estão representados os dados obtidos nos ensaios com ARA, na concentração de $1,6315 \text{ dag L}^{-1}$ para a tubulação de ferro galvanizado de 155,48 mm de diâmetro interno. Os dados encontrados nos demais ensaios estão apresentados no Apêndice A.

O fator de atrito (f), o número de Reynolds (Rey) e o coeficiente de rugosidade (C) foram estimados a partir das Equações 18, 19, e 28, respectivamente, sendo que, para o cálculo do número de Reynolds, utilizou-se a viscosidade da ARA.

Quadro 7 – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a $1,6315 \text{ dag L}^{-1}$ na tubulação de ferro galvanizado com diâmetro de 105,90 mm e temperatura entre 26,0 e 26,5 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$	J m/1000m	V m s^{-1}	C	f	Rey 10^5
1	3308	1564	1940	1554	1170	802	77,591	63,222	2,447	126	0,02194	3,63619
2	3320	1666	1890	1510	1140	784	75,562	61,444	2,383	125	0,02248	3,54112
3	3336	1774	1804	1448	1100	762	73,431	57,889	2,316	125	0,02243	3,44123
4	3346	1864	1742	1402	1066	742	71,526	55,556	2,256	124	0,02269	3,35195
5	3366	1986	1654	1334	1022	716	69,020	52,111	2,177	124	0,02285	3,23454
6	3388	2110	1556	1260	972	696	66,421	47,778	2,095	125	0,02262	3,11271
7	3404	2236	1476	1200	932	668	63,498	44,889	2,003	124	0,02326	2,97574
8	3420	2324	1414	1150	896	650	61,510	42,444	1,940	124	0,02344	2,88256
9	3440	2430	1318	1086	850	624	59,047	38,556	1,862	125	0,02310	2,76716
10	3458	2580	1220	1000	800	596	55,054	34,667	1,736	124	0,02389	2,58000
11	3480	2726	1100	920	734	562	51,018	29,889	1,609	124	0,02399	2,39088
12	3510	2892	990	834	680	530	46,188	25,556	1,457	122	0,02503	2,16455
13	3530	3034	866	738	614	500	41,379	20,333	1,305	124	0,02481	1,93916
14	3556	3170	758	664	566	468	36,503	16,111	1,151	124	0,02526	1,71067
15	3594	3370	618	556	492	436	27,807	10,111	0,877	121	0,02732	1,30316
16	3606	3444	562	520	466	422	23,648	7,778	0,746	119	0,02906	1,10823

É possível verificar nos Quadros 6, 7 e demais quadros do Apêndice A a tendência do fator f em diminuir com o aumento da vazão em todos os ensaios. Esta observação é válida para todos os tubos, para todos os materiais e diâmetros de tubulações, e todas as concentrações de sólidos totais avaliadas. Observou-se também que para um mesmo tubo, fixando as vazões, o valor do fator f, em geral, diminuiu da água limpa para a concentração de sólidos totais de $0,2587 \text{ dag L}^{-1}$, assim como da concentração de $0,2587 \text{ dag L}^{-1}$ para a de $0,4600$

dag L⁻¹. Comportamento inverso ocorreu de 0,4600 dag L⁻¹ para 0,7269 dag L⁻¹, de 0,7269 dag L⁻¹ para 0,9431 dag L⁻¹, de 0,9431 dag L⁻¹ para 1,6315 dag L⁻¹, e de 1,6315 dag L⁻¹ para 2,8941 dag L⁻¹.

Em certa concentração de sólidos totais não estudada, entre 0,4600 dag L⁻¹ e 0,7269 dag L⁻¹, ocorreu uma inversão do comportamento do fluido quanto à perda de carga, para as condições em que o experimento foi conduzido. Possivelmente, para concentrações maiores que 2,8941 dag L⁻¹, a perda de carga atinja valores maiores que para a água limpa. Não foi possível fazer esta confirmação devido aos problemas operacionais já relatados anteriormente.

Na Figura 10 estão apresentadas as curvas ajustadas relacionando perda de carga unitária e vazão para a água limpa e para as seis concentrações de ARA estudadas, para a tubulação de ferro galvanizado de 130,30 mm de diâmetro interno. Os outros gráficos estão apresentados no Apêndice C e as equações ajustadas estão no Apêndice D. Pode-se verificar nestes gráficos que a maior perda de carga sempre foi para a água limpa e a menor perda de carga foi obtida sempre na concentração de 0,4600 dag L⁻¹, seguida da concentração de 0,7269 dag L⁻¹. As concentrações de 0,2587 dag L⁻¹, 0,9431 dag L⁻¹ e 1,6415 dag L⁻¹ se alternaram nas posições intermediárias, sem apresentar uma sequência fixa. O fluido com a maior concentração de sólidos totais estudada, 2,8941 dag L⁻¹, apresentou a maior perda de carga.

Associando-se os resultados da perda de carga com a viscosidade para as várias concentrações da ARA, que foi classificada como plástico de Bingham, verifica-se que há uma tendência de que a perda de carga seja menor para fluidos de viscosidade menor que a da água limpa. Com menor viscosidade, menos energia será dissipada por atrito, implicando em menor perda de carga.

Segundo Azevedo Netto et al. (1998), no escoamento em tubos, mesmo em regime turbulento liso, sempre existe uma camada laminar junto às paredes. Esta camada, em algumas situações de escoamento, cobre boa parte da rugosidade das tubulações ensaiadas, diminuindo o atrito com o fluido, contribuindo para a redução da perda de carga em relação à água limpa.

Tagliaferre (2003) encontrou perda de carga em tubos de polietileno conduzindo água residuária de suinocultura menor que as encontradas para a água limpa em concentrações de sólidos totais que variaram de 1,15 a 1,75 g L⁻¹.

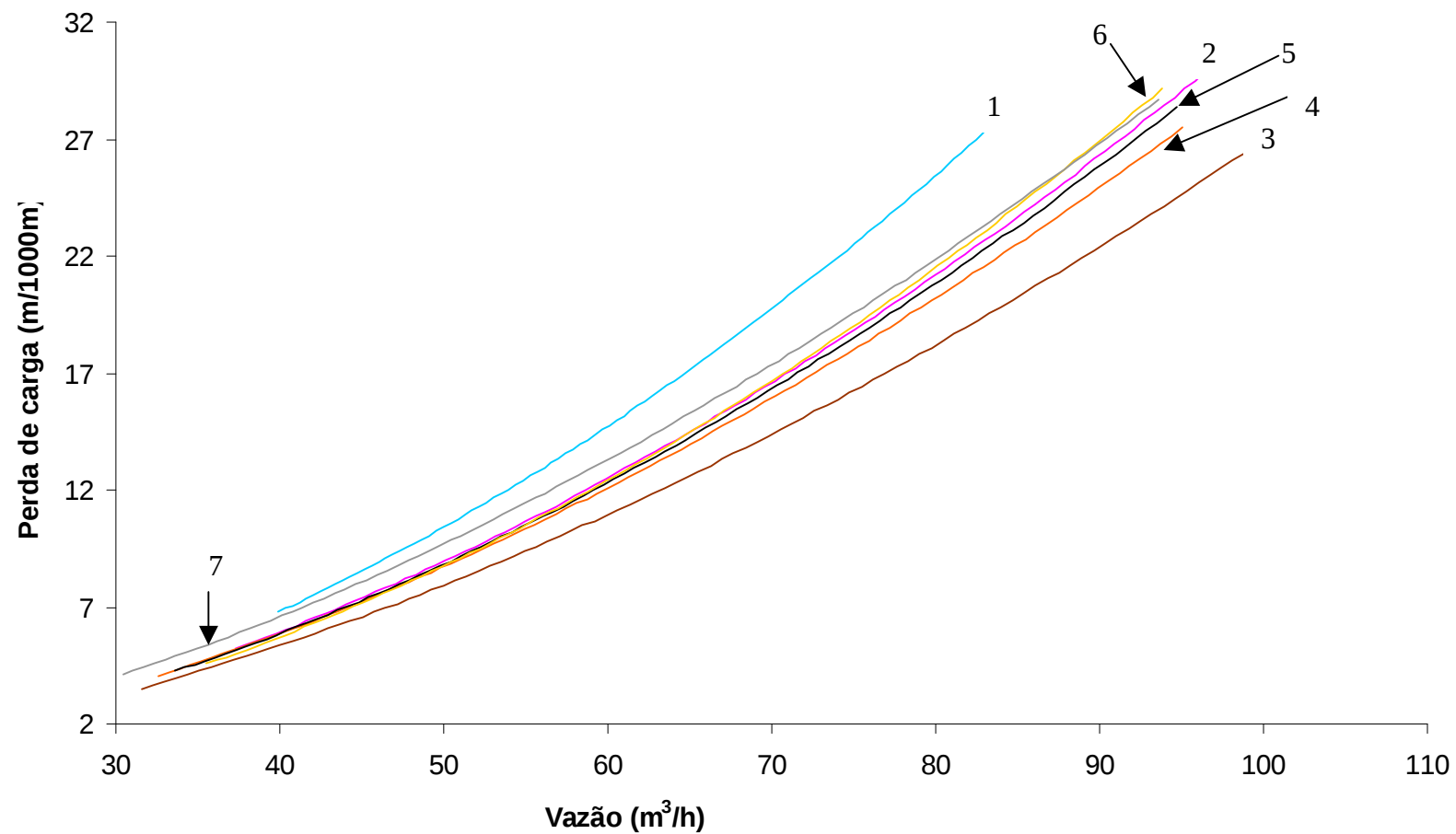
Os valores do coeficiente de rugosidade (C) de Hazen-Williams para a água foram diferentes daqueles encontrados na literatura, conforme se pode verificar na análise dos valores apresentados no Quadro 6. Os valores usuais recomendados são 125 para ferro galvanizado, 120 para aço zincado e 145 a 150 para PVC. Os tipos de conexões utilizadas, os erros experimentais e o material em suspensão podem justificar esta diferença.

4.4. Modelos avaliados

4.4.1. Modelo de Sampaio (1999) modificado

As equações ajustadas para este modelo estão apresentadas no Quadro 8. Para ajustar as Equações 34 e 35, para ferro galvanizado e aço zincado, foram utilizadas 474 e 380 observações, respectivamente, obtendo-se coeficientes de determinação bastante satisfatórios. Já para as tubulações de PVC (Equação 36), com 476 observações, o coeficiente de determinação foi bem menor.

Todas as observações se processaram no regime turbulento, com número de Reynolds mínimo em torno de 100.000. Usualmente, este modelo é utilizado para situações em que não se conhecem as propriedades reológicas do fluido, tratando-se o fluido não-newtoniano como newtoniano e usando-se a água como fluido de referência. Como a viscosidade do fluido era conhecida, ela foi utilizada para determinar o número de Reynolds. A recomendação da utilização destas equações para as condições em que foram realizados os ensaios de campo representa uma restrição para o seu uso, já que sua precisão possivelmente cairá para faixas de concentrações diferentes das obtidas nos ensaios.



1_Água 2_0,2587 dag L⁻¹ 3_0,4600 dag L⁻¹ 4_0,7269 dag L⁻¹ 5_0,9431 dag L⁻¹ 6_1,6430 dag L⁻¹ 7_2,8941 dag L⁻¹

Figura 10 – Curvas ajustadas relacionando perda de carga unitária em função da vazão para a tubulação de ferro galvanizado de 130,30 mm

Quadro 8 – Equações ajustadas do fator f de atrito em função do número de Reynolds (Rey) e concentrações da ARA e os respectivos coeficientes de determinação, seguindo-se o modelo de Sampaio (1999) modificado

Material	Equação ajustada	R ²	Equação
Ferro galvanizado	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2,86727ST^{-0.02406}(\ln Re y)\sqrt{f} + 12,16133$	0,9040	34
Aço zincado	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -3,28145ST^{-0.02779}(\ln Re y)\sqrt{f} + 13,04627$	0,9067	35
PVC	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -3,86599ST^{-0.02422}(\ln Re y)\sqrt{f} + 14,12966$	0,6255	36

4.4.2. Modelo de Duffy e Titchener (1974)

Pode-se observar, no Quadro 9, as equações encontradas para o modelo matemático de Duffy e Titchener (1974). Os expoentes da velocidade para todos os materiais e do diâmetro, exceto para os tubos de aço zincado, estão dentro da faixa apresentada por Duffy (1976) para diferentes fluidos escoantes não-newtonianos e aproximam-se daqueles apresentados por Hazen e Williams (1963), que são 1,85 e 1,17, respectivamente.

Quadro 9 – Equações ajustadas para a perda de carga (J), em m/m, em função da velocidade do escoamento (V), em m s⁻¹, da concentração de sólidos totais da ARA (ST), em dag L⁻¹, e do diâmetro (D), em m, para todos os materiais avaliados, segundo o modelo proposto por Duffy e Titchener (1974) e seus respectivos coeficientes de determinação

Material	Equação ajustada	R ²	Equação
Ferro galvanizado	$J = 0,000495393V^{1,89486}ST^{0,0529026}D^{-1,41418}$	0,9521	37
Aço zincado	$J = 0,00371445V^{1,70385}ST^{0,0181976}D^{-0,553738}$	0,9547	38
PVC	$J = 0,000694626V^{1,71286}ST^{0,0309767}D^{-1,14455}$	0,9940	39

O baixo valor dos expoentes da concentração de sólidos totais é um indicativo de que o efeito desta variável na perda de carga é pequeno para as concentrações do estudo.

4.4.3. Modelo de Hazen e Williams modificado

A Equação 40 foi ajustada com base no modelo de Hazen e Williams modificado (Equação 30), estimando a perda de carga (J) em m/m em função da vazão (Q) em $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$, da concentração de sólidos totais da ARA (ST) em dag L^{-1} , do coeficiente C e do diâmetro (D) em m, para todos os materiais avaliados. O referido ajuste obteve R^2 igual a 0,9990.

$$J = \frac{10,649ST^{-0,0000166814}Q^{1,85177}}{C^{1,85234}D^{4,87115}} \quad (40)$$

Nota-se que os expoentes da vazão (Q), coeficiente de rugosidade (C) e diâmetro (D), e o coeficiente numérico da equação estão bastante próximos dos apresentados por Hazen e Williams (1963).

Para a faixa de concentração de sólidos totais da ARA estudada o valor do expoente próximo de zero é um indicativo de que o efeito desta variável na perda de carga é desprezível. Isto pode ser comprovado comparando-se os valores da perda de carga estimada pelo modelo com a variável ST com o expoente da Equação 40 com o valor da mesma expressão utilizando o expoente igual a zero. Em termos percentuais, a diferença nos cálculos pelas duas formas não ultrapassa a casa dos milésimos. Considerando-se desprezível o seu efeito no cálculo da perda de carga, a variável ST pode ser suprimida da equação para efeito prático, podendo ser reescrita como indicado na Equação 41.

$$J = \frac{10,649Q^{1,85177}}{C^{1,85234}D^{4,87115}} \quad (41)$$

De uma forma geral, comparando-se os ajustes dos modelos apresentados neste trabalho, os resultados reafirmam a citação de Duffy (1976) de que os modelos empíricos, em geral, apresentam melhores resultados do que os modelos que estimam o fator de atrito f da fórmula universal.

A fim de comprovar a precisão das metodologias que apresentaram equações de melhores ajustes, estão apresentados nos Quadros 10, 11 e 12 os resultados estimados e observados, referentes a alguns testes. O efeito da concentração da ARA nas perdas de carga nas tubulações também foi avaliado, tendo como padrão os dados observados com a água em escoamento.

As estimativas de perda de carga que mais se aproximaram dos dados observados em campo foram correspondentes às equações de melhor ajuste, destacando-se os modelos de Duffy e Titchener (1974) e Hazen e Williams modificado, sendo que este último estimou a perda de carga mais próxima dos valores encontrados nos ensaios, subestimando, em média, a perda de carga para quaisquer vazões, concentrações de sólidos totais, diâmetros ou materiais das tubulações, apresentando, em geral, os menores erros médios e desvios padrão, justificando, portanto, seu melhor ajuste se comparados aos demais.

O modelo de Sampaio (1999) modificado depende do número de Reynolds, que varia com a viscosidade. Como as viscosidades da ARA nas concentrações de 0,9431 e 2,8941 dag L⁻¹ foram muito menores que para as demais concentrações, os números de Reynolds resultantes oscilaram numa grande amplitude, explicando ajuste não satisfatório da metodologia.

A diferença entre a perda de carga da água e da ARA, comparando-se os valores medidos nos ensaios e os estimados pelo modelo de Hazen-Williams modificado, variou de - 20,8 % a - 9,7 % para a tubulação de ferro galvanizado de 130,30 mm, de - 32,0 % a - 9,7 % para a tubulação de aço zincado de 99,83 mm e de - 26,3 % a - 11,0 % para a tubulação de PVC de 79,90 mm, para os dados analisados. Os valores positivos nas comparações entre perda de carga medida e estimada significam superestimação pelo modelo, enquanto que os valores negativos indicam que os modelos subestimaram a perda de carga para as vazões dadas.

Quadro 10 – Comparação entre os resultados estimados a partir das equações obtidas, utilizando-se diferentes metodologias e os dados observados para ARA para tubulação de ferro galvanizado de 130,30 mm, com C médio de 124 para a água

Água			ARA					J água medida - J ARA estimada pelos diferentes métodos				J ARA medida - J ARA estimada pelos diferentes métodos			
			ST	C médio	Perda de carga estimada (m/1000m)										
Q (m³ h⁻¹)	V (m s⁻¹)	J (m/1000m)			J medida	Sampaio (1999) modificada	Duffy e Titchener (1974)	Hazen – Williams modificada	Sampaio (1999) modificada	Duffy e Titchener (1974)	Hazen – Williams modificada	Sampaio (1999) modificada	Duffy e Titchener (1974)	Hazen – Williams modificada	
82,922	1,727	27,778	0,2587	136	22,801	31,494	23,135	22,594	13,4%	-16,7%	-18,7%	38,1%	1,5%	-0,9%	
			0,4600	146	19,478	27,008	23,850	19,811	-2,8%	-14,1%	-28,7%	38,7%	22,4%	1,7%	
			0,7269	138	21,622	23,619	24,435	21,991	-15,0%	-12,0%	-20,8%	9,2%	13,0%	1,7%	
			0,9431	137	22,328	29,870	24,774	22,289	7,5%	-10,8%	-19,8%	33,8%	11,0%	-0,2%	
			1,6315	136	22,486	22,977	25,502	22,593	-17,3%	-8,2%	-18,7%	2,2%	13,4%	0,5%	
68,246	1,422	18,444	2,8941	132	23,310	30,590	26,288	23,878	10,1%	-5,4%	-14,0%	31,2%	12,8%	2,4%	
			0,2587	136	16,326	17,146	16,009	15,753	-7,0%	-13,2%	-14,6%	5,0%	-1,9%	-3,5%	
			0,4600	146	14,069	16,233	16,504	13,812	-12,0%	-10,5%	-25,1%	154%	17,3%	-1,8%	
			0,7269	138	14,899	14,889	16,908	15,332	-19,3%	-8,3%	-16,9%	-0,1%	13,5%	2,9%	
			0,9431	137	15,692	20,545	17,143	15,540	11,4%	-7,1%	-15,7%	30,9%	9,2%	-1,0%	
39,870	0,831	7,111	1,6315	136	16,120	14,592	17,647	15,752	-20,9%	-4,3%	-14,6%	-9,5%	9,5%	-2,3%	
			2,8941	132	16,728	21,039	18,190	16,647	14,1%	-1,4%	-9,7%	25,8%	8,7%	-0,5%	
			0,2587	136	6,179	4,765	5,785	5,822	-33,0%	-18,6%	-18,1%	-22,9%	-6,4%	-5,8%	
			0,4600	146	5,224	4,680	5,964	5,105	-34,2%	-16,1%	-28,2%	-10,4%	14,2%	-2,3%	
			0,7269	138	5,908	4,422	6,110	5,667	-37,8%	-14,1%	-20,3%	-25,2%	3,4%	-4,1%	
			0,9431	137	5,687	6,995	6,195	5,744	-1,6%	-12,9%	-19,2%	23,0%	8,9%	1,0%	
			1,6315	136	6,024	4,373	6,377	5,822	-38,5%	-10,3%	-18,1%	-27,4%	5,9%	-3,4%	
			2,8941	132	6,764	5,483	6,573	6,153	-22,9%	-7,6%	-13,5%	-18,9%	-2,8%	-9,0%	
Erro médio												0,20	0,10	0,02	
Desvio												0,12	0,06	0,02	

Quadro 11 – Comparação entre os resultados estimados a partir das equações obtidas, utilizando-se diferentes metodologias e os dados observados para ARA para tubulação de aço zincado de 99,83 mm, com C médio de 133 para a água

Água			ARA						J água medida - J ARA estimada pelos diferentes métodos				J ARA medida - J ARA estimada pelos diferentes métodos				
			ST	C médio	Perda de carga estimada (m/1000m)						Sampaio (1999) modificada	Duffy e Titchener (1974)	Hazen – Williams modificada	Sampaio (1999) modificada	Duffy e Titchener (1974)	Hazen – Williams modificada	
Q (m³ h⁻¹)	V (m s⁻¹)	J (m/1000m)	(dag L⁻¹)		J medida	Sampaio (1999) modificada	Duffy e Titchener (1974)	Hazen – Williams modificada									
69,792	2,477	65,444	0,2587	146	52,767	72,966	60,890	52,698	11,5%	-7,0%	-19,5%	38,3%	15,4%	-0,1%			
			0,4600	160	43,803	67,823	61,531	44,477	3,6%	-6,0%	-32,0%	54,8%	40,5%	1,5%			
			0,7269	151	49,011	56,096	62,046	49,511	-14,3%	-5,2%	-24,3%	14,5%	26,6%	1,0%			
			0,9431	148	51,391	69,582	62,340	51,386	6,3%	-4,7%	-21,5%	35,4%	21,3%	0,0%			
			1,6315	148	50,594	53,617	62,965	51,385	-18,1%	-3,8%	-21,5%	6,0%	24,5%	1,6%			
			2,8941	141	56,224	71,559	63,625	56,210	9,3%	-2,8%	-14,1%	27,3%	13,2%	0,0%			
59,602	2,115	46,667	0,2587	146	39,312	47,670	46,520	39,343	2,1%	-0,3%	-15,7%	21,3%	18,3%	0,1%			
			0,4600	160	32,607	42,851	47,009	33,205	-8,2%	0,7%	-28,8%	31,4%	44,2%	1,8%			
			0,7269	151	36,842	38,352	47,402	36,963	-17,8%	1,6%	-20,8%	4,1%	28,7%	0,3%			
			0,9431	148	38,496	51,323	47,628	38,363	10,0%	2,1%	-17,8%	33,3%	23,7%	-0,3%			
			1,6315	148	37,678	37,039	48,105	38,363	-20,6%	3,1%	-17,8%	-1,7%	27,7%	1,8%			
			2,8941	141	41,597	52,778	48,609	41,965	13,1%	4,2%	-10,1%	26,9%	16,9%	0,9%			
32,868	1,166	15,444	0,2587	146	13,108	10,840	16,866	13,068	-29,8%	9,2%	-15,4%	-17,3%	28,7%	-0,3%			
			0,4600	160	11,614	10,486	17,043	11,029	-32,1%	10,4%	-28,6%	-9,7%	46,7%	-5,0%			
			0,7269	151	12,135	9,917	17,186	12,278	-35,8%	11,3%	-20,5%	-18,3%	41,6%	1,2%			
			0,9431	148	14,109	15,844	17,267	12,743	2,6%	11,8%	-17,5%	12,3%	22,4%	-9,7%			
			1,6315	148	12,860	9,732	17,440	12,742	-37,0%	12,9%	-17,5%	-24,3%	35,6%	-0,9%			
			2,8941	141	14,690	1,993	17,623	13,939	-22,3%	14,1%	-9,7%	-18,4%	20,0%	-5,1%			
Erro médio													0,22	0,28	0,02		
Desvio													0,14	0,10	0,02		

Quadro 12 – Comparação entre os resultados estimados a partir das equações obtidas, utilizando-se diferentes metodologias e os dados observados para ARA para tubulação de PVC de 79,90 mm, com C médio de 144 para a água

Água			ARA						J água medida - J ARA estimada pelos diferentes métodos				J ARA medida - J ARA estimada pelos diferentes métodos					
Q (m³ h⁻¹)	V (m s⁻¹)	J (m/1000m)	ST (dag L⁻¹)	C médio	Perda de carga estimada (m/1000m)			Sampaio (1999) modificada	Duffy e Titchener (1974)	Hazen – Williams modificada	Sampaio (1999) modificada	Duffy e Titchener (1974)	Hazen – Williams modificada	Sampaio (1999) modificada	Duffy e Titchener (1974)	Hazen – Williams modificada		
					J medida	Sampaio (1999) modificada	Sampaio (1999) modificada											
39,464	2,186	55,222	0,2587	157	50,310	82,407	45,859	47,420	49,2%	-17,0%	-14,1%	63,8%	-8,8%	-5,7%				
			0,4600	167	41,820	87,820	46,684	42,295	59,0%	-15,5%	-23,4%	110,0%	11,6%	1,1%				
			0,7269	159	45,935	98,475	47,350	46,321	78,3%	-14,3%	-16,1%	114,4%	3,1%	0,8%				
			0,9431	159	46,598	58,983	47,734	46,320	6,8%	-13,6%	-16,1%	26,6%	2,4%	-0,6%				
			1,6315	157	47,921	40,770	48,551	47,419	-26,2%	-12,1%	-14,1%	-14,9%	1,3%	-1,0%				
			2,8941	154	47,708	60,411	49,421	49,144	9,4%	-10,5%	-11,0%	26,6%	3,6%	3,0%				
35,234	1,952	45,000	0,2587	157	39,134	70,446	37,775	38,440	56,5%	-16,1%	-14,6%	80,0%	-3,5%	-1,8%				
			0,4600	167	33,451	74,424	38,454	34,285	65,4%	-14,5%	-23,8%	122,5%	15,0%	2,5%				
			0,7269	159	37,269	82,614	39,003	37,549	83,6%	-13,3%	-16,6%	121,7%	4,7%	0,8%				
			0,9431	159	37,854	47,433	39,319	37,549	5,4%	-12,6%	-16,6%	25,3%	3,9%	-0,8%				
			1,6315	157	39,104	31,544	39,992	38,439	-29,9%	-11,1%	-14,6%	-19,3%	2,3%	-1,7%				
			2,8941	154	40,201	48,580	40,709	39,837	8,0%	-9,5%	-11,5%	20,8%	1,3%	-0,9%				
23,635	1,309	22,222	0,2587	157	19,457	38,495	19,053	18,352	73,2%	-14,3%	-17,4%	97,8%	-2,1%	-5,7%				
			0,4600	167	20,975	40,086	19,395	16,368	80,4%	-12,7%	-26,3%	91,1%	-7,5%	-22,0%				
			0,7269	159	20,209	43,669	19,672	17,926	96,5%	-11,5%	-19,3%	116,1%	-2,7%	-11,3%				
			0,9431	159	19,214	25,094	19,831	17,926	12,9%	-10,8%	-19,3%	30,6%	3,2%	-6,7%				
			1,6315	157	19,038	12,978	20,171	18,351	-41,6%	-9,2%	-17,4%	-31,8%	6,0%	-3,6%				
			2,8941	154	19,038	16,092	20,532	19,019	-27,6%	-7,6%	-14,4%	-15,5%	7,8%	-0,1%				
Erro médio																0,63	0,05	0,04
Desvio																0,43	0,04	0,05

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Com o desenvolvimento da agroindústria avícola, um grande volume de dejetos é produzido, resultando num crescente uso de águas residuárias na agricultura, mais especificamente na fertirrigação com água residuária de avicultura (ARA). Entretanto, o dimensionamento adequado de sistemas para transporte e distribuição através de tubulações requer o conhecimento das características físicas dessa água residuária, bem como o seu comportamento hidráulico dentro das tubulações forçadas.

Neste contexto, desenvolveu-se o presente trabalho na Área Experimental de Irrigação e Drenagem do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG, que teve os objetivos de avaliar e encontrar modelos matemáticos que estimem a perda de carga contínua em tubulações de ferro galvanizado, aço zincado e PVC, nos diâmetros comerciais de 50 a 150 mm, utilizando-se como fluido escoante água residuária de avicultura, nas concentrações de 0,2587; 0,4600; 0,7269; 0,9431; 1,6315 e 2,8941 dag L⁻¹, além de água limpa, bem como levantar as características reológicas da ARA.

A perda de carga foi quantificada em um comprimento útil de 18 m, por meio de 4 piezômetros espaçados de 6 m, resultando em três trechos de 6 m, o que permitiu a obtenção de um valor médio a partir de três observações. A vazão foi estimada usando-se um diafragma previamente calibrado.

De acordo com os resultados encontrados e as condições específicas do experimento, concluiu-se que:

- A ARA deste estudo é classificada reologicamente como plástico de Bingham;
- As viscosidades de todas as concentrações analisadas neste trabalho apresentaram-se menores que a da água;
- A massa específica das partículas em suspensão na ARA foi de $1,84 \text{ g cm}^{-3}$ e o diâmetro foi menor que 1 mm;
- A perda de carga da ARA para as concentrações de sólidos totais estudadas é menor do que para a água limpa, diminuindo até a concentração de $0,4600 \text{ dag L}^{-1}$ e voltando a crescer daí até a concentração de $2,8941 \text{ dag L}^{-1}$;
- Os modelos empíricos apresentaram melhores resultados do que o modelo que estima o fator de atrito f ; o modelo que melhor estimou a perda de carga foi o de Hazen-Williams modificado, para quaisquer vazões, concentrações de sólidos totais, tipos de materiais e diâmetros de tubos, recomendando-se seu uso em detrimento dos outros modelos, subestimando, em média, a perda de carga, e apresentando, em geral, os menores erros médios e desvios padrão, justificando seu melhor ajuste se comparados aos demais;
- A variável ST (concentração de sólidos totais) pode ser suprimida da equação para efeito prático para a faixa de ST estudada, considerando-se desprezível o seu efeito no cálculo da perda de carga pelo modelo de Hazen-Williams modificado;
- Para os sistemas de condução e distribuição de água que esporadicamente transportem água residuária de avicultura com as características apresentadas neste trabalho, recomenda-se a utilização de equações que determinem a perda de carga para a água limpa, uma vez que a perda de carga medida da água foi maior de 9,7 % a 20,8 % para a tubulação de ferro galvanizado de 130,30 mm, de 9,7 % a 32,0 % para a tubulação de aço zincado de 99,83 mm, e de 11,0 % a 26,3 % para a tubulação de PVC

de 79,90 mm, comparadas às estimadas pelo modelo de Hazen-Williams modificado para água residuária de avicultura.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANUÁRIO DA PECUÁRIA BRASILEIRA - **ANUALPEC 2003** – 10ª edição: FNP Consultoria & Agroinformativos. São Paulo, p.257-286, 2003.

ARNEY, M. S., BAI, R., GUEVARA, E., JOSEPH, D. D., LIU, K. Friction factor and holdup studies for lubricated pipeline. **Journal Multiphase Flow**. Great Britain, v.19, n.6, p.1061-1076, 1993.

AZEVEDO NETTO, J. M., FERNADEZ, M. F., ARAÚJO, R., ITO, A. E. **Manual de hidráulica** – 8ª ed. São Paulo: Edgard Blucher, 670p, 1998.

BASHFORD, L. L., GILBERTSON, C. B., NIENABER, J. A., TIETZ, D. Effects of rations roughage content on viscosity and theoretical head losses in pipe flow for beef cattle slurry. **Transaction of ASAE**, St. Joseph, v. 20, n. 6, p. 1106-1109, 1977.

BOADFOOT, R., VIANA, M. J., DANIEL, J. E., MORRIS, J. T., EGAN, B. T. Pressure losses in pipe fittings at low Reynolds number. In: Conference of the Australian society of sugar cane technologists held at Townsville, Queensland, 1994. **Anais...** Queensland: Sugar Research Institute, 1994. p. 330-339.

BOURNE, M. C. **Food texture and viscosity (Concept and management)**. New York: Academic Press, 1982. 325 p.

CHEN, Y. R., HASHIMOTO, A . G., Rheological properties of aerated poultry waste slurries. **Transaction of ASAE**, St. Joseph, v. 19, n. 5, p. 128-133, 1976a.

CHEN, Y. R., HASHIMOTO, A . G., Pipeline transport of livestock waste slurries. **Transaction of ASAE**, St. Joseph, v. 19, n. 5, p. 898-906, 1976b.

DENÍCULI, W. **Medidores de vazão tipo orifício**. Viçosa: Imprensa Universitária, 1993. 43p.

DIAS, M. C. O., PEREIRA, M. C. B., DIAS, P. L. F., VIRGÍLIO, J. F. **Manual de impactos ambientais: orientações básicas sobre aspectos ambientais de atividades produtivas**. Fortaleza: Banco do Nordeste, 1999. 297p.

DUFFY, G. G. A review and evolution of design methods for calculating friction loss in stock piping systems. **Tappi**, Atlanta, v. 59, n. 8, p. 124-127, aug, 1976.

DUFFY, G. G., TITCHENER, A . L. Design procedures for obtaining pipe friction los for chemical pulps. **Tappi**, Atlanta, v. 57, n. 5, p. 162-166, may, 1974.

FOX, R. W., McDONALD, A. C. **Introdução à mecânica dos fluidos**. 4ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara-Koogan, 1995.

HASHIMOTO, A . G., CHEN, Y. R. Rheology of livestock waste slurries. **Transaction of ASAE**, St. Joseph, v. 19, n. 5, p. 930-934, 1976.

HAZEN, A., WILLIAMS, G. S. **Hydraulic tables**. New York: John Willey & Sons, 1963. 120p.

HERUM, F. L., ISAACS, G. W., PEART, R. M. Flow properties of highly viscous organic pastes and slurries. **Transaction of ASAE**, St. Joseph, v. 30, n. 2, p. 45-51, 1966.

HUANG, A., CHRISTODOULOU, C., JOSEPH, D. D. Friction factor and holdup studies for lubricated pipeling-laminar and models of eccentric core flow. **Journal Multiphase Flow**. Great Britain, v.19, n.6, p.481-497, 1993.

HUGHES, W. F., BRIGHTON, J. A. **Dinâmica dos fluidos**. São Paulo: Mc Graw Hill, 1974. 358 p.

JOSEPH, D. D., BAI, R., CHEN, K. P., RENARDY, Y. Y. Core-annular flows. **Annual Review of Fluid Mechanics**, New York, n.29, p.401-408, Jan, 1997.

KUMAR, M., BARTELETT, H. D., MOSENIN, N. N. Flow properties of animal waste slurries. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.30, n.2, p.718-722, 1972.

LEE, P. F. W., DUFFY, G. G. An analysis of the drag reducing regime of pulp suspension flow. **Tappi**, Atlanta, v. 59, n. 8, p. 19-123, may, 1976.

MOLLER, K. General correlations pipe friction data for pulp suspensions. **Tappi**, Atlanta, v. 59, n. 8, p. 111-114, august, 1976.

MOLLER, K., DUFFY, G. G. An equations for predicting transition-regime pipe friction loss. **Tappi**, Atlanta, v. 61, n. 1, p. 63-66, jan, 1978.

OLIVEIRA, R. A. **Desempenho de bomba centrífuga operando com esterco bovino líquido**. Viçosa, MG: UFV, 1996. 73p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1996.

ROUSE, H. Modern conceptions of the mechanics of fluid turbulence. **In: Classic paper in hydraulics**, ASAE, New York, p. 52-94, 1982.

SAMPAIO, S. C., DENICULI, W., OLIVEIRA, R. A., SILVA, D. D., CECON, P. R., PINTO, F. A. Equações de perda de carga distribuída para tubulações comerciais conduzindo água residuária de bovinocultura. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.20, n. 2, p.108-118, mai. 2000.

SAMPAIO, S. C., DENICULI, W., OLIVEIRA, R. A., SILVA, D. D., MATOS, A. T., MARTINEZ, M. A. Perda de carga contínua em tubulações conduzindo água residuária da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 3, p.391-396. 2001.

SAMPAIO, S. C. **Perda de carga em tubulações comerciais conduzindo águas residuárias de bovinocultura e suinocultura**. 1999. 158 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1999.

SCHRAMM, G. **A practical approach to rheology and rheometry** – 2^a ed. Karlsruhe: Gebrueder HAAKE CmbH, 2000, 291 p.

SEIFFERT, N. F., Planejamento da atividade agrícola visando qualidade ambiental, In: Simpósio Sobre Resíduos da Produção Avícola, 1., 2000, p. 1-20, Concórdia. **Anais eletrônicos...** Disponível em:
<http://www.cnpsa.embrapa.br/publicacoes/anais/anais65_lucas.pdf>. Acesso em: 01 maio de 2002.

SELECTING the appropriate land application, Lesson 36, Module D, Land application and nutrient management, **Land Application Equipment**, p. 5-17. Disponível em:
<http://www.lpes.org/Lessons/Lesson36/36_1_Selecting_Application.pdf>. Acesso em 01 maio de 2002.

SOCCOL, J. O.; DENÍCULI, W.; RAMOS, M. M.; MANTOVANI, E. C.; OLIVEIRA, R. A. Desempenho de bomba centrífuga operando com esterco suíno líquido, em diferentes concentrações de sólidos totais. **Engenharia na Agricultura**, v. 7, n. 4, p.245-254, 1999.

STEFFE, J. F., MORGAN, R. G. Pipeline design and pump selection for non-Newtonian fluid foods. **Food Technology**, Chicago, v.40 n. 12, p.78-85, 1986.

TAGLIAFERRE, C. **Perda de carga em tubos de polietileno e entupimento de microaspersor operando com água residuária de suinocultura**. Viçosa, MG: UFV, 2003. 75p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2003.

VIEIRA, R. C. C. **Atlas da mecânica dos fluidos** – Fluidodinâmica. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 1971, 281p.

WASTE utilization, Part 651, Chapter 11, **Agricultural waste mangement, Field handbook**, p. 11.1-11.10, jul. 1996. Disponível em:
<http://www.ae.iastate.edu/Ae573_ast475/AWMF/Ch11.pdf>. Acesso em 01
maio de 2002.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Quadro 1 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para água limpa na tubulação de ferro galvanizado com diâmetro de 155,48 mm e temperatura de 22,5 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3150	950	1752	1682	1620	1558	84,277	10,778	1,233	130	0,02163	1,89622
2	3164	1002	1792	1720	1660	1600	83,544	10,667	1,222	129	0,02178	1,87974
3	3160	1060	1820	1750	1694	1638	82,335	10,111	1,205	131	0,02126	1,85253
4	3188	1152	1892	1822	1772	1708	81,068	10,222	1,186	128	0,02217	1,82402
5	3200	1258	1960	1898	1842	1790	79,170	9,444	1,158	131	0,02147	1,78133
6	3220	1352	2046	1980	1930	1880	77,644	9,222	1,136	130	0,02180	1,74698
7	3240	1454	2106	2046	2008	1960	75,917	8,111	1,111	136	0,02006	1,70813
8	3260	1608	2220	2164	2114	2080	73,007	7,778	1,068	134	0,02080	1,64266
9	3290	1784	2346	2300	2256	2220	69,699	7,000	1,020	135	0,02054	1,56823
10	3324	1976	2474	2424	2394	2364	65,934	6,111	0,965	138	0,02003	1,48351
11	3350	2124	2594	2554	2524	2494	62,873	5,556	0,920	138	0,02003	1,41464
12	3360	2194	2640	2598	2568	2534	61,312	5,889	0,897	131	0,02233	1,37951
13	3390	2340	2742	2704	2676	2648	58,175	5,222	0,851	132	0,02199	1,30894
14	3394	2386	2780	2740	2720	2690	56,997	5,000	0,834	133	0,02193	1,28244
15	3414	2496	2854	2826	2800	2770	54,388	4,667	0,796	131	0,02248	1,22372
16	3444	2704	3004	2978	2962	2942	48,820	3,444	0,714	139	0,02060	1,09844

Quadro 2 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para água limpa na tubulação de ferro galvanizado com diâmetro de 130,30 mm e temperatura entre 23,0 e 24,0°C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3160	1030	1814	1638	1484	1314	82,922	27,778	1,727	122	0,02380	2,22630
2	3172	1086	1756	1584	1436	1274	82,059	26,778	1,709	123	0,02343	2,20313
3	3188	1172	1700	1550	1400	1240	80,668	25,556	1,680	124	0,02314	2,16577
4	3208	1290	1642	1488	1350	1206	78,678	24,222	1,639	124	0,02305	2,11236
5	3220	1386	1598	1450	1320	1150	76,932	24,889	1,603	120	0,02477	2,06548
6	3250	1530	1520	1388	1260	1122	74,498	22,111	1,552	124	0,02347	2,00012
7	3276	1692	1440	1316	1200	1078	71,485	20,111	1,489	125	0,02318	1,91924
8	3300	1856	1360	1248	1144	1028	68,246	18,444	1,422	125	0,02333	1,83228
9	3324	2010	1290	1180	1076	978	65,095	17,333	1,356	123	0,02410	1,74768
10	3350	2134	1230	1124	1038	944	62,615	15,889	1,304	124	0,02387	1,68110
11	3320	2340	1120	1034	960	874	56,198	13,667	1,171	121	0,02549	1,50882
12	3420	2560	1006	940	876	810	52,638	10,889	1,097	128	0,02315	1,41322
13	3468	2790	884	830	778	726	46,725	8,778	0,973	128	0,02369	1,25448
14	3500	3006	786	734	696	658	39,870	7,111	0,831	122	0,02635	1,07044

Quadro 3 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para água limpa na tubulação de ferro galvanizado com diâmetro de 105,90 mm e temperatura entre 25,0 e 25,5°C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3284	1740	2100	1694	1314	940	70,575	64,444	2,226	113	0,02703	2,33137
2	3292	1794	2046	1666	1286	924	69,514	62,333	2,192	114	0,02695	2,29631
3	3300	1836	2012	1628	1264	908	68,718	61,333	2,167	113	0,02713	2,27004
4	3310	1878	1980	1606	1250	900	67,962	60,000	2,143	113	0,02714	2,24504
5	3316	1922	1936	1572	1230	884	67,052	58,444	2,115	114	0,02716	2,21499
6	3324	1974	1896	1550	1212	878	65,983	56,556	2,081	114	0,02714	2,17967
7	3336	2034	1840	1500	1180	860	64,797	54,444	2,043	114	0,02709	2,14049
8	3350	2126	1754	1438	1130	834	62,821	51,111	1,981	114	0,02706	2,07524
9	3368	2226	1660	1370	1080	810	60,676	47,222	1,914	115	0,02680	2,00437
10	3374	2282	1600	1314	1044	784	59,330	45,333	1,871	115	0,02690	1,95990
11	3390	2346	1560	1286	1026	770	58,009	43,889	1,829	115	0,02725	1,91625
12	3400	2410	1486	1230	988	748	56,485	41,000	1,781	116	0,02685	1,86593
13	3416	2516	1402	1166	942	720	53,851	37,889	1,698	115	0,02730	1,77891
14	3430	2600	1320	1108	896	694	51,710	34,778	1,631	116	0,02717	1,70817
15	3470	2826	1130	950	796	634	45,536	27,556	1,436	116	0,02776	1,50423
16	3504	3000	970	834	704	582	40,273	21,556	1,270	117	0,02777	1,33037
17	3542	3210	782	700	604	530	32,671	14,000	1,030	120	0,02740	1,07926

Quadro 4 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para água limpa na tubulação de ferro galvanizado com diâmetro de 84,01 mm e temperatura entre 24,0 e 26,0°C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3536	3192	3282	2816	2236	1606	33,258	93,111	1,667	81	0,05525	1,38490
2	3542	3210	2996	2580	2056	1510	32,671	82,556	1,637	84	0,05076	1,36048
3	3536	3224	3200	2750	2180	1574	31,670	90,333	1,587	78	0,05912	1,31877
4	3542	3232	3000	2580	2050	1492	31,568	83,778	1,582	81	0,05518	1,31453
5	3546	3242	2770	2400	1916	1416	31,260	75,222	1,567	85	0,05052	1,30172
6	3544	3254	2830	2440	1950	1420	30,530	78,333	1,530	81	0,05516	1,27132
7	3552	3260	2644	2278	1830	1356	30,636	71,556	1,535	86	0,05004	1,27571
8	3556	3280	2662	2300	1836	1344	29,783	73,222	1,492	82	0,05418	1,24019
9	3552	3308	2488	2150	1720	1268	27,999	67,778	1,403	80	0,05675	1,16592
10	3562	3320	2270	1966	1586	1186	27,884	60,222	1,397	85	0,05084	1,16113
11	3560	3330	2200	1970	1600	1180	27,182	56,667	1,362	86	0,05034	1,13191
12	3568	3358	2052	1780	1450	1008	25,971	58,000	1,301	81	0,05644	1,08147

Quadro 5 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para água limpa na tubulação de ferro galvanizado com diâmetro de 53,75 mm e temperatura entre 22,0 e 23,0°C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3594	3492	3406	2424	1600	816	18,086	143,889	2,214	112	0,03096	1,17710
2	3594	3498	3386	2424	1610	830	17,545	142,000	2,148	109	0,03246	1,14188
3	3596	3504	3238	2314	1538	806	17,174	135,111	2,102	110	0,03223	1,11778
4	3598	3510	3172	2270	1514	796	16,796	132,000	2,056	109	0,03293	1,09316
5	3598	3518	2930	2116	1414	750	16,013	121,111	1,960	109	0,03324	1,04218
6	3600	3522	2770	1994	1340	724	15,811	113,667	1,936	111	0,03200	1,02904
7	3602	3528	2696	1938	1300	700	15,399	110,889	1,885	110	0,03291	1,00225

Quadro 6 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para água limpa na tubulação de aço zincado com diâmetro de 150,43 mm e temperatura entre 24,5 e 25,5 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3120	790	1700	1560	1440	1340	86,736	20,000	1,356	104	0,03212	2,01708
2	3120	830	1678	1550	1434	1326	85,987	19,556	1,344	104	0,03196	1,99966
3	3140	890	1660	1524	1410	1306	85,231	19,667	1,332	103	0,03271	1,98208
4	3148	948	1624	1508	1380	1292	84,277	18,444	1,317	106	0,03138	1,95988
5	3158	1002	1592	1468	1356	1254	83,428	18,778	1,304	104	0,03260	1,94014
6	3174	1082	1544	1434	1320	1228	82,178	17,556	1,284	106	0,03141	1,91106
7	3120	1184	1508	1390	1284	1194	79,048	17,444	1,235	102	0,03373	1,83827
8	3212	1286	1462	1346	1248	1162	78,843	16,667	1,232	104	0,03240	1,83351
9	3228	1410	1410	1300	1210	1112	76,595	16,556	1,197	102	0,03410	1,78125
10	3250	1560	1340	1240	1144	1074	73,844	14,778	1,154	104	0,03274	1,71726
11	3276	1700	1274	1184	1104	1034	71,304	13,333	1,114	107	0,03169	1,65820
12	3314	1898	1190	1110	1030	970	67,580	12,222	1,056	106	0,03233	1,57159
13	3360	2220	1042	978	914	854	60,623	10,444	0,947	103	0,03434	1,40980
14	3400	2430	946	892	840	790	55,910	8,667	0,874	105	0,03350	1,30021
15	3444	2700	830	780	740	710	48,952	6,667	0,765	106	0,03361	1,13838
16	3490	2900	742	704	672	642	43,581	5,556	0,681	104	0,03534	1,01349

Quadro 7 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2 e P3 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para água limpa na tubulação de aço zincado com diâmetro de 125,25 mm e temperatura entre 21,5 e 22,5 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3190	1180	1854	1504	1254	80,547	50,000	1,816	95	0,03726	2,24973
2	3202	1236	1828	1484	1254	79,659	47,833	1,796	97	0,03644	2,22492
3	3214	1300	1796	1454	1234	78,596	46,833	1,772	96	0,03665	2,19523
4	3220	1356	1762	1438	1218	77,560	45,333	1,749	97	0,03643	2,16630
5	3232	1420	1704	1404	1186	76,469	43,167	1,724	98	0,03569	2,13581
6	3250	1516	1650	1360	1160	74,801	40,833	1,686	99	0,03528	2,08923
7	3266	1630	1600	1314	1120	72,652	40,000	1,638	97	0,03664	2,02920
8	3290	1730	1540	1270	1084	70,941	38,000	1,599	97	0,03651	1,98141
9	3306	1878	1464	1212	1036	67,866	35,667	1,530	97	0,03744	1,89554
10	3338	2030	1360	1138	986	64,946	31,167	1,464	99	0,03572	1,81398
11	3366	2190	1288	1078	938	61,575	29,167	1,388	98	0,03719	1,71981
12	3400	2430	1150	980	850	55,910	25,000	1,261	96	0,03867	1,56161
13	3460	2720	980	850	750	48,820	19,167	1,101	97	0,03888	1,36355
14	3496	2940	840	730	666	42,304	14,500	0,954	98	0,03917	1,18157

Quadro 8 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para água limpa na tubulação de aço zincado com diâmetro de 99,83 mm e temperatura entre 24,5 e 26,5 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3290	1780	2182	1702	1398	1004	69,792	65,444	2,477	130	0,02090	2,44569
2	3300	1820	2120	1668	1366	990	69,094	62,778	2,452	131	0,02045	2,42122
3	3306	1876	2078	1636	1332	974	67,914	61,333	2,410	131	0,02068	2,37988
4	3316	1928	2008	1580	1298	950	66,907	58,778	2,374	132	0,02042	2,34459
5	3328	1996	1946	1530	1256	920	65,541	57,000	2,326	131	0,02064	2,29670
6	3344	2076	1860	1470	1200	880	63,943	54,444	2,269	131	0,02071	2,24073
7	3356	2160	1770	1400	1154	850	62,097	51,111	2,204	132	0,02061	2,17604
8	3376	2274	1650	1318	1078	810	59,602	46,667	2,115	133	0,02043	2,08859
9	3396	2404	1516	1210	1000	748	56,542	42,667	2,007	133	0,02076	1,98138
10	3416	2534	1390	1114	930	700	53,308	38,333	1,892	132	0,02098	1,86806
11	3442	2660	1258	1014	854	652	50,189	33,667	1,781	134	0,02079	1,75875
12	3466	2780	1122	920	770	662	47,001	25,556	1,668	145	0,01799	1,64702
13	3506	3010	900	754	648	522	39,951	21,000	1,418	137	0,02046	1,39999
14	3540	3204	722	606	530	444	32,868	15,444	1,166	133	0,02223	1,15177

Quadro 9 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para água limpa na tubulação de aço zincado com diâmetro de 73,54 mm e temperatura entre 24,5 e 25,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3516	3106	2990	2412	1860	1320	36,315	92,778	2,375	125	0,02373	1,72751
2	3520	3110	2990	2414	1858	1320	36,315	92,778	2,375	125	0,02373	1,72751
3	3536	3122	2920	2356	1820	1294	36,492	90,333	2,387	127	0,02288	1,73594
4	3528	3130	2834	2292	1770	1262	35,779	87,333	2,340	127	0,02302	1,70199
5	3534	3150	2744	2224	1720	1224	35,142	84,444	2,298	127	0,02307	1,67172
6	3534	3182	2578	2090	1622	1166	33,643	78,444	2,200	127	0,02338	1,60040
7	3542	3206	2452	1998	1552	1120	32,868	74,000	2,149	128	0,02311	1,56352
8	3542	3232	2350	1910	1490	1080	31,568	70,556	2,064	126	0,02389	1,50168
9	3546	3254	2214	1812	1424	1030	30,636	65,778	2,003	127	0,02364	1,45734
10	3554	3288	2020	1660	1300	958	29,237	59,000	1,912	129	0,02329	1,39080
11	3552	3294	2008	1650	1300	956	28,793	58,444	1,883	127	0,02378	1,36968
12	3556	3324	1856	1530	1206	894	27,300	53,444	1,785	127	0,02419	1,29868
13	3564	3360	1674	1384	1106	830	25,596	46,889	1,674	127	0,02414	1,21762
14	3568	3394	1508	1250	1004	764	23,635	41,333	1,546	126	0,02496	1,12434
16	3576	3410	1444	1198	968	742	23,085	39,000	1,510	127	0,02469	1,09813
17	3516	3106	2990	2412	1860	1320	36,315	92,778	2,375	125	0,02373	1,72751

Quadro 10 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para água limpa na tubulação de PVC com diâmetro de 153,43 mm e temperatura entre 22,5 e 23,5 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3090	670	1618	1566	1484	1422	88,399	10,889	1,328	140	0,01858	2,01556
2	3100	720	1592	1544	1470	1408	87,664	10,222	1,317	144	0,01774	1,99880
3	3122	784	1570	1522	1440	1380	86,886	10,556	1,305	140	0,01865	1,98104
4	3128	856	1546	1500	1420	1356	85,648	10,556	1,287	138	0,01919	1,95282
5	3146	956	1506	1460	1384	1330	84,085	9,778	1,263	141	0,01844	1,91718
6	3166	1060	1458	1408	1342	1290	82,453	9,333	1,239	142	0,01831	1,87997
7	3182	1154	1420	1380	1312	1258	80,908	9,000	1,216	142	0,01834	1,84475
8	3206	1312	1362	1318	1254	1206	78,184	8,667	1,175	140	0,01891	1,78263
9	3222	1390	1328	1286	1222	1180	76,890	8,222	1,155	142	0,01855	1,75315
10	3236	1496	1291	1256	1200	1156	74,931	7,500	1,126	145	0,01781	1,70846
11	3266	1660	1234	1200	1144	1104	71,981	7,222	1,081	142	0,01859	1,64122
12	3286	1800	1170	1140	1086	1052	69,234	6,556	1,040	144	0,01824	1,57858
13	3336	2076	1070	1030	990	956	63,741	6,333	0,958	135	0,02079	1,45332
14	3374	2276	990	960	920	890	59,493	5,556	0,894	135	0,02093	1,35648
15	3412	2500	900	878	846	826	54,209	4,111	0,814	145	0,01866	1,23601
16	3460	2776	784	774	748	728	46,932	3,111	0,705	146	0,01884	1,07008

Quadro 11 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para água limpa na tubulação de PVC com diâmetro de 127,31 mm e temperatura de 22,5 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3150	950	1684	1516	1354	1198	84,277	27,000	1,839	133	0,01994	2,31580
2	3160	1100	1662	1498	1340	1180	81,545	26,778	1,779	130	0,02112	2,24075
3	3168	1058	1642	1476	1322	1180	82,531	25,667	1,801	134	0,01977	2,26784
4	3184	1054	1590	1434	1286	1138	82,922	25,111	1,809	137	0,01916	2,27858
5	3200	1260	1550	1400	1250	1104	79,129	24,778	1,727	131	0,02076	2,17436
6	3220	1356	1498	1356	1226	1078	77,560	23,333	1,692	133	0,02035	2,13125
7	3234	1456	1450	1316	1180	1050	75,746	22,222	1,653	133	0,02032	2,08140
8	3260	1614	1380	1254	1128	1006	72,874	20,778	1,590	133	0,02052	2,00248
9	3290	1782	1300	1180	1084	956	69,746	19,111	1,522	133	0,02061	1,91651
10	3324	1964	1210	1106	1006	900	66,227	17,222	1,445	134	0,02060	1,81983
11	3348	2136	1134	1034	938	844	62,512	16,111	1,364	131	0,02163	1,71774
12	3362	2190	1108	1010	920	830	61,470	15,444	1,341	132	0,02144	1,68910
13	3384	2340	1034	950	862	782	58,009	14,000	1,266	131	0,02182	1,59399
14	3398	2396	1000	926	846	772	56,827	12,667	1,240	135	0,02058	1,56153
15	3410	2500	958	882	806	734	54,150	12,444	1,182	130	0,02226	1,48796
16	3444	2704	858	796	732	674	48,820	10,222	1,065	131	0,02250	1,34149
17	3500	2950	744	696	642	600	42,074	8,000	0,918	128	0,02371	1,15614

Quadro 12 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para água limpa na tubulação de PVC com diâmetro de 103,22 mm e temperatura entre 24,5 e 25,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3266	1600	2056	1636	1290	1190	73,316	48,111	2,434	148	0,01645	2,48482
2	3270	1668	2000	1600	1250	1160	71,891	46,667	2,386	147	0,01659	2,43652
3	3276	1730	1938	1546	1218	1136	70,621	44,556	2,344	148	0,01642	2,39346
4	3290	1798	1888	1500	1180	1112	69,374	43,111	2,303	148	0,01646	2,35120
5	3306	1866	1826	1450	1150	1082	68,152	41,333	2,262	149	0,01636	2,30977
6	3322	1954	1740	1390	1100	1036	66,422	39,111	2,205	149	0,01629	2,25116
7	3330	2008	1700	1360	1070	1010	65,293	38,333	2,167	149	0,01652	2,21290
8	3340	2096	1620	1300	1040	970	63,334	36,111	2,102	149	0,01655	2,14649
9	3364	2210	1520	1222	980	922	60,995	33,222	2,025	150	0,01641	2,06721
10	3390	2360	1406	1136	908	858	57,617	30,444	1,913	148	0,01685	1,95275
11	3420	2498	1280	1040	836	800	54,506	26,667	1,809	151	0,01650	1,84731
12	3450	2674	1142	930	760	730	49,996	22,889	1,660	150	0,01683	1,69443
13	3476	2828	1004	836	650	628	45,677	20,889	1,516	144	0,01840	1,54809
14	3500	3026	830	700	590	570	39,053	14,444	1,296	150	0,01741	1,32357
15	3540	3224	670	550	500	478	31,873	10,667	1,058	145	0,01930	1,08021

Quadro 13 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para água limpa na tubulação de PVC com diâmetro de 79,90 mm e temperatura entre 24,5 e 25,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3500	3016	2920	2626	2220	1926	39,464	55,222	2,186	145	0,01811	1,72786
2	3506	3020	2916	2630	2226	1926	39,545	55,000	2,191	145	0,01796	1,73143
3	3506	3030	2876	2590	2196	1900	39,136	54,222	2,168	145	0,01808	1,71349
4	3506	3042	2804	2530	2150	1850	38,638	53,000	2,141	145	0,01813	1,69170
5	3508	3052	2760	2488	2114	1820	38,303	52,222	2,122	145	0,01818	1,67703
6	3510	3076	2654	2398	2030	1760	37,365	49,667	2,070	145	0,01817	1,63598
7	3514	3100	2580	2318	1970	1710	36,492	48,333	2,022	144	0,01854	1,59776
8	3516	3120	2474	2234	1892	1642	35,688	46,222	1,977	144	0,01854	1,56256
9	3520	3134	2430	2190	1860	1620	35,234	45,000	1,952	144	0,01851	1,54266
10	3524	3152	2342	2120	1800	1562	34,588	43,333	1,916	144	0,01850	1,51437
11	3530	3174	2222	2006	1708	1482	33,834	41,111	1,874	145	0,01834	1,48137
12	3530	3200	2120	1910	1630	1420	32,572	38,889	1,805	144	0,01872	1,42613
13	3534	3220	2030	1836	1570	1360	31,771	37,222	1,760	144	0,01883	1,39106
14	3540	3246	1930	1738	1488	1294	30,741	35,333	1,703	143	0,01910	1,34593
15	3550	3280	1766	1606	1370	1194	29,456	31,778	1,632	145	0,01871	1,28970
16	3560	3338	1538	1388	1194	1044	26,704	27,444	1,479	143	0,01966	1,16921
17	3568	3394	1284	1160	1010	884	23,635	22,222	1,309	142	0,02032	1,03484

Quadro 14 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para água limpa na tubulação de PVC com diâmetro de 52,61 mm e temperatura entre 22,0 e 22,5 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3578	3444	3274	2512	1590	850	20,736	134,667	2,650	141	0,01980	1,37881
2	3586	3454	3126	2404	1526	826	20,580	127,778	2,630	144	0,01907	1,36846
3	3586	3458	3060	2360	1500	808	20,265	125,111	2,590	143	0,01926	1,34752
4	3586	3460	3022	2360	1480	798	20,106	123,556	2,569	143	0,01932	1,33693
5	3590	3468	2858	2254	1400	760	19,783	116,556	2,528	145	0,01883	1,31549
6	3592	3474	2880	2176	1416	768	19,456	117,333	2,486	142	0,01960	1,29370
7	3596	3480	2728	2160	1340	736	19,290	110,667	2,465	146	0,01880	1,28266
8	3596	3486	2562	2038	1268	700	18,783	103,444	2,400	147	0,01854	1,24898
9	3596	3496	2400	1920	1196	664	17,907	96,444	2,288	146	0,01901	1,19073
10	3600	3510	2222	1800	1120	630	16,986	88,444	2,171	145	0,01938	1,12950
11	3602	3520	2076	1684	1050	596	16,212	82,222	2,072	144	0,01978	1,07802
12	3604	3528	1910	1564	980	556	15,606	75,222	1,994	145	0,01952	1,03774

Quadro 15 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,2587 dag L⁻¹ na tubulação de ferro galvanizado com diâmetro de 155,48 mm e temperatura de 24,5 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3072	526	1436	1356	1280	1210	99,605	12,556	1,457	141	0,01804	2,71840
2	3086	624	1514	1440	1364	1294	97,941	12,222	1,433	141	0,01816	2,67299
3	3106	730	1594	1520	1452	1376	96,208	12,111	1,408	139	0,01865	2,62569
4	3128	884	1692	1626	1560	1486	93,486	11,444	1,368	139	0,01866	2,55140
5	3156	996	1778	1708	1650	1584	91,712	10,778	1,342	141	0,01826	2,50299
6	3176	1130	1872	1800	1744	1692	89,249	10,000	1,306	143	0,01789	2,43576
7	3208	1298	2004	1950	1894	1840	86,219	9,111	1,261	145	0,01747	2,35307
8	3224	1434	2106	2042	1990	1936	83,455	9,444	1,221	138	0,01933	2,27764
9	3266	1644	2244	2194	2154	2108	79,426	7,556	1,162	148	0,01707	2,16767
10	3306	1864	2412	2364	2330	2290	74,870	6,778	1,095	148	0,01723	2,04335
11	3350	2130	2610	2564	2536	2508	68,842	5,667	1,007	150	0,01704	1,87882
12	3394	2382	2774	2742	2726	2694	62,675	4,444	0,917	155	0,01612	1,71050
13	3430	2594	2934	2908	2884	2858	56,941	4,222	0,833	145	0,01856	1,55403
14	3476	2866	3120	3102	3092	3080	48,607	2,222	0,711	175	0,01340	1,32657
15	3510	3036	3250	3226	3222	3208	42,824	2,333	0,627	150	0,01813	1,16875

Quadro 16 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,2587 dag L⁻¹ na tubulação de ferro galvanizado com diâmetro de 130,30 mm e temperatura de 26,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3110	694	1436	1248	1080	892	97,018	30,222	2,021	136	0,01892	3,15947
2	3120	778	1410	1216	1054	874	95,514	29,778	1,990	135	0,01923	3,11050
3	3120	814	1392	1214	1050	870	94,774	29,000	1,974	136	0,01902	3,08640
4	3144	940	1342	1170	1010	838	92,646	28,000	1,930	135	0,01922	3,01708
5	3166	1056	1294	1124	974	806	90,640	27,111	1,888	135	0,01944	2,95177
6	3194	1210	1230	1070	934	774	87,881	25,333	1,831	135	0,01932	2,86190
7	3226	1392	1168	1020	890	742	84,479	23,667	1,760	135	0,01954	2,75113
8	3256	1566	1106	964	848	714	81,081	21,778	1,689	136	0,01952	2,64046
9	3270	1694	1060	930	818	688	78,287	20,667	1,631	135	0,01987	2,54947
10	3314	1926	970	868	762	650	73,449	17,778	1,530	137	0,01941	2,39194
11	3356	2170	896	780	704	604	67,872	16,222	1,414	133	0,02075	2,21030
12	3394	2324	824	744	664	586	64,453	13,222	1,343	141	0,01875	2,09897
13	3432	2574	750	688	620	556	57,689	10,778	1,202	141	0,01908	1,87869
14	3460	2784	696	640	584	528	51,180	9,333	1,066	135	0,02099	1,66673
15	3490	2954	636	588	542	500	45,551	7,556	0,949	135	0,02145	1,48340
16	3530	3170	562	526	494	462	37,299	5,556	0,777	130	0,02353	1,21468

Quadro 17 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,2587 dag L⁻¹ na tubulação de ferro galvanizado com diâmetro de 105,90 mm e temperatura entre 25,5 e 26,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3280	1636	1968	1536	1124	718	79,965	69,444	2,522	123	0,02269	3,20413
2	3280	1686	1934	1512	1108	716	78,734	67,667	2,483	123	0,02280	3,15482
3	3286	1732	1896	1486	1090	710	77,736	65,889	2,452	123	0,02278	3,11482
4	3300	1794	1846	1444	1064	696	76,521	63,889	2,413	124	0,02279	3,06613
5	3314	1856	1804	1416	1050	686	75,286	62,111	2,374	123	0,02289	3,01667
6	3324	1914	1760	1380	1032	676	74,031	60,222	2,335	123	0,02296	2,96638
7	3334	1986	1710	1340	1004	666	72,379	58,000	2,283	123	0,02313	2,90015
8	3344	2092	1610	1276	960	642	69,743	53,778	2,199	124	0,02310	2,79454
9	3370	2206	1546	1220	920	624	67,237	51,222	2,120	122	0,02367	2,69412
10	3394	2320	1430	1142	870	606	64,574	45,778	2,036	125	0,02294	2,58743
11	3410	2444	1340	1078	832	586	61,228	41,889	1,931	124	0,02334	2,45334
12	3444	2652	1178	960	750	550	55,416	34,889	1,748	124	0,02373	2,22049
13	3476	2844	1032	854	680	516	49,480	28,667	1,560	123	0,02446	1,98260
14	3506	3012	890	746	614	484	43,722	22,556	1,379	124	0,02465	1,75192
15	3552	3230	722	620	530	450	35,267	15,111	1,112	124	0,02538	1,41313
16	3572	3336	632	562	500	430	30,173	11,222	0,952	125	0,02575	1,20900

Quadro 18 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,2587 dag.L⁻¹ na tubulação de ferro galvanizado com diâmetro de 84,01 mm e temperatura de 26,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3500	2992	2936	2286	1486	640	44,340	127,556	2,222	91	0,04258	2,23961
2	3502	3016	2876	2250	1460	634	43,365	124,556	2,173	90	0,04347	2,19037
3	3508	3036	2746	2140	1400	618	42,734	118,222	2,141	91	0,04249	2,15846
4	3514	3064	2606	2052	1344	600	41,721	111,444	2,091	92	0,04202	2,10734
5	3524	3114	2392	1880	1240	572	39,816	101,111	1,995	92	0,04186	2,01111
6	3530	3158	2230	1752	1166	558	37,918	92,889	1,900	92	0,04240	1,91525
7	3536	3194	2070	1636	1094	538	36,351	85,111	1,822	92	0,04228	1,83607
8	3546	3240	1880	1498	1022	518	34,376	75,667	1,723	93	0,04203	1,73634
9	3550	3266	1776	1420	970	506	33,112	70,556	1,659	93	0,04224	1,67249
10	3562	3310	1640	1312	900	488	31,183	64,000	1,563	92	0,04320	1,57505
11	3566	3352	1470	1190	836	460	28,726	56,111	1,440	91	0,04463	1,45094
12	3576	3404	1240	1000	726	434	25,741	44,778	1,290	93	0,04435	1,30019
13	3584	3440	1068	914	670	424	23,544	35,778	1,180	96	0,04236	1,18921
14	3590	3456	1010	832	628	410	22,708	33,333	1,138	96	0,04243	1,14700
15	3600	3510	804	664	542	380	18,595	23,556	0,932	95	0,04471	0,93922

Quadro 19 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,2587 dag L⁻¹ na tubulação de ferro galvanizado com diâmetro de 53,75 mm e temperatura entre 24,0 e 24,5 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3602	3494	3340	2390	1586	814	20,377	140,333	2,496	128	0,02374	1,60931
2	3664	3500	3230	2324	1558	834	19,995	133,111	3,079	163	0,01480	1,98488
3	3604	3504	3128	2276	1540	840	19,605	127,111	2,402	130	0,02323	1,54830
4	3602	3506	3112	2240	1520	828	19,207	126,889	2,353	127	0,02416	1,51689
5	3606	3512	2990	2158	1460	796	19,005	121,889	2,328	129	0,02370	1,50094
6	3606	3518	2834	2054	1400	772	18,386	114,556	2,252	129	0,02380	1,45204
7	3604	3520	2824	2060	1380	756	17,962	114,889	2,200	126	0,02501	1,41852
8	3608	3524	2758	2024	1380	774	17,962	110,222	2,200	129	0,02400	1,41852
9	3608	3530	2428	1844	1250	692	17,305	96,444	2,120	133	0,02262	1,36670
10	3610	3536	2442	1780	1278	680	16,854	97,889	2,065	129	0,02420	1,33105
11	3612	3540	2386	1750	1188	666	16,624	95,556	2,037	129	0,02429	1,31286
12	3612	3544	2348	1706	1180	676	16,153	92,889	1,979	127	0,02500	1,27572
13	3614	3550	2116	1570	1080	626	15,669	82,778	1,920	131	0,02368	1,23747
14	3614	3554	2102	1536	1068	626	15,169	82,000	1,858	127	0,02503	1,19801
15	3616	3562	1870	1376	964	562	14,388	72,667	1,763	129	0,02466	1,13628

Quadro 20 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,2587 dag L⁻¹ na tubulação de aço zincado com diâmetro de 150,43 mm e temperatura de 24,5 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3072	526	1414	1262	1126	1004	99,605	22,778	1,557	111	0,02774	2,80966
2	3086	624	1378	1234	1100	980	97,941	22,111	1,531	111	0,02785	2,76272
3	3106	730	1344	1210	1076	962	96,208	21,222	1,504	112	0,02770	2,71384
4	3128	884	1302	1166	1042	934	93,486	20,444	1,461	111	0,02826	2,63706
5	3156	996	1262	1134	1016	910	91,712	19,556	1,433	111	0,02809	2,58702
6	3176	1130	1220	1102	984	888	89,249	18,444	1,395	112	0,02798	2,51753
7	3208	1298	1162	1046	942	846	86,219	17,556	1,348	111	0,02853	2,43207
8	3224	1434	1124	1014	914	824	83,455	16,667	1,304	111	0,02891	2,35410
9	3266	1644	1050	956	864	786	79,426	14,667	1,241	113	0,02809	2,24044
10	3306	1864	982	890	814	746	74,870	13,111	1,170	113	0,02826	2,11194
11	3350	2130	890	814	744	686	68,842	11,333	1,076	112	0,02889	1,94189
12	3394	2382	816	752	694	644	62,675	9,556	0,980	112	0,02939	1,76792
13	3430	2594	750	698	646	602	56,941	8,222	0,890	110	0,03064	1,60620
14	3476	2866	658	626	592	556	48,607	5,667	0,760	115	0,02898	1,37111
15	3510	3036	616	584	554	528	42,824	4,889	0,669	110	0,03221	1,20799

Quadro 21 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2 e P3 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,2587 dag L⁻¹ na tubulação de aço zincado com diâmetro de 125,25 mm e temperatura entre 26,0 e 26,5 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3152	980	1616	1214	950	91,968	55,500	2,073	103	0,03172	3,11576
2	3160	1020	1600	1210	942	91,285	54,833	2,058	103	0,03181	3,09263
3	3172	1088	1570	1186	930	90,077	53,333	2,031	103	0,03178	3,05172
4	3186	1162	1532	1166	916	88,766	51,333	2,001	104	0,03150	3,00728
5	3206	1266	1484	1130	890	86,896	49,500	1,959	104	0,03169	2,94395
6	3220	1364	1444	1106	874	84,986	47,500	1,916	104	0,03180	2,87924
7	3230	1414	1420	1088	862	84,062	46,500	1,895	104	0,03181	2,84792
8	3242	1500	1388	1068	844	82,324	45,333	1,856	103	0,03234	2,78904
9	3260	1590	1344	1034	824	80,597	43,333	1,817	103	0,03225	2,73055
10	3270	1654	1316	1014	814	79,278	41,833	1,787	103	0,03218	2,68585
11	3300	1824	1240	960	772	75,752	39,000	1,708	103	0,03286	2,56638
12	3334	2014	1146	894	732	71,620	34,500	1,615	104	0,03252	2,42640
13	3376	2282	1032	820	682	65,175	29,167	1,469	103	0,03320	2,20806
14	3414	2494	944	766	646	59,746	24,833	1,347	103	0,03364	2,02412
15	3448	2694	864	720	616	54,065	20,667	1,219	103	0,03418	1,83166
16	3488	2910	772	662	582	47,309	15,833	1,067	104	0,03420	1,60279
17	3526	3110	678	606	542	40,108	11,333	0,904	106	0,03406	1,35880

Quadro 22 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,2587 dag L⁻¹ na tubulação de aço zincado com diâmetro de 99,83 mm e temperatura entre 25,5 e 26,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3250	1552	1888	1374	1040	628	81,273	70,000	2,884	146	0,01648	3,45456
2	3264	1614	1840	1344	1018	624	80,111	67,556	2,843	147	0,01637	3,40518
3	3276	1666	1810	1322	1008	616	79,130	66,333	2,808	146	0,01648	3,36347
4	3286	1736	1760	1294	990	608	77,635	64,000	2,755	146	0,01651	3,29994
5	3300	1794	1720	1266	968	596	76,521	62,444	2,716	146	0,01659	3,25256
6	3310	1864	1660	1224	948	592	74,975	59,333	2,661	147	0,01642	3,18684
7	3328	1976	1586	1180	912	578	72,486	56,000	2,572	147	0,01658	3,08107
8	3346	2092	1510	1126	874	560	69,799	52,778	2,477	146	0,01685	2,96683
9	3364	2218	1410	1062	834	546	66,713	48,000	2,368	147	0,01677	2,83566
10	3392	2376	1302	992	784	532	62,799	42,778	2,229	147	0,01687	2,66930
11	3424	2542	1192	914	736	506	58,494	38,111	2,076	146	0,01732	2,48630
12	3454	2724	1060	830	676	490	53,194	31,667	1,888	146	0,01740	2,26103
13	3484	2870	954	760	630	472	48,767	26,778	1,731	147	0,01751	2,07286
14	3506	3030	836	686	580	458	42,915	21,000	1,523	148	0,01773	1,82412
15	3544	3216	700	596	526	432	35,596	14,889	1,263	147	0,01827	1,51302
16	3570	3370	594	526	474	418	27,766	9,778	0,985	144	0,01972	1,18023

Quadro 23 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,2587 dag L⁻¹ na tubulação de aço zincado com diâmetro de 73,54 mm e temperatura entre 25,0 e 26,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3520	3070	2920	2302	1686	1098	41,721	101,222	2,728	137	0,01962	2,40737
2	3522	3096	2818	2220	1628	1070	40,589	97,111	2,654	136	0,01989	2,34202
3	3526	3120	2698	2130	1572	1038	39,621	92,222	2,591	137	0,01982	2,28615
4	3532	3136	2620	2080	1540	1022	39,128	88,778	2,559	138	0,01956	2,25770
5	3530	3144	2610	2052	1530	1012	38,628	88,778	2,526	136	0,02007	2,22889
6	3538	3176	2432	1920	1430	962	37,403	81,667	2,446	138	0,01969	2,15819
7	3542	3206	2286	1826	1370	914	36,029	76,222	2,356	138	0,01981	2,07891
8	3554	3246	2094	1672	1250	856	34,489	68,778	2,255	140	0,01951	1,99004
9	3556	3284	1942	1540	1136	800	32,402	63,444	2,119	137	0,02039	1,86963
10	3566	3322	1780	1432	1064	746	30,682	57,444	2,007	137	0,02059	1,77038
11	3576	3356	1622	1310	990	690	29,128	51,778	1,905	137	0,02059	1,68069
12	3580	3378	1510	1216	930	652	27,906	47,667	1,825	138	0,02065	1,61018
13	3584	3416	1310	1014	832	600	25,439	39,444	1,664	139	0,02056	1,46785
14	3592	3450	1134	950	746	540	23,379	33,000	1,529	141	0,02037	1,34901
15	3604	3502	912	740	614	450	19,801	25,667	1,295	136	0,02209	1,14253

Quadro 24 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,2587 dag L⁻¹ na tubulação de PVC com diâmetro de 153,43 mm e temperatura de 24,5 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3024	300	1252	1194	1124	1040	103,043	11,778	1,548	156	0,01479	2,84980
2	3044	412	1232	1176	1096	1028	101,280	11,333	1,522	157	0,01473	2,80106
3	3074	536	1200	1146	1070	996	99,448	11,333	1,494	154	0,01528	2,75037
4	3090	664	1182	1112	1044	976	97,219	11,444	1,461	150	0,01615	2,68874
5	3106	756	1144	1096	1014	960	95,678	10,222	1,437	157	0,01489	2,64611
6	3128	876	1106	1064	990	942	93,653	9,111	1,407	163	0,01385	2,59012
7	3152	994	1098	1056	980	920	91,670	9,889	1,377	153	0,01569	2,53525
8	3190	1216	1050	1010	944	866	87,658	10,222	1,317	144	0,01774	2,42430
9	3224	1376	1000	964	906	842	84,802	8,778	1,274	151	0,01628	2,34533
10	3262	1622	956	900	850	810	79,867	8,111	1,200	148	0,01696	2,20884
11	3304	1890	880	856	816	764	74,137	6,444	1,114	156	0,01564	2,05036
12	3342	2120	830	794	750	714	68,899	6,444	1,035	145	0,01811	1,90549
13	3400	2412	722	706	676	636	61,924	4,778	0,930	153	0,01662	1,71259
14	3452	2730	626	606	586	566	52,900	3,333	0,795	159	0,01589	1,46303
15	3504	3020	544	530	510	488	43,276	3,111	0,650	135	0,02215	1,19685

Quadro 25 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,2587 dag L⁻¹ na tubulação de PVC com diâmetro de 127,31 mm e temperatura de 26,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3102	690	1404	1220	1044	866	96,937	29,889	2,115	145	0,01668	3,23099
2	3114	794	1374	1194	1022	846	95,063	29,333	2,074	144	0,01703	3,16851
3	3136	932	1330	1160	996	826	92,646	28,000	2,022	144	0,01711	3,08794
4	3156	1016	1298	1134	974	814	91,285	26,889	1,992	145	0,01693	3,04259
5	3176	1126	1264	1104	950	796	89,337	26,000	1,949	144	0,01709	2,97765
6	3194	1254	1220	1066	924	772	86,896	24,889	1,896	144	0,01729	2,89632
7	3222	1414	1166	1022	882	746	83,876	23,333	1,830	144	0,01740	2,79563
8	3256	1612	1100	972	844	718	79,965	21,222	1,745	144	0,01741	2,66528
9	3286	1774	1042	920	804	688	76,674	19,667	1,673	144	0,01755	2,55559
10	3326	2016	962	854	756	656	71,347	17,000	1,557	145	0,01752	2,37804
11	3374	2268	870	784	690	600	65,533	15,000	1,430	143	0,01832	2,18426
12	3412	2508	780	712	636	564	59,222	12,000	1,292	145	0,01795	1,97390
13	3452	2734	712	652	588	532	52,753	10,000	1,151	143	0,01885	1,75829
14	3490	2994	630	588	540	500	43,811	7,222	0,956	141	0,01974	1,46025
15	3534	3176	564	534	500	470	37,195	5,222	0,812	143	0,01980	1,23973

Quadro 26 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,2587 dag L⁻¹ na tubulação de PVC com diâmetro de 103,22 mm e temperatura entre 25,5 e 26,5 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3200	1264	1650	1154	768	596	86,806	58,556	2,882	157	0,01428	3,56858
2	3216	1312	1620	1150	764	600	86,083	56,667	2,858	159	0,01405	3,53883
3	3220	1352	1606	1126	756	594	85,262	56,222	2,830	158	0,01421	3,50508
4	3236	1410	1576	1118	754	592	84,294	54,667	2,798	158	0,01414	3,46528
5	3246	1484	1538	1094	736	586	82,797	52,889	2,748	158	0,01418	3,40375
6	3260	1556	1510	1084	726	568	81,417	52,333	2,703	157	0,01451	3,34703
7	3266	1634	1470	1056	700	566	79,671	50,222	2,645	157	0,01454	3,27525
8	3284	1714	1430	1024	700	564	78,137	48,111	2,594	157	0,01448	3,21217
9	3300	1810	1378	990	686	556	76,112	45,667	2,527	158	0,01449	3,12892
10	3322	1924	1320	960	662	540	73,714	43,333	2,447	157	0,01466	3,03037
11	3350	2098	1230	912	640	528	69,743	39,000	2,315	157	0,01474	2,86710
12	3374	2244	1158	860	612	500	66,243	36,556	2,199	155	0,01531	2,72323
13	3414	2460	1044	792	580	486	60,844	31,000	2,020	155	0,01539	2,50129
14	3446	2674	920	712	540	460	54,709	25,556	1,816	155	0,01569	2,24907
15	3482	2874	810	644	500	440	48,527	20,556	1,611	155	0,01604	1,99492
16	3522	3076	690	574	462	410	41,535	15,556	1,379	154	0,01657	1,70748
17	3574	3364	528	460	412	380	28,455	8,222	0,945	149	0,01866	1,16978

Quadro 27 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,2587 dag L⁻¹ na tubulação de PVC com diâmetro de 79,90 mm e temperatura de 25,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3432	2582	2346	1870	1170	674	57,418	92,889	3,181	159	0,01439	3,04937
2	3434	2602	2300	1820	1150	660	56,804	91,111	3,147	159	0,01442	3,01677
3	3440	2622	2264	1800	1126	664	56,322	88,889	3,120	160	0,01431	2,99117
4	3450	2668	2178	1730	1100	638	55,064	85,556	3,051	159	0,01441	2,92433
5	3454	2698	2128	1684	1072	628	54,137	83,333	2,999	159	0,01452	2,87510
6	3462	2760	2024	1610	1030	614	52,159	78,333	2,890	158	0,01471	2,77008
7	3470	2790	1930	1538	980	580	51,332	75,000	2,844	159	0,01454	2,72614
8	3490	2892	1748	1394	906	550	48,125	66,556	2,666	159	0,01468	2,55580
9	3508	3014	1532	1240	820	512	43,722	56,667	2,422	158	0,01514	2,32200
10	3524	3096	1378	1124	712	414	40,685	53,556	2,254	152	0,01653	2,16067
11	3540	3216	1170	970	676	460	35,377	39,444	1,960	155	0,01610	1,87881
12	3564	3308	986	836	596	430	31,431	30,889	1,741	158	0,01597	1,66922
13	3580	3376	858	720	540	402	28,044	25,333	1,554	156	0,01645	1,48936
14	3592	3458	700	610	470	372	22,708	18,222	1,258	151	0,01805	1,20600
15	3598	3496	608	538	430	354	19,801	14,111	1,097	152	0,01838	1,05158

Quadro 28 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,2587 dag L⁻¹ na tubulação de PVC com diâmetro de 52,61 mm e temperatura entre 24,5 e 25,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3584	3452	3186	2474	1554	840	22,538	130,333	2,880	156	0,01622	1,81781
2	3588	3464	3046	2356	1486	816	21,841	123,889	2,791	155	0,01642	1,76163
3	3594	3466	3060	2364	1510	828	22,192	124,000	2,836	158	0,01592	1,78993
4	3594	3472	3032	2360	1502	846	21,664	121,444	2,768	156	0,01636	1,74730
5	3596	3476	2900	2250	1444	812	21,484	116,000	2,745	158	0,01589	1,73286
6	3596	3482	2830	2200	1422	800	20,938	112,778	2,676	157	0,01626	1,68880
7	3596	3488	2670	2080	1340	756	20,377	106,333	2,604	157	0,01619	1,64357
8	3598	3494	2616	2036	1300	748	19,995	103,778	2,555	156	0,01641	1,61271
9	3600	3500	2480	1936	1234	718	19,605	97,889	2,505	158	0,01610	1,58126
10	3604	3512	2362	1840	1190	678	18,801	93,556	2,402	156	0,01673	1,51643
11	3602	3506	2418	1880	1212	696	19,207	95,667	2,454	157	0,01639	1,54918
12	3604	3524	2122	1652	1076	622	17,527	83,333	2,240	154	0,01715	1,41366
13	3610	3534	1954	1520	1004	584	17,081	76,111	2,183	158	0,01649	1,37771
14	3608	3540	1850	1414	950	558	16,153	71,778	2,064	154	0,01739	1,30288
15	3610	3550	1650	1296	854	506	15,169	63,556	1,938	155	0,01746	1,22351
16	3614	3556	1584	1244	828	496	14,913	60,444	1,906	156	0,01718	1,20286

Quadro 29 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,4600 dag L⁻¹ na tubulação de ferro galvanizado com diâmetro de 155,48 mm e temperatura de 25,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3102	354	1294	1216	1150	1086	103,498	11,556	1,514	153	0,01537	3,02271
2	3132	466	1372	1296	1224	1170	101,935	11,222	1,491	153	0,01539	2,97708
3	3144	558	1436	1358	1292	1234	100,388	11,222	1,469	151	0,01587	2,93188
4	3160	658	1512	1438	1380	1324	98,737	10,444	1,445	154	0,01527	2,88367
5	3190	866	1648	1584	1524	1470	95,145	9,889	1,392	153	0,01557	2,77876
6	3220	1048	1794	1732	1674	1626	91,968	9,333	1,346	153	0,01573	2,68597
7	3246	1236	1934	1876	1836	1786	88,457	8,222	1,294	157	0,01498	2,58344
8	3280	1420	2068	2020	1980	1936	85,078	7,333	1,245	161	0,01444	2,48476
9	3300	1576	2170	2132	2092	2048	81,896	6,778	1,198	162	0,01440	2,39181
10	3336	1846	2378	2332	2290	2268	76,112	6,111	1,114	159	0,01503	2,22288
11	3386	2144	2590	2560	2534	2496	69,463	5,222	1,016	158	0,01542	2,02869
12	3432	2456	2846	2812	2786	2758	61,545	4,889	0,900	145	0,01839	1,79746
13	3476	2710	3006	2984	2964	2948	54,495	3,222	0,797	161	0,01546	1,59156
14	3516	3006	3226	3204	3184	3166	44,428	3,333	0,650	129	0,02407	1,29754
15	3530	3110	3308	3294	3284	3274	40,301	1,889	0,590	159	0,01657	1,17701

Quadro 30 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,4600 dag L⁻¹ na tubulação de ferro galvanizado com diâmetro de 130,30 mm e temperatura entre 26,0 e 26,5 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3136	520	1340	1170	1012	840	100,971	27,778	2,103	148	0,01605	3,51878
2	3158	634	1310	1140	994	824	99,172	27,000	2,066	148	0,01617	3,45609
3	3170	738	1274	1120	970	808	97,340	25,889	2,028	148	0,01610	3,39225
4	3186	826	1250	1096	954	796	95,882	25,222	1,997	148	0,01616	3,34144
5	3214	970	1206	1060	924	774	93,486	24,000	1,947	148	0,01618	3,25794
6	3244	1206	1136	1000	876	740	89,074	22,000	1,856	148	0,01634	3,10416
7	3284	1510	1050	930	820	698	83,080	19,556	1,731	147	0,01669	2,89529
8	3334	1800	960	860	756	660	77,232	16,667	1,609	149	0,01646	2,69149
9	3390	2156	870	760	690	610	69,238	14,444	1,442	145	0,01775	2,41289
10	3420	2386	794	714	646	574	63,355	12,222	1,320	145	0,01794	2,20789
11	3450	2590	724	670	610	540	57,756	10,222	1,203	145	0,01805	2,01278
12	3480	2780	660	610	564	520	52,085	7,778	1,085	152	0,01689	1,81512
13	3512	2966	616	570	536	494	45,976	6,778	0,958	144	0,01889	1,60223
14	3536	3134	566	534	510	474	39,424	5,111	0,821	144	0,01937	1,37391
15	3564	3306	514	490	470	446	31,554	3,778	0,657	136	0,02235	1,09963

Quadro 31 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,4600 dag L⁻¹ na tubulação de ferro galvanizado com diâmetro de 105,90 mm e temperatura entre 25,5 e 26,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3294	1562	1986	1608	1256	900	82,086	60,333	2,589	137	0,01871	3,51978
2	3300	1604	1964	1600	1250	898	81,225	59,222	2,562	137	0,01875	3,48285
3	3310	1660	1936	1576	1236	898	80,111	57,667	2,526	137	0,01877	3,43509
4	3330	1728	1890	1542	1216	888	78,933	55,667	2,489	137	0,01867	3,38455
5	3332	1814	1834	1498	1180	868	76,826	53,667	2,423	136	0,01900	3,29424
6	3340	1912	1756	1442	1142	844	74,505	50,667	2,350	136	0,01907	3,19468
7	3364	2066	1640	1350	1074	804	71,018	46,444	2,240	136	0,01924	3,04518
8	3398	2250	1490	1230	982	732	66,771	42,111	2,106	135	0,01973	2,86307
9	3426	2426	1330	1116	904	700	62,300	35,000	1,965	139	0,01884	2,67137
10	3452	2616	1190	1000	820	648	56,941	30,111	1,796	138	0,01940	2,44159
11	3478	2778	1060	900	750	606	52,085	25,222	1,643	139	0,01942	2,23334
12	3502	2920	950	812	680	564	47,474	21,444	1,497	138	0,01988	2,03562
13	3520	3040	854	740	630	530	43,096	18,000	1,359	138	0,02025	1,84790
14	3552	3234	696	620	550	478	35,047	12,111	1,105	139	0,02060	1,50277
15	3588	3446	526	490	454	420	23,379	5,889	0,737	137	0,02251	1,00249

Quadro 32 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,4600 dag L⁻¹ na tubulação de ferro galvanizado com diâmetro de 84,01 mm e temperatura entre 26,5 e 27,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3500	2890	2862	2240	1458	642	48,607	123,333	2,436	101	0,03426	2,62729
2	3502	2912	2804	2202	1436	638	47,800	120,333	2,395	101	0,03457	2,58368
3	3506	2930	2722	2126	1398	624	47,227	116,556	2,367	101	0,03430	2,55271
4	3510	2958	2620	2054	1352	616	46,229	111,333	2,317	102	0,03419	2,49874
5	3516	2992	2510	1956	1306	602	45,036	106,000	2,257	102	0,03430	2,43427
6	3518	3014	2404	1894	1266	586	44,164	101,000	2,213	102	0,03399	2,38717
7	3526	3056	2272	1804	1200	576	42,642	94,222	2,137	103	0,03401	2,30490
8	3532	3102	2100	1672	1126	552	40,780	86,000	2,044	103	0,03394	2,20422
9	3540	3152	1960	1554	1060	532	38,729	79,333	1,941	102	0,03472	2,09335
10	3550	3202	1776	1422	978	508	36,670	70,444	1,838	103	0,03439	1,98205
11	3564	3272	1544	1236	866	474	33,577	59,444	1,683	104	0,03461	1,81491
12	3572	3324	1400	1132	812	462	30,934	52,111	1,550	102	0,03574	1,67201
13	3580	3380	1210	980	724	438	27,766	42,889	1,391	102	0,03651	1,50082
14	3590	3424	1062	880	656	418	25,286	35,778	1,267	103	0,03673	1,36677
15	3596	3464	932	772	598	408	22,538	29,111	1,129	102	0,03762	1,21820

Quadro 33 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,4600 dag L⁻¹ na tubulação de ferro galvanizado com diâmetro de 53,75 mm e temperatura entre 24,5 e 26,5 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3596	3470	3230	2316	1536	770	22,017	136,667	2,697	140	0,01980	1,86075
2	3598	3480	3070	2214	1470	748	21,304	129,000	2,610	140	0,01996	1,80046
3	3600	3484	3022	2174	1440	732	21,122	127,222	2,588	140	0,02003	1,78507
4	3602	3490	2936	2136	1400	718	20,753	123,222	2,542	140	0,02010	1,75389
5	3604	3500	2738	1970	1314	678	19,995	114,444	2,450	140	0,02011	1,68983
6	3604	3510	2482	1800	1212	634	19,005	102,667	2,328	141	0,01996	1,60619
7	3602	3514	2460	1782	1200	632	18,386	101,556	2,252	138	0,02110	1,55386
8	3604	3518	2376	1724	1158	618	18,175	97,667	2,227	139	0,02077	1,53603
9	3606	3520	2384	1736	1166	616	18,175	98,222	2,227	139	0,02088	1,53603
10	3606	3526	2254	1632	1114	590	17,527	92,444	2,147	138	0,02114	1,48125
11	3606	3530	2184	1586	1080	576	17,081	89,333	2,093	137	0,02151	1,44359
12	3608	3536	2110	1534	1042	564	16,624	85,889	2,037	136	0,02183	1,40492
13	3612	3542	1992	1456	992	542	16,390	80,556	2,008	139	0,02106	1,38519
14	3610	3548	1882	1376	942	522	15,421	75,556	1,889	135	0,02231	1,30330
15	3614	3556	1658	1222	846	480	14,913	65,444	1,827	142	0,02067	1,26038
16	3610	3560	1578	1166	814	466	13,842	61,778	1,696	136	0,02265	1,16986
17	3618	3566	1402	1042	734	430	14,118	54,000	1,730	149	0,01903	1,19313
18	3620	3572	1344	990	690	410	13,562	51,889	1,661	146	0,01982	1,14613

Quadro 34 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,4600 dag L⁻¹ na tubulação de aço zincado com diâmetro de 150,43 mm e temperatura de 25,5 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3090	178	1206	1114	1070	1006	106,554	11,111	1,601	167	0,01305	3,15356
2	3114	350	1170	1114	1044	978	103,800	10,667	1,559	166	0,01320	3,07204
3	3138	480	1140	1076	1010	956	101,782	10,222	1,529	167	0,01316	3,01231
4	3154	592	1100	1044	980	924	99,919	9,778	1,501	168	0,01306	2,95718
5	3180	764	1064	1008	956	906	97,018	8,778	1,458	172	0,01244	2,87132
6	3208	924	1008	960	910	870	94,319	7,667	1,417	180	0,01149	2,79145
7	3240	1164	946	930	860	808	89,904	7,667	1,351	172	0,01265	2,66077
8	3280	1446	886	842	800	744	84,479	7,889	1,269	159	0,01474	2,50023
9	3324	1726	832	792	726	686	78,834	8,111	1,184	146	0,01741	2,33314
10	3366	2056	740	708	664	640	71,347	5,556	1,072	162	0,01456	2,11157
11	3406	2294	700	652	630	596	65,711	5,778	0,987	146	0,01784	1,94478
12	3436	2514	634	604	582	566	59,811	3,778	0,899	168	0,01408	1,77015
13	3476	2760	578	556	536	514	52,679	3,556	0,791	153	0,01709	1,55908
14	3502	2904	540	530	510	492	48,125	2,667	0,723	163	0,01536	1,42428
15	3516	3012	532	518	490	478	44,164	3,000	0,664	140	0,02051	1,30708

Quadro 35 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2 e P3 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,4600 dag L⁻¹ na tubulação de aço zincado com diâmetro de 125,25 mm e temperatura entre 25,5 e 26,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3180	802	1514	1152	906	96,249	50,667	2,170	113	0,02644	3,48945
2	3198	874	1480	1134	890	95,145	49,167	2,145	114	0,02626	3,44944
3	3206	958	1456	1116	876	93,570	48,333	2,110	113	0,02669	3,39233
4	3224	1084	1404	1086	854	91,285	45,833	2,058	113	0,02659	3,30949
5	3236	1192	1384	1050	840	89,205	45,333	2,011	111	0,02754	3,23409
6	3260	1314	1316	1024	814	87,031	41,833	1,962	114	0,02670	3,15528
7	3280	1492	1256	980	784	83,408	39,333	1,880	113	0,02733	3,02393
8	3300	1618	1204	946	758	80,888	37,167	1,824	113	0,02746	2,93255
9	3342	1936	1090	860	714	73,926	31,333	1,667	113	0,02772	2,68015
10	3376	2134	1006	814	676	69,463	27,500	1,566	114	0,02756	2,51833
11	3420	2362	908	750	634	64,089	22,833	1,445	116	0,02688	2,32353
12	3468	2686	804	674	586	55,064	18,167	1,241	113	0,02897	1,99632
13	3496	2890	720	628	550	48,447	14,167	1,092	113	0,02918	1,75641
14	3526	3060	660	578	534	42,460	10,500	0,957	117	0,02816	1,53936
15	3554	3226	596	536	492	35,596	8,667	0,803	109	0,03307	1,29051
16	3576	3376	530	496	466	27,766	5,333	0,626	110	0,03344	1,00666

Quadro 36 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,4600 dag L⁻¹ na tubulação de aço zincado com diâmetro de 99,83 mm e temperatura de 25,5 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3264	1370	1768	1290	970	594	85,856	65,222	3,047	160	0,01376	3,90525
2	3270	1410	1744	1272	960	588	85,078	64,222	3,019	160	0,01380	3,86989
3	3276	1476	1692	1238	938	584	83,689	61,556	2,970	161	0,01367	3,80669
4	3290	1562	1654	1212	920	574	81,991	60,000	2,910	160	0,01388	3,72946
5	3306	1652	1600	1178	900	564	80,209	57,556	2,846	160	0,01391	3,64839
6	3324	1762	1530	1130	866	554	77,937	54,222	2,766	161	0,01388	3,54504
7	3346	1912	1440	1070	824	536	74,662	50,222	2,650	160	0,01401	3,39607
8	3384	2108	1322	1000	774	520	70,411	44,556	2,499	161	0,01398	3,20272
9	3430	2332	1190	912	720	500	65,295	38,333	2,317	162	0,01398	2,97000
10	3434	2490	1092	840	672	490	60,523	33,444	2,148	162	0,01420	2,75297
11	3466	2716	956	764	620	462	53,921	27,444	1,914	160	0,01468	2,45264
12	3490	2872	856	690	580	444	48,926	22,889	1,736	161	0,01487	2,22546
13	3512	3036	754	626	532	430	42,915	18,000	1,523	160	0,01520	1,95204
14	3546	3220	656	554	484	414	35,487	13,444	1,259	155	0,01660	1,61415
15	3572	3352	554	494	444	392	29,128	9,000	1,034	158	0,01650	1,32490

Quadro 37 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,4600 dag L⁻¹ na tubulação de aço zincado com diâmetro de 73,54 mm e temperatura de 26,5 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3516	2996	2882	2266	1656	1072	44,863	100,556	2,934	148	0,01686	2,77016
2	3552	3008	2810	2216	1618	1050	45,891	97,778	3,001	154	0,01566	2,83364
3	3522	3028	2740	2156	1584	1032	43,722	94,889	2,859	149	0,01675	2,69973
4	3530	3056	2620	2066	1516	990	42,824	90,556	2,801	149	0,01666	2,64428
5	3532	3094	2492	1964	1440	652	41,159	102,222	2,692	134	0,02036	2,54145
6	3538	3130	2330	1846	1366	896	39,719	79,667	2,597	148	0,01704	2,45250
7	3544	3174	2170	1700	1260	838	37,816	74,000	2,473	147	0,01746	2,33502
8	3550	3208	2000	1580	1180	786	36,351	67,444	2,377	149	0,01722	2,24455
9	3558	3230	1930	1532	1136	766	35,596	64,667	2,328	149	0,01722	2,19794
10	3564	3272	1770	1390	1040	708	33,577	59,000	2,196	148	0,01765	2,07330
11	3570	3304	1620	1288	970	668	32,041	52,889	2,095	149	0,01738	1,97845
12	3578	3336	1490	1182	900	626	30,555	48,000	1,998	150	0,01734	1,88671
13	3580	3384	1266	1040	798	562	27,486	39,111	1,798	151	0,01747	1,69719
14	3594	3436	1092	904	686	496	24,667	33,111	1,613	148	0,01836	1,52312
15	3604	3500	834	696	556	416	19,995	23,222	1,308	145	0,01960	1,23463

Quadro 38 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,4600 dag L⁻¹ na tubulação de PVC com diâmetro de 153,43 mm e temperatura entre 25,0 e 26,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3090	178	1206	1114	1070	1006	106,554	11,111	1,601	167	0,01305	3,15356
2	3114	350	1170	1114	1044	978	103,800	10,667	1,559	166	0,01320	3,07204
3	3138	480	1140	1076	1010	956	101,782	10,222	1,529	167	0,01316	3,01231
4	3154	592	1100	1044	980	924	99,919	9,778	1,501	168	0,01306	2,95718
5	3180	764	1064	1008	956	906	97,018	8,778	1,458	172	0,01244	2,87132
6	3208	924	1008	960	910	870	94,319	7,667	1,417	180	0,01149	2,79145
7	3240	1164	946	930	860	808	89,904	7,667	1,351	172	0,01265	2,66077
8	3280	1446	886	842	800	744	84,479	7,889	1,269	159	0,01474	2,50023
9	3324	1726	832	792	726	686	78,834	8,111	1,184	146	0,01741	2,33314
10	3366	2056	740	708	664	640	71,347	5,556	1,072	162	0,01456	2,11157
11	3406	2294	700	652	630	596	65,711	5,778	0,987	146	0,01784	1,94478
12	3436	2514	634	604	582	566	59,811	3,778	0,899	168	0,01408	1,77015
13	3476	2760	578	556	536	514	52,679	3,556	0,791	153	0,01709	1,55908
14	3502	2904	540	530	510	492	48,125	2,667	0,723	163	0,01536	1,42428
15	3516	3012	532	518	490	478	44,164	3,000	0,664	140	0,02051	1,30708

Quadro 39 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,4600 dag L⁻¹ na tubulação de PVC com diâmetro de 127,31 mm e temperatura de 26,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3140	520	1330	1160	1000	830	101,048	27,778	2,205	158	0,01427	3,60418
2	3150	598	1310	1140	984	820	99,723	27,222	2,176	157	0,01436	3,55691
3	3172	746	1270	1108	952	796	97,219	26,333	2,121	156	0,01461	3,46761
4	3198	888	1228	1076	926	746	94,857	26,778	2,070	151	0,01561	3,38334
5	3232	1138	1150	1010	878	740	90,294	22,778	1,970	157	0,01466	3,22061
6	3264	1356	1088	966	842	712	86,174	20,889	1,880	157	0,01476	3,07364
7	3290	1540	1036	920	800	690	82,514	19,222	1,801	157	0,01481	2,94309
8	3320	1722	980	870	760	660	78,834	17,778	1,720	156	0,01501	2,81183
9	3356	1988	890	796	700	604	72,916	15,889	1,591	154	0,01568	2,60076
10	3400	2236	820	732	656	580	67,237	13,333	1,467	156	0,01547	2,39819
11	3426	2446	764	686	620	552	61,671	11,778	1,346	153	0,01624	2,19969
12	3462	2670	700	630	580	526	55,416	9,667	1,209	153	0,01651	1,97658
13	3486	2864	640	600	546	500	49,085	7,778	1,071	152	0,01693	1,75075
14	3520	3072	588	546	514	480	41,628	6,000	0,908	148	0,01816	1,48479
15	3574	3362	500	480	460	440	28,591	3,333	0,624	140	0,02139	1,01978

Quadro 40 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,4600 dag L⁻¹ na tubulação de PVC com diâmetro de 103,22 mm e temperatura de 25,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3230	1100	1564	1100	750	576	91,070	54,889	3,023	171	0,01216	4,00639
2	3236	1146	1550	1100	740	580	90,208	53,889	2,994	171	0,01217	3,96844
3	3242	1200	1432	1080	726	570	89,161	47,889	2,960	180	0,01107	3,92241
4	3254	1284	1496	1056	714	560	87,569	52,000	2,907	169	0,01246	3,85234
5	3272	1404	1448	1034	706	556	85,262	49,556	2,830	169	0,01253	3,75086
6	3298	1524	1380	980	684	546	83,080	46,333	2,758	171	0,01234	3,65487
7	3322	1710	1300	950	656	530	79,180	42,778	2,628	170	0,01254	3,48329
8	3340	1862	1240	912	630	526	75,803	39,667	2,516	169	0,01269	3,33476
9	3360	2016	1158	860	616	506	72,271	36,222	2,399	170	0,01275	3,17935
10	3394	2194	1080	814	588	492	68,273	32,667	2,266	169	0,01288	3,00348
11	3416	2364	1000	760	562	476	63,906	29,111	2,121	169	0,01310	2,81139
12	3460	2628	870	686	524	450	56,804	23,333	1,886	169	0,01329	2,49896
13	3490	2840	776	620	486	430	50,182	19,222	1,666	166	0,01403	2,20763
14	3524	3052	660	552	456	400	42,734	14,444	1,419	165	0,01454	1,87994
15	3554	3220	590	510	440	390	35,921	11,111	1,192	159	0,01583	1,58026
16	3576	3374	500	442	396	376	27,906	6,889	0,926	160	0,01626	1,22763

Quadro 41 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,4600 dag L⁻¹ na tubulação de PVC com diâmetro de 79,90 mm e temperatura entre 25,5 e 26,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3434	2484	2272	1778	1116	638	60,716	90,778	3,364	170	0,01258	3,45063
2	3444	2514	2206	1740	1096	630	60,071	87,556	3,328	172	0,01239	3,41396
3	3454	2576	2112	1674	1050	610	58,360	83,444	3,233	171	0,01251	3,31674
4	3464	2644	2008	1590	1006	590	56,392	78,778	3,124	171	0,01265	3,20485
5	3470	2716	1880	1496	950	568	54,065	72,889	2,995	170	0,01274	3,07262
6	3486	2814	1720	1364	884	536	51,028	65,778	2,827	170	0,01290	2,90002
7	3504	2916	1540	1226	808	502	47,719	57,667	2,644	171	0,01293	2,71195
8	3524	3054	1330	1076	724	468	42,642	47,889	2,362	169	0,01345	2,42346
9	3536	3112	1240	1000	684	446	40,493	44,111	2,243	167	0,01374	2,30131
10	3550	3190	1090	906	628	424	37,299	37,000	2,066	170	0,01358	2,11979
11	3552	3212	1044	860	606	414	36,244	35,000	2,008	170	0,01361	2,05981
12	3564	3276	954	800	560	404	33,346	30,556	1,847	168	0,01404	1,89510
13	3580	3372	800	670	506	374	28,319	23,667	1,569	164	0,01507	1,60941
14	3586	3440	752	650	490	366	23,708	21,444	1,313	145	0,01949	1,34736
15	3598	3462	644	558	450	354	22,878	16,111	1,267	163	0,01572	1,30021

Quadro 42 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,4600 dag L⁻¹ na tubulação de PVC com diâmetro de 52,61 mm e temperatura de 25,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3594	3450	2970	2286	1430	756	23,544	123,000	3,009	168	0,01403	2,03215
2	3594	3462	2834	2196	1360	728	22,538	117,000	2,880	165	0,01456	1,94528
3	3596	3466	2722	2106	1304	706	22,366	112,000	2,858	168	0,01415	1,93042
4	3596	3474	2660	2056	1266	696	21,664	109,111	2,768	165	0,01470	1,86983
5	3598	3480	2570	1986	1224	676	21,304	105,222	2,722	165	0,01466	1,83879
6	3600	3490	2370	1860	1160	636	20,566	96,333	2,628	167	0,01440	1,77510
7	3600	3496	2332	1802	1136	626	19,995	94,778	2,555	164	0,01499	1,72580
8	3604	3504	2214	1716	1076	594	19,605	90,000	2,505	166	0,01480	1,69215
9	3604	3508	2142	1662	1044	580	19,207	86,778	2,454	165	0,01487	1,65781
10	3606	3520	1994	1546	976	550	18,175	80,222	2,322	163	0,01535	1,56873
11	3606	3528	1836	1428	914	516	17,305	73,333	2,211	163	0,01548	1,49368
12	3608	3532	1790	1396	886	504	17,081	71,444	2,183	163	0,01548	1,47432
13	3610	3542	1600	1254	814	460	16,153	63,333	2,064	165	0,01534	1,39424
14	3612	3548	1580	1230	792	466	15,669	61,889	2,002	162	0,01593	1,35243
15	3614	3554	1450	1136	740	436	15,169	56,333	1,938	165	0,01548	1,30931

Quadro 43 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,7269 dag L⁻¹ na tubulação de ferro galvanizado com diâmetro de 155,48 mm e temperatura de 27,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3108	326	1264	1196	1108	1036	97,998	12,667	1,434	138	0,01880	2,62162
2	3130	474	1380	1300	1228	1166	95,753	11,889	1,401	140	0,01848	2,56156
3	3152	610	1480	1404	1338	1276	93,675	11,333	1,371	140	0,01841	2,50599
4	3172	752	1590	1510	1450	1394	91,400	10,889	1,337	140	0,01858	2,44511
5	3198	908	1702	1628	1570	1512	88,911	10,556	1,301	138	0,01903	2,37853
6	3220	1060	1798	1734	1680	1630	86,350	9,333	1,263	143	0,01784	2,31003
7	3250	1246	1946	1884	1826	1778	83,174	9,333	1,217	138	0,01923	2,22505
8	3274	1414	2062	2000	1956	1906	80,130	8,667	1,172	139	0,01924	2,14362
9	3300	1588	2190	2134	2090	2050	76,876	7,778	1,125	141	0,01876	2,05657
10	3330	1784	2338	2274	2234	2198	73,054	7,778	1,069	134	0,02077	1,95432
11	3366	2024	2510	2466	2432	2404	68,063	5,889	0,996	145	0,01812	1,82082
12	3396	2220	2638	2614	2570	2544	63,715	5,222	0,932	145	0,01833	1,70449
13	3440	2476	2816	2790	2764	2742	57,687	4,111	0,844	149	0,01761	1,54323
14	3460	2616	2968	2946	2920	2904	53,977	3,556	0,790	151	0,01739	1,44398
15	3496	2854	3120	3100	3076	3068	47,077	2,889	0,689	147	0,01858	1,25939
16	3524	3016	3240	3224	3204	3196	41,876	2,444	0,613	143	0,01987	1,12027

Quadro 44 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,7269 dag L⁻¹ na tubulação de ferro galvanizado com diâmetro de 130,30 mm e temperatura entre 27,0 e 28,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3142	526	1336	1164	1012	836	95,029	27,778	1,980	139	0,01812	3,03347
2	3168	634	1306	1132	986	812	93,528	27,444	1,948	138	0,01848	2,98555
3	3190	820	1250	1096	956	794	90,451	25,333	1,884	139	0,01824	2,88732
4	3214	972	1212	1060	920	770	87,974	24,556	1,833	138	0,01869	2,80827
5	3250	1200	1136	1000	876	736	84,123	22,222	1,752	139	0,01850	2,68533
6	3274	1352	1092	960	846	716	81,454	20,889	1,697	139	0,01855	2,60015
7	3300	1526	1036	914	804	686	78,255	19,444	1,630	139	0,01871	2,49803
8	3320	1710	982	872	776	664	74,551	17,667	1,553	140	0,01873	2,37977
9	3354	1896	930	824	732	632	70,944	16,556	1,478	138	0,01938	2,26464
10	3382	2090	864	778	698	612	66,783	14,000	1,391	142	0,01849	2,13183
11	3410	2280	820	740	666	590	62,456	12,778	1,301	139	0,01930	1,99370
12	3444	2518	742	676	620	558	56,538	10,222	1,178	142	0,01884	1,80479
13	3478	2720	684	626	570	530	51,153	8,556	1,066	142	0,01926	1,63289
14	3506	2920	646	582	544	504	44,977	7,889	0,937	130	0,02297	1,43572
15	3542	3134	564	536	510	474	37,529	5,000	0,782	139	0,02091	1,19798
16	3564	3256	538	510	478	460	32,607	4,333	0,679	130	0,02401	1,04087

Quadro 45 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,7269 dag L⁻¹ na tubulação de ferro galvanizado com diâmetro de 105,90 mm e temperatura entre 25,5 e 26,5 °C

Nº	L1 mm	L2 Mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3296	1520	1950	1560	1194	832	78,300	62,111	2,469	128	0,02116	3,07533
2	3306	1566	1922	1534	1184	830	77,502	60,667	2,444	129	0,02110	3,04400
3	3312	1612	1898	1526	1170	826	76,606	59,556	2,416	128	0,02120	3,00881
4	3322	1694	1844	1490	1150	818	74,966	57,000	2,364	129	0,02119	2,94440
5	3334	1778	1798	1450	1126	806	73,290	55,111	2,311	128	0,02143	2,87855
6	3350	1884	1740	1414	1110	808	71,139	51,778	2,243	129	0,02137	2,79407
7	3372	1984	1686	1376	1076	800	69,220	49,222	2,183	129	0,02146	2,71872
8	3380	2110	1580	1300	1034	770	66,212	45,000	2,088	129	0,02144	2,60059
9	3412	2280	1456	1200	964	726	62,512	40,556	1,971	129	0,02168	2,45523
10	3416	2302	1448	1194	954	724	62,013	40,222	1,956	129	0,02185	2,43564
11	3442	2474	1302	1084	876	674	57,806	34,889	1,823	129	0,02181	2,27043
12	3444	2660	1162	980	800	630	52,023	29,556	1,641	127	0,02281	2,04328
13	3500	2870	986	852	712	570	46,635	23,111	1,471	130	0,02220	1,83164
14	3520	3020	870	746	634	530	41,545	18,889	1,310	129	0,02286	1,63175
15	3558	3226	700	624	550	474	33,854	12,556	1,068	132	0,02289	1,32965

Quadro 46 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,7269 dag L⁻¹ na tubulação de ferro galvanizado com diâmetro de 84,01 mm e temperatura de 24,0 °C

Nº	L1 mm	L2 Mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3494	2862	2840	2212	1444	644	46,709	122,000	2,341	98	0,03670	2,31256
2	3496	2882	2768	2166	1420	628	46,039	118,889	2,307	98	0,03682	2,27939
3	3502	2900	2720	2130	1394	626	45,586	116,333	2,284	98	0,03674	2,25701
4	3504	2936	2600	2036	1330	610	44,280	110,556	2,219	98	0,03701	2,19234
5	3512	2986	2432	1906	1260	592	42,612	102,222	2,135	98	0,03695	2,10973
6	3518	3020	2312	1820	1206	574	41,462	96,556	2,078	98	0,03686	2,05281
7	3526	3070	2158	1700	1144	556	39,675	89,000	1,988	98	0,03711	1,96434
8	3534	3106	2050	1614	1086	540	38,438	83,889	1,926	98	0,03727	1,90308
9	3538	3130	1978	1562	1060	532	37,529	80,333	1,881	98	0,03744	1,85808
10	3542	3160	1900	1504	1020	520	36,314	76,667	1,820	98	0,03816	1,79790
11	3548	3220	1734	1376	942	500	33,649	68,556	1,686	96	0,03974	1,66599
12	3554	3250	1600	1268	884	480	32,395	62,222	1,623	98	0,03892	1,60388
13	3564	3294	1464	1180	830	464	30,530	55,556	1,530	98	0,03912	1,51153
14	3574	3334	1336	1076	772	450	28,783	49,222	1,442	98	0,03900	1,42508
15	3580	3378	1204	978	720	432	26,407	42,889	1,323	97	0,04037	1,30741
16	3590	3434	998	836	630	406	23,206	32,889	1,163	99	0,04009	1,14894
17	3594	3456	930	778	592	400	21,826	29,444	1,094	98	0,04057	1,08062

Quadro 47 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,7269 dag L⁻¹ na tubulação de ferro galvanizado com diâmetro de 53,75 mm e temperatura entre 24,0 e 24,5 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3602	3482	3154	2260	1494	754	20,353	133,333	2,493	132	0,02261	1,57558
2	3598	3486	3038	2180	1446	732	19,663	128,111	2,409	130	0,02327	1,52215
3	3600	3490	3020	2114	1436	730	19,487	127,222	2,387	129	0,02353	1,50850
4	3602	3494	2914	2092	1392	712	19,309	122,333	2,366	131	0,02305	1,49472
5	3602	3498	2804	2014	1344	692	18,948	117,333	2,321	131	0,02296	1,46678
6	3604	3504	2690	1934	1298	666	18,580	112,444	2,276	132	0,02288	1,43830
7	3606	3510	2604	1870	1260	650	18,204	108,556	2,230	131	0,02301	1,40924
8	3606	3518	2486	1796	1206	628	17,429	103,222	2,135	129	0,02387	1,34924
9	3606	3524	2304	1666	1126	598	16,825	94,778	2,061	131	0,02352	1,30243
10	3610	3532	2170	1582	1062	574	16,409	88,667	2,010	132	0,02313	1,27027
11	3608	3534	2180	1580	1080	570	15,983	89,444	1,958	128	0,02459	1,23727
12	3608	3540	2036	1484	1006	546	15,321	82,778	1,877	128	0,02477	1,18605
13	3612	3544	1986	1450	990	536	15,321	80,556	1,877	130	0,02410	1,18605
14	3612	3548	1868	1364	930	514	14,864	75,222	1,821	131	0,02391	1,15064
15	3616	3552	1822	1336	920	506	14,864	73,111	1,821	133	0,02324	1,15064

Quadro 48 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,7269 dag L⁻¹ na tubulação de aço zincado com diâmetro de 150,43 mm e temperatura entre 25,5 e 26,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3112	382	1338	1204	1076	954	97,078	21,333	1,517	113	0,02735	2,68419
2	3144	524	1310	1172	1044	930	95,102	21,111	1,486	111	0,02820	2,62955
3	3168	694	1260	1132	1014	902	92,414	19,889	1,444	111	0,02814	2,55524
4	3186	846	1226	1102	984	880	89,876	19,222	1,405	110	0,02875	2,48507
5	3214	1004	1174	1058	946	848	87,344	18,111	1,365	111	0,02868	2,41506
6	3240	1182	1122	1010	908	816	84,287	17,000	1,317	110	0,02891	2,33053
7	3266	1374	1070	966	870	784	80,816	15,889	1,263	110	0,02939	2,23456
8	3292	1538	1018	930	834	758	77,813	14,444	1,216	111	0,02882	2,15152
9	3330	1800	954	864	784	712	72,675	13,444	1,136	108	0,03076	2,00945
10	3354	1970	904	826	752	686	69,120	12,111	1,080	109	0,03063	1,91117
11	3384	2138	856	790	720	662	65,584	10,778	1,025	110	0,03028	1,81339
12	3416	2320	800	740	680	630	61,510	9,444	0,961	111	0,03016	1,70073
13	3442	2492	754	710	654	612	57,266	7,889	0,895	114	0,02907	1,58341
14	3474	2726	690	646	610	574	50,815	6,444	0,794	112	0,03016	1,40502
15	3488	2798	682	638	600	564	48,805	6,556	0,763	107	0,03325	1,34945
16	3530	3040	622	590	556	534	41,128	4,889	0,643	106	0,03492	1,13718

Quadro 49 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2 e P3 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,7269 dag L⁻¹ na tubulação de aço zincado com diâmetro de 125,25 mm e temperatura entre 27,0 e 29,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3184	776	1506	1144	908	91,173	49,833	2,056	108	0,02898	3,02772
2	3200	900	1450	1118	886	89,105	47,000	2,009	109	0,02862	2,95905
3	3220	1036	1404	1086	860	86,829	45,333	1,958	108	0,02907	2,88346
4	3238	1174	1354	1050	840	84,410	42,833	1,903	109	0,02906	2,80313
5	3266	1316	1288	1000	814	82,046	39,500	1,850	110	0,02837	2,72462
6	3284	1454	1240	972	786	79,481	37,833	1,792	109	0,02895	2,63945
7	3308	1626	1186	930	762	76,199	35,333	1,718	109	0,02942	2,53047
8	3330	1780	1120	886	730	73,148	32,500	1,649	109	0,02937	2,42915
9	3356	1978	1054	850	700	68,970	29,500	1,555	109	0,02998	2,29041
10	3386	2150	990	806	676	65,320	26,167	1,473	110	0,02965	2,16919
11	3410	2318	922	762	644	61,397	23,167	1,384	110	0,02971	2,03892
12	3440	2496	870	722	616	57,085	21,167	1,287	108	0,03140	1,89572
13	3466	2674	806	678	592	52,288	17,833	1,179	108	0,03154	1,73640
14	3488	2846	738	632	564	47,077	14,500	1,061	109	0,03163	1,56335
15	3524	3060	654	586	532	40,022	10,167	0,902	112	0,03069	1,32907
16	3552	3208	600	550	506	34,460	7,833	0,777	111	0,03189	1,14437

Quadro 50 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,7269 dag L⁻¹ na tubulação de aço zincado com diâmetro de 99,83 mm e temperatura entre 26,0 e 26,5 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3266	1364	1766	1280	988	600	81,029	64,778	2,876	152	0,01534	3,37606
2	3284	1464	1700	1234	956	590	79,264	61,667	2,813	152	0,01526	3,30248
3	3306	1600	1626	1190	926	578	76,741	58,222	2,723	152	0,01538	3,19738
4	3326	1746	1536	1132	874	560	73,853	54,222	2,621	152	0,01546	3,07704
5	3340	1854	1466	1078	850	542	71,622	51,333	2,542	152	0,01556	2,98410
6	3356	1984	1384	1030	810	524	68,820	47,778	2,442	152	0,01569	2,86736
7	3386	2140	1290	960	756	504	65,584	43,667	2,327	152	0,01579	2,73252
8	3406	2264	1210	912	726	486	62,787	40,222	2,228	152	0,01587	2,61600
9	3430	2460	1110	856	680	480	57,866	35,000	2,054	151	0,01626	2,41096
10	3454	2616	1010	800	646	470	53,785	30,000	1,909	153	0,01613	2,24092
11	3474	2744	950	756	626	456	50,199	27,444	1,781	149	0,01694	2,09154
12	3496	2866	876	716	598	454	46,635	23,444	1,655	151	0,01677	1,94301
13	3520	3016	792	654	594	446	41,711	19,222	1,480	150	0,01718	1,73788
14	3540	3136	720	608	530	438	37,345	15,667	1,325	150	0,01747	1,55595
15	3560	3284	610	550	484	420	30,867	10,556	1,095	154	0,01723	1,28605
16	3580	3390	556	490	452	406	25,610	8,333	0,909	145	0,01976	1,06704

Quadro 51 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,7269 dag L⁻¹ na tubulação de aço zincado com diâmetro de 73,54 mm e temperatura de 23,5 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3516	3000	2866	2264	1676	1096	42,205	98,333	2,760	141	0,01862	2,38708
2	3516	3026	2776	2218	1616	1066	41,128	95,000	2,690	140	0,01895	2,32616
3	3524	3056	2656	2140	1546	1022	40,194	90,778	2,629	140	0,01896	2,27334
4	3528	3078	2570	2052	1504	992	39,413	87,667	2,578	140	0,01904	2,22920
5	3536	3100	2486	1964	1456	962	38,795	84,667	2,537	140	0,01898	2,19425
6	3542	3130	2374	1880	1392	918	37,713	80,889	2,466	140	0,01919	2,13300
7	3544	3160	2240	1772	1314	864	36,409	76,444	2,381	139	0,01946	2,05924
8	3546	3182	2130	1696	1254	832	35,448	72,111	2,318	140	0,01936	2,00490
9	3550	3206	2022	1604	1194	800	34,460	67,889	2,254	140	0,01929	1,94904
10	3558	3242	1880	1486	1108	750	33,028	62,778	2,160	140	0,01942	1,86804
11	3564	3276	1736	1390	1036	704	31,531	57,333	2,062	141	0,01946	1,78336
12	3564	3308	1606	1276	960	658	29,727	52,667	1,944	139	0,02011	1,68136
13	3572	3344	1470	1180	890	614	28,055	47,556	1,835	139	0,02038	1,58675
14	3580	3386	1284	1034	790	554	25,878	40,556	1,692	139	0,02043	1,46367
15	3592	3436	1100	900	698	500	23,206	33,333	1,518	139	0,02088	1,31252
16	3596	3462	960	794	616	460	21,508	27,778	1,407	142	0,02026	1,21645

Quadro 52 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,7269 dag L⁻¹ na tubulação de PVC com diâmetro de 153,43 mm e temperatura de 27,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3108	326	1316	1250	1190	1114	97,998	11,222	1,472	153	0,01558	2,65665
2	3130	474	1284	1232	1160	1108	95,753	9,778	1,439	161	0,01422	2,59579
3	3152	610	1240	1186	1124	1054	93,675	10,333	1,407	153	0,01570	2,53947
4	3172	752	1184	1150	1080	1030	91,400	8,556	1,373	165	0,01366	2,47778
5	3198	908	1156	1106	1040	980	88,911	9,778	1,336	149	0,01650	2,41031
6	3220	1060	1104	1040	1008	960	86,350	8,000	1,297	161	0,01431	2,34090
7	3250	1246	1070	1016	970	920	83,174	8,333	1,250	152	0,01606	2,25478
8	3274	1414	1026	978	912	860	80,130	9,222	1,204	139	0,01915	2,17226
9	3300	1588	980	940	890	840	76,876	7,778	1,155	146	0,01755	2,08405
10	3330	1784	940	890	850	800	73,054	7,778	1,098	139	0,01944	1,98043
11	3366	2024	840	802	754	724	68,063	6,444	1,023	143	0,01855	1,84515
12	3396	2220	766	750	718	686	63,715	4,444	0,957	164	0,01460	1,72727
13	3440	2476	710	680	654	620	57,687	5,000	0,867	139	0,02004	1,56385
14	3460	2616	660	640	620	600	53,977	3,333	0,811	162	0,01526	1,46328
15	3496	2854	590	570	544	526	47,077	3,556	0,707	136	0,02140	1,27621
16	3524	3016	544	524	504	490	41,876	3,000	0,629	133	0,02281	1,13524

Quadro 53 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,7269 dag L⁻¹ na tubulação de PVC com diâmetro de 127,31 mm e temperatura de 27,5 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3146	526	1340	1156	1000	832	95,102	28,222	2,075	147	0,01637	3,10709
2	3166	670	1298	1130	970	812	92,824	27,000	2,026	147	0,01644	3,03267
3	3190	818	1252	1090	940	788	90,489	25,778	1,975	147	0,01651	2,95638
4	3210	956	1210	1060	916	770	88,209	24,444	1,925	147	0,01648	2,88191
5	3240	1122	1164	1020	884	744	85,507	23,333	1,866	146	0,01674	2,79361
6	3266	1314	1112	976	846	720	82,088	21,778	1,791	146	0,01695	2,68190
7	3286	1444	1074	942	824	700	79,741	20,778	1,740	145	0,01714	2,60524
8	3306	1590	1026	906	794	680	76,966	19,222	1,679	146	0,01702	2,51456
9	3332	1734	978	866	766	658	74,272	17,778	1,621	147	0,01691	2,42656
10	3354	1884	940	836	736	636	71,236	16,889	1,554	145	0,01746	2,32735
11	3386	2100	880	782	700	612	66,628	14,889	1,454	145	0,01759	2,17683
12	3420	2310	820	734	660	590	61,901	12,778	1,351	147	0,01749	2,02239
13	3460	2590	730	656	600	538	54,802	10,667	1,196	143	0,01863	1,79045
14	3496	2850	644	596	550	500	47,223	8,000	1,030	144	0,01882	1,54283
15	3526	3020	606	564	522	484	41,794	6,778	0,912	140	0,02035	1,36546
16	3546	3160	566	530	506	470	36,503	5,333	0,797	139	0,02100	1,19261

Quadro 54 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,7269 dag L⁻¹ na tubulação de PVC com diâmetro de 103,22 mm e temperatura entre 26,0 e 26,5 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3226	1056	1520	1066	676	524	86,550	55,333	2,873	162	0,01358	3,48764
2	3240	1180	1470	1020	656	520	84,328	52,778	2,799	161	0,01364	3,39809
3	3262	1320	1410	984	646	514	81,877	49,778	2,718	162	0,01365	3,29933
4	3276	1438	1354	968	636	506	79,655	47,111	2,644	162	0,01365	3,20977
5	3300	1566	1320	934	624	496	77,368	45,778	2,568	160	0,01406	3,11764
6	3314	1686	1266	910	618	490	74,966	43,111	2,489	160	0,01410	3,02085
7	3334	1814	1216	880	612	480	72,437	40,889	2,405	159	0,01432	2,91893
8	3358	1994	1134	822	580	468	68,619	37,000	2,278	159	0,01444	2,76509
9	3400	2224	1030	770	550	460	63,715	31,667	2,115	161	0,01434	2,56747
10	3434	2464	930	710	530	440	57,866	27,222	1,921	158	0,01494	2,33178
11	3442	2536	902	692	520	438	55,924	25,778	1,856	158	0,01515	2,25354
12	3462	2676	842	654	498	426	52,089	23,111	1,729	156	0,01565	2,09900
13	3488	2836	770	610	484	418	47,442	19,556	1,575	155	0,01597	1,91173
14	3514	2990	684	568	466	412	42,531	15,111	1,412	160	0,01535	1,71383
15	3540	3176	610	520	438	402	35,448	11,556	1,177	154	0,01690	1,42841
16	3564	3312	540	476	420	390	29,494	8,333	0,979	153	0,01761	1,18851

Quadro 55 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,7269 dag L⁻¹ na tubulação de PVC com diâmetro de 79,90 mm e temperatura de 24,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3434	2460	2264	1800	1130	634	57,985	90,556	3,212	163	0,01376	3,01855
2	3444	2504	2214	1750	1112	624	56,964	88,333	3,156	162	0,01390	2,96540
3	3450	2564	2100	1672	1058	604	55,304	83,111	3,064	162	0,01388	2,87896
4	3456	2606	2036	1620	1030	592	54,169	80,222	3,001	162	0,01396	2,81986
5	3460	2646	1982	1580	1010	584	53,009	77,667	2,937	162	0,01412	2,75950
6	3474	2710	1870	1486	966	564	51,355	72,556	2,845	162	0,01405	2,67341
7	3484	2796	1720	1376	900	538	48,734	65,667	2,700	163	0,01412	2,53696
8	3490	2850	1666	1324	868	526	47,003	63,333	2,604	160	0,01464	2,44686
9	3502	2900	1576	1256	832	506	45,586	59,444	2,526	160	0,01461	2,37311
10	3514	2972	1450	1170	780	486	43,255	53,556	2,396	161	0,01462	2,25174
11	3526	3036	1360	1084	740	466	41,128	49,667	2,279	160	0,01500	2,14100
12	3540	3142	1170	970	664	440	37,066	40,556	2,053	160	0,01508	1,92957
13	3558	3250	1000	836	600	414	32,607	32,556	1,806	159	0,01564	1,69744
14	3574	3342	878	732	540	396	28,300	26,778	1,568	153	0,01708	1,47320
15	3584	3404	776	650	500	378	24,927	22,111	1,381	150	0,01818	1,29764
16	3594	3454	686	590	464	366	21,984	17,778	1,218	149	0,01879	1,14441

Quadro 56 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,7269 dag L⁻¹ na tubulação de PVC com diâmetro de 52,61 mm e temperatura de 24,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3590	3448	2970	2290	1440	764	22,140	122,556	2,829	158	0,01580	1,75042
2	3592	3456	2878	2226	1396	746	21,667	118,444	2,769	158	0,01595	1,71304
3	3594	3460	2824	2176	1370	732	21,508	116,222	2,748	158	0,01588	1,70039
4	3596	3466	2798	2160	1362	726	21,184	115,111	2,707	157	0,01622	1,67482
5	3596	3472	2698	2078	1310	704	20,689	110,778	2,644	156	0,01636	1,63572
6	3598	3478	2594	1998	1258	680	20,353	106,333	2,601	157	0,01623	1,60912
7	3598	3484	2480	1916	1212	654	19,838	101,444	2,535	157	0,01630	1,56837
8	3604	3490	2400	1858	1186	646	19,838	97,444	2,535	161	0,01565	1,56837
9	3604	3496	2292	1770	1126	618	19,309	93,000	2,467	160	0,01577	1,52654
10	3594	3500	2120	1644	1052	584	18,014	85,333	2,302	157	0,01662	1,42417
11	3598	3504	1990	1540	984	554	18,014	79,778	2,302	162	0,01554	1,42417
12	3598	3512	1958	1514	974	544	17,230	78,556	2,202	157	0,01673	1,36222
13	3600	3522	1734	1354	874	500	16,409	68,556	2,097	161	0,01610	1,29731
14	3598	3526	1714	1386	896	510	15,765	66,889	2,015	156	0,01701	1,24642
15	3602	3534	1584	1230	812	468	15,321	62,000	1,958	158	0,01670	1,21130
16	3602	3542	1460	1130	744	440	14,392	56,667	1,839	156	0,01730	1,13782

Quadro 57 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,9431 dag L⁻¹ na tubulação de ferro galvanizado com diâmetro de 155,48 mm e temperatura de 26,5 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3114	310	1278	1194	1122	1040	98,385	13,222	1,439	135	0,01947	8,03751
2	3130	454	1366	1294	1220	1160	96,113	11,444	1,406	143	0,01766	7,85191
3	3164	628	1500	1420	1350	1290	93,565	11,667	1,369	138	0,01899	7,64376
4	3180	806	1604	1530	1480	1428	90,527	9,778	1,324	147	0,01700	7,39559
5	3212	970	1768	1692	1628	1572	87,974	10,889	1,287	134	0,02005	7,18704
6	3234	1132	1850	1792	1740	1688	85,183	9,000	1,246	144	0,01768	6,95903
7	3266	1342	2030	1978	1924	1870	81,497	8,889	1,192	139	0,01907	6,65786
8	3292	1534	2158	2096	2056	2000	77,902	8,778	1,140	134	0,02061	6,36417
9	3320	1716	2274	2232	2198	2158	74,412	6,444	1,089	151	0,01659	6,07903
10	3340	1864	2398	2344	2314	2268	71,381	7,222	1,044	136	0,02020	5,83144
11	3382	2100	2570	2526	2492	2454	66,525	6,444	0,973	135	0,02075	5,43471
12	3410	2306	2712	2680	2652	2622	61,734	5,000	0,903	144	0,01870	5,04332
13	3446	2546	2890	2866	2846	2826	55,739	3,556	0,815	156	0,01631	4,55359
14	3480	2750	3026	3000	2982	2958	50,199	3,778	0,734	136	0,02136	4,10104
15	3506	2936	3172	3154	3150	3130	44,358	2,333	0,649	156	0,01690	3,62385
16	3536	3118	3310	3290	3274	3260	37,986	2,778	0,556	121	0,02743	3,10328

Quadro 58 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,9431 dag L⁻¹ na tubulação de ferro galvanizado com diâmetro de 130,30 mm e temperatura de 27,5 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3146	548	1338	1166	1014	836	94,702	27,889	1,973	139	0,01832	9,23171
2	3168	714	1290	1124	984	814	92,040	26,444	1,917	139	0,01839	8,97222
3	3180	830	1260	1100	960	796	90,068	25,778	1,876	138	0,01872	8,78004
4	3210	990	1212	1068	930	774	87,542	24,333	1,824	138	0,01871	8,53373
5	3236	1154	1164	1030	900	750	84,777	23,000	1,766	138	0,01885	8,26424
6	3260	1326	1114	980	860	720	81,708	21,889	1,702	136	0,01932	7,96509
7	3274	1476	1088	954	836	710	78,783	21,000	1,641	134	0,01993	7,67993
8	3300	1648	1032	904	804	680	75,517	19,556	1,573	134	0,02020	7,36152
9	3328	1834	972	864	770	654	71,815	17,667	1,496	135	0,02018	7,00064
10	3356	2000	914	816	730	630	68,418	15,778	1,425	136	0,01986	6,66949
11	3406	2270	830	754	684	598	62,622	12,889	1,305	139	0,01936	6,10452
12	3424	2440	782	706	646	572	58,282	11,667	1,214	137	0,02023	5,68146
13	3458	2640	720	666	610	550	53,139	9,444	1,107	140	0,01970	5,18011
14	3486	2832	666	616	570	520	47,515	8,111	0,990	135	0,02117	4,63182
15	3516	3018	600	570	536	492	41,462	6,000	0,864	139	0,02056	4,04182
16	3556	3230	550	510	490	470	33,546	4,444	0,699	132	0,02327	3,27018

Quadro 59 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,9431 dag L⁻¹ na tubulação de ferro galvanizado com diâmetro de 105,90 mm e temperatura entre 26,0 e 26,5 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3340	1954	2416	2100	1796	1506	69,170	50,556	2,181	127	0,02207	8,29646
2	3316	2032	2360	2064	1780	1496	66,576	48,000	2,100	125	0,02262	7,98534
3	3376	2150	2304	2030	1754	1492	65,055	45,111	2,052	127	0,02227	7,80290
4	3300	2232	2256	1976	1730	1490	60,719	42,556	1,915	122	0,02411	7,28277
5	3416	2364	2166	1934	1696	1468	60,262	38,778	1,900	127	0,02231	7,22801
6	3430	2460	2100	1874	1660	1450	57,866	36,111	1,825	127	0,02253	6,94060
7	3444	2574	2000	1800	1616	1430	54,802	31,667	1,728	129	0,02203	6,57311
8	3464	2700	1880	1708	1534	1366	51,355	28,556	1,620	128	0,02262	6,15967
9	3476	2776	1764	1600	1440	1288	49,157	26,444	1,550	128	0,02286	5,89603
10	3500	2912	1550	1410	1276	1146	45,053	22,444	1,421	128	0,02310	5,40380
11	3516	3010	1400	1266	1144	1038	41,794	20,111	1,318	126	0,02405	5,01287
12	3534	3122	1220	1114	1016	922	37,713	16,556	1,189	126	0,02432	4,52334
13	3544	3188	1110	1016	936	854	35,056	14,222	1,106	127	0,02418	4,20471
14	3560	3278	960	866	824	748	31,201	11,778	0,984	125	0,02528	3,74227
15	3568	3330	884	824	756	700	28,663	10,222	0,904	124	0,02599	3,43795
16	3590	3444	692	654	610	572	22,450	6,667	0,708	123	0,02763	2,69270

Quadro 60 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,9431 dag L⁻¹ na tubulação de ferro galvanizado com diâmetro de 84,01 mm e temperatura entre 26,5 e 27,5 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3496	2870	2860	2230	1454	640	46,486	123,333	2,330	97	0,03746	7,02851
2	3500	2910	2708	2114	1380	632	45,130	115,333	2,262	97	0,03717	6,82342
3	3512	2970	2504	1966	1294	600	43,255	105,778	2,168	98	0,03711	6,53997
4	3522	3032	2314	1820	1210	578	41,128	96,444	2,061	98	0,03742	6,21833
5	3526	3080	2158	1706	1142	560	39,238	88,778	1,966	97	0,03785	5,93258
6	3534	3112	2044	1610	1084	544	38,168	83,333	1,913	98	0,03755	5,77075
7	3536	3142	1986	1564	1054	536	36,880	80,556	1,848	97	0,03887	5,57602
8	3552	3196	1810	1434	980	514	35,056	72,000	1,757	98	0,03845	5,30031
9	3558	3256	1630	1306	900	492	32,288	63,222	1,618	96	0,03980	4,88179
10	3562	3286	1520	1220	856	480	30,867	57,778	1,547	97	0,03980	4,66692
11	3570	3326	1390	1132	804	466	29,022	51,333	1,454	97	0,04000	4,38804
12	3576	3364	1272	1058	760	458	27,052	45,222	1,356	97	0,04056	4,09019
13	3584	3386	1220	1000	722	448	26,144	42,889	1,310	96	0,04119	3,95283
14	3586	3412	1120	916	676	424	24,508	38,667	1,228	95	0,04225	3,70553
15	3590	3440	1000	848	626	418	22,755	32,333	1,140	98	0,04098	3,44050
16	3600	3492	858	724	560	398	19,309	25,556	0,968	94	0,04499	2,91936

Quadro 61 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,9431 dag L⁻¹ na tubulação de ferro galvanizado com diâmetro de 53,75 mm e temperatura de 27 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3608	3492	3152	2288	1532	750	20,011	133,444	2,452	129	0,02341	4,73063
2	3608	3494	3088	2244	1498	748	19,838	130,000	2,430	130	0,02320	4,68967
3	3608	3500	2972	2162	1442	726	19,309	124,778	2,366	129	0,02351	4,56459
4	3608	3504	2944	2142	1424	718	18,948	123,667	2,321	128	0,02419	4,47927
5	3608	3508	2844	2076	1384	700	18,580	119,111	2,276	128	0,02424	4,39228
6	3610	3512	2768	2030	1346	686	18,393	115,667	2,253	128	0,02401	4,34814
7	3612	3518	2672	1956	1302	668	18,014	111,333	2,207	128	0,02410	4,25847
8	3614	3522	2652	1946	1294	662	17,821	110,556	2,183	127	0,02445	4,21293
9	3614	3526	2566	1884	1250	644	17,429	106,778	2,135	127	0,02469	4,12032
10	3614	3532	2450	1806	1210	624	16,825	101,444	2,061	126	0,02517	3,97738
11	3616	3536	2338	1738	1150	606	16,618	96,222	2,036	128	0,02447	3,92858
12	3618	3544	2200	1622	1092	580	15,983	90,000	1,958	128	0,02475	3,77838
13	3618	3552	2004	1474	998	538	15,094	81,444	1,849	127	0,02511	3,56831
14	3620	3560	1886	1392	952	516	14,392	76,111	1,763	126	0,02581	3,40225
15	3622	3570	1642	1224	842	472	13,398	65,000	1,641	128	0,02543	3,16732
16	3624	3576	1546	1154	802	456	12,872	60,556	1,577	127	0,02567	3,04306

Quadro 62 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,9431 dag L⁻¹ na tubulação de aço zincado com diâmetro de 150,43 mm e temperatura entre 27,0 e 27,5 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3086	380	1344	1206	1066	956	96,650	21,556	1,511	111	0,02788	8,16087
2	3102	536	1302	1170	1046	930	94,117	20,667	1,471	111	0,02819	7,94696
3	3150	686	1256	1134	1014	906	92,227	19,444	1,441	112	0,02762	7,78741
4	3166	806	1234	1108	992	886	90,260	19,333	1,411	110	0,02867	7,62129
5	3192	958	1192	1070	964	864	87,817	18,222	1,373	111	0,02855	7,41505
6	3232	1134	1136	1024	920	830	85,102	17,000	1,330	112	0,02836	7,18580
7	3248	1246	1106	1000	900	808	83,132	16,556	1,299	111	0,02894	7,01947
8	3272	1400	1060	960	870	784	80,388	15,333	1,256	111	0,02867	6,78774
9	3306	1634	990	904	814	744	75,972	13,667	1,187	112	0,02861	6,41491
10	3334	1832	938	852	776	708	72,007	12,778	1,125	110	0,02978	6,08005
11	3366	2074	872	800	734	672	66,783	11,111	1,044	110	0,03010	5,63902
12	3414	2314	808	740	686	636	61,622	9,556	0,963	110	0,03040	5,20318
13	3434	2490	766	714	652	614	57,085	8,444	0,892	109	0,03131	4,82013
14	3466	2690	712	668	620	590	51,757	6,778	0,809	111	0,03057	4,37022
15	3500	2900	662	630	590	560	45,511	5,667	0,711	108	0,03306	3,84280
16	3524	3050	610	584	554	532	40,451	4,333	0,632	111	0,03200	3,41556

Quadro 63 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2 e P3 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,9431 dag L⁻¹ na tubulação de aço zincado com diâmetro de 125,25 mm e temperatura de 28,5 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3180	798	1500	1150	910	90,679	49,167	2,044	108	0,02891	9,19602
2	3200	910	1462	1124	862	88,911	50,000	2,005	105	0,03058	9,01669
3	3224	1100	1390	1076	860	85,628	44,167	1,930	108	0,02912	8,68373
4	3250	1258	1328	1040	834	82,924	41,167	1,870	109	0,02894	8,40957
5	3278	1436	1266	984	806	79,741	38,333	1,798	109	0,02915	8,08675
6	3306	1656	1180	950	770	75,471	34,167	1,702	110	0,02900	7,65370
7	3334	1820	1130	902	742	72,294	32,333	1,630	108	0,02991	7,33149
8	3360	2028	1052	840	704	67,809	29,000	1,529	108	0,03049	6,87672
9	3392	2226	966	788	672	63,444	24,500	1,430	111	0,02943	6,43396
10	3422	2410	902	750	634	59,106	22,333	1,333	108	0,03091	5,99404
11	3460	2622	824	700	604	53,785	18,333	1,213	110	0,03064	5,45445
12	3472	2774	766	654	574	49,087	16,000	1,107	108	0,03210	4,97802
13	3496	2886	722	626	554	45,888	14,000	1,035	108	0,03214	4,65365
14	3516	3006	676	590	536	41,959	11,667	0,946	109	0,03204	4,25514
15	3536	3148	630	558	506	36,598	10,333	0,825	102	0,03730	3,71146
16	3560	3300	564	510	480	29,959	7,000	0,675	103	0,03771	3,03820

Quadro 64 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,9431 dag L⁻¹ na tubulação de aço zincado com diâmetro de 99,83 mm e temperatura entre 26,0 e 26,5 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3306	1384	1770	1308	992	608	81,454	64,556	2,891	153	0,01513	10,36388
2	3220	1456	1726	1270	974	606	78,035	62,222	2,769	149	0,01589	9,92876
3	3242	1488	1714	1260	974	604	77,813	61,667	2,761	150	0,01584	9,90058
4	3256	1524	1700	1254	964	600	77,324	61,111	2,744	149	0,01590	9,83829
5	3258	1590	1660	1226	946	594	75,882	59,222	2,693	149	0,01600	9,65481
6	3266	1642	1634	1206	932	588	74,874	58,111	2,657	149	0,01612	9,52662
7	3276	1698	1606	1190	916	584	73,806	56,778	2,619	148	0,01621	9,39073
8	3290	1794	1542	1146	890	574	71,863	53,778	2,550	149	0,01620	9,14348
9	3314	1968	1442	1080	848	558	68,165	49,111	2,419	148	0,01644	8,67298
10	3336	2100	1356	1026	812	546	65,320	45,000	2,318	149	0,01640	8,31103
11	3372	2306	1242	954	760	526	60,662	39,778	2,153	148	0,01681	7,71835
12	3406	2522	1106	870	706	508	55,241	33,222	1,960	148	0,01693	7,02865
13	3438	2692	1004	802	658	486	50,747	28,778	1,801	147	0,01738	6,45677
14	3464	2894	882	720	602	470	44,358	22,889	1,574	146	0,01809	5,64395
15	3500	3102	752	634	544	450	37,066	16,778	1,315	144	0,01899	4,71615
16	3518	3256	652	568	500	430	30,074	12,333	1,067	138	0,02121	3,82645

Quadro 65 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,9431 dag L⁻¹ na tubulação de aço zincado com diâmetro de 73,54 mm e temperatura de 26,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3516	2984	2982	2342	1706	1098	42,854	104,667	2,803	138	0,01923	7,40183
2	3518	3002	2924	2288	1662	1074	42,205	102,778	2,760	138	0,01947	7,28968
3	3522	3024	2864	2240	1624	1048	41,462	100,889	2,712	136	0,01980	7,16140
4	3526	3050	2764	2152	1564	1014	40,536	97,222	2,651	136	0,01996	7,00143
5	3532	3074	2680	2090	1516	984	39,762	94,222	2,600	136	0,02011	6,86777
6	3536	3116	2464	1938	1420	926	38,077	85,444	2,490	137	0,01988	6,57670
7	3538	3136	2390	1888	1382	904	37,252	82,556	2,436	137	0,02007	6,43423
8	3544	3164	2258	1780	1312	864	36,218	77,444	2,369	137	0,01992	6,25569
9	3550	3194	2124	1674	1240	826	35,056	72,111	2,293	138	0,01980	6,05492
10	3554	3224	2014	1594	1184	786	33,752	68,222	2,207	137	0,02020	5,82962
11	3564	3274	1816	1442	1076	722	31,640	60,778	2,069	137	0,02048	5,46490
12	3568	3302	1706	1350	1002	686	30,303	56,667	1,982	136	0,02082	5,23388
13	3580	3356	1488	1190	892	618	27,807	48,333	1,819	136	0,02109	4,80294
14	3586	3390	1358	1090	826	578	26,012	43,333	1,701	135	0,02161	4,49274
15	3596	3440	1088	884	684	494	23,206	33,000	1,518	140	0,02067	4,00817
1	3612	3518	808	662	520	404	18,014	22,444	1,178	133	0,02333	3,11134

Quadro 66 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,9431 dag L⁻¹ na tubulação de PVC com diâmetro de 153,43 mm e temperatura de 26,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3114	310	1326	1276	1210	1140	98,385	10,333	1,478	160	0,01424	8,14490
2	3130	454	1268	1220	1158	1096	96,113	9,556	1,444	163	0,01380	7,95682
3	3164	628	1214	1142	1104	1040	93,565	9,667	1,406	158	0,01473	7,74589
4	3180	806	1160	1102	1048	986	90,527	9,667	1,360	153	0,01573	7,49440
5	3212	970	1120	1058	1010	954	87,974	9,222	1,322	152	0,01589	7,28307
6	3234	1132	1080	1026	986	930	85,183	8,333	1,280	156	0,01532	7,05201
7	3266	1342	1042	984	932	884	81,497	8,778	1,224	145	0,01763	6,74682
8	3292	1534	958	898	874	818	77,902	7,778	1,170	148	0,01709	6,44920
9	3320	1716	912	860	838	788	74,412	6,889	1,118	151	0,01659	6,16026
10	3340	1864	874	832	788	748	71,381	7,000	1,072	143	0,01832	5,90935
11	3382	2100	796	758	730	696	66,525	5,556	0,999	151	0,01674	5,50732
12	3410	2306	738	708	680	646	61,734	5,111	0,927	147	0,01789	5,11071
13	3446	2546	674	650	620	594	55,739	4,444	0,837	143	0,01908	4,61443
14	3480	2750	614	594	564	546	50,199	3,778	0,754	141	0,01999	4,15583
15	3506	2936	568	542	524	504	44,358	3,556	0,666	128	0,02410	3,67227
16	3536	3118	512	496	484	470	37,986	2,333	0,571	138	0,02157	3,14474

Quadro 67 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,9431 dag L⁻¹ na tubulação de PVC com diâmetro de 127,31 mm e temperatura de 27,5 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3140	526	1318	1146	984	810	94,993	28,222	2,073	147	0,01641	9,47757
2	3160	624	1292	1124	962	808	93,565	26,889	2,042	148	0,01611	9,33510
3	3182	800	1250	1086	936	780	90,679	26,111	1,979	146	0,01666	9,04722
4	3226	1006	1194	1046	904	758	87,542	24,222	1,910	147	0,01658	8,73416
5	3240	1164	1148	1004	874	736	84,655	22,889	1,847	147	0,01675	8,44614
6	3264	1340	1096	968	842	712	81,497	21,333	1,778	147	0,01685	8,13106
7	3994	1534	1040	922	804	686	92,152	19,667	2,011	173	0,01215	9,19416
8	3322	1704	994	882	776	664	74,736	18,333	1,631	146	0,01722	7,45648
9	3340	1882	948	846	744	646	70,944	16,778	1,548	145	0,01749	7,07821
10	3372	2096	990	802	708	622	66,369	20,444	1,448	122	0,02435	6,62170
11	3420	2350	820	740	664	580	60,776	13,333	1,326	141	0,01894	6,06368
12	3436	2496	792	714	642	570	56,964	12,333	1,243	138	0,01994	5,68340
13	3456	2616	756	690	624	560	53,849	10,889	1,175	139	0,01970	5,37259
14	3480	2768	700	640	592	534	49,577	9,222	1,082	140	0,01968	4,94635
15	3520	3030	616	570	532	504	41,128	6,222	0,897	144	0,01930	4,10339
16	3552	3200	562	526	500	472	34,859	5,000	0,761	137	0,02158	3,47789
17	3574	3326	506	492	464	444	29,259	3,444	0,638	141	0,02111	2,91924

Quadro 68 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,9431 dag L⁻¹ na tubulação de PVC com diâmetro de 103,22 mm e temperatura entre 28,0 e 28,5 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3232	1130	1584	1116	744	596	85,183	54,889	2,828	160	0,01390	10,48237
2	3250	1282	1520	1094	728	570	82,423	52,778	2,736	158	0,01428	10,14275
3	3276	1400	1470	1060	714	576	80,474	49,667	2,671	159	0,01409	9,90283
4	3294	1526	1412	1026	690	572	78,123	46,667	2,593	160	0,01405	9,61356
5	3310	1676	1350	974	684	556	75,104	44,111	2,493	158	0,01437	9,24207
6	3334	1804	1276	952	660	550	72,675	40,333	2,412	161	0,01403	8,94311
7	3346	1906	1248	920	654	540	70,505	39,333	2,340	158	0,01454	8,67610
8	3374	2064	1164	876	636	520	67,247	35,778	2,232	159	0,01454	8,27520
9	3396	2200	1112	842	616	512	64,254	33,333	2,133	158	0,01484	7,90694
10	3430	2410	1006	780	578	494	59,339	28,444	1,970	159	0,01485	7,30202
11	3456	2570	926	722	556	478	55,304	24,889	1,836	159	0,01496	6,80550
12	3474	2700	869	692	530	464	51,690	22,500	1,716	157	0,01548	6,36083
13	3492	2832	800	652	506	444	47,732	19,778	1,584	155	0,01595	5,87374
14	3524	3020	688	576	466	422	41,711	14,778	1,385	159	0,01561	5,13285
15	3560	3226	606	512	434	396	33,956	11,667	1,127	147	0,01860	4,17846
16	3590	3418	486	442	392	376	24,367	6,111	0,809	149	0,01892	2,99852

Quadro 69 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,9431 dag L⁻¹ na tubulação de PVC com diâmetro de 79,90 mm e temperatura entre 26,0 e 26,5 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3436	2460	2260	1784	1120	632	58,045	90,444	3,216	163	0,01371	9,22752
2	3440	2510	2186	1732	1086	616	56,660	87,222	3,139	162	0,01388	9,00745
3	3450	2586	2080	1650	1038	594	54,613	82,556	3,026	161	0,01414	8,68195
4	3462	2642	1980	1576	1006	580	53,204	77,778	2,948	162	0,01403	8,45799
5	3470	2694	1886	1516	966	566	51,757	73,333	2,867	163	0,01398	8,22794
6	3482	2760	1784	1424	914	542	49,924	69,000	2,766	162	0,01414	7,93650
7	3486	2824	1698	1350	880	528	47,804	65,000	2,648	160	0,01453	7,59957
8	3498	2886	1600	1270	836	510	45,964	60,556	2,546	160	0,01464	7,30695
9	3516	2990	1426	1156	770	480	42,612	52,556	2,361	160	0,01478	6,77412
10	3530	3068	1314	1058	720	460	39,935	47,444	2,212	159	0,01519	6,34865
11	3542	3158	1180	956	660	440	36,409	41,111	2,017	156	0,01584	5,78796
12	3554	3230	1008	870	612	416	33,443	32,889	1,853	162	0,01502	5,31658
13	3574	3324	896	752	548	394	29,377	27,889	1,628	156	0,01651	4,67014
14	3582	3370	808	686	516	384	27,052	23,556	1,499	157	0,01644	4,30059
15	3588	3398	774	662	500	378	25,610	22,000	1,419	154	0,01713	4,07134
16	3606	3498	590	520	426	354	19,309	13,111	1,070	154	0,01796	3,06953

Quadro 70 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 0,9431 dag L⁻¹ na tubulação de PVC com diâmetro de 52,61 mm e temperatura entre 26,5 e 27,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3600	3450	3088	2384	1496	792	22,755	127,556	2,908	159	0,01557	5,49394
2	3604	3456	3036	2342	1472	770	22,603	125,889	2,888	159	0,01558	5,45720
3	3604	3462	2952	2276	1420	758	22,140	121,889	2,829	159	0,01572	5,34543
4	3606	3468	2900	2236	1400	746	21,826	119,667	2,789	158	0,01588	5,26961
5	3606	3474	2806	2160	1354	720	21,346	115,889	2,728	157	0,01608	5,15378
6	3606	3480	2656	2054	1270	694	20,856	109,000	2,665	159	0,01584	5,03528
7	3610	3486	2610	2012	1250	682	20,689	107,111	2,644	159	0,01582	4,99516
8	3610	3490	2560	1976	1242	670	20,353	105,000	2,601	158	0,01602	4,91393
9	3610	3496	2474	1906	1200	654	19,838	101,111	2,535	157	0,01624	4,78951
10	3614	3506	2340	1816	1160	630	19,309	95,000	2,467	158	0,01611	4,66177
11	3614	3516	2200	1696	1076	598	18,393	89,000	2,350	156	0,01663	4,44070
12	3618	3534	1922	1496	962	544	17,029	76,556	2,176	157	0,01669	4,11129
13	3620	3546	1762	1372	894	508	15,983	69,667	2,042	155	0,01724	3,85882
14	3622	3552	1640	1284	836	484	15,545	64,222	1,986	158	0,01680	3,75308
15	3626	3568	1404	1100	730	430	14,150	54,111	1,808	157	0,01708	3,41627
16	3628	3586	1084	856	584	364	12,041	40,000	1,539	158	0,01744	2,90712

Quadro 71 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 1,6315 dag L⁻¹ na tubulação de ferro galvanizado com diâmetro de 155,48 mm e temperatura de 26,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3116	418	1314	1226	1156	1086	96,507	12,667	1,412	136	0,01938	3,08046
2	3148	600	1462	1376	1312	1240	93,786	12,333	1,372	134	0,01998	2,99360
3	3168	750	1564	1490	1418	1348	91,362	12,000	1,337	132	0,02049	2,91624
4	3194	900	1666	1602	1540	1474	88,989	10,667	1,302	138	0,01920	2,84048
5	3224	1100	1824	1756	1694	1638	85,628	10,333	1,253	135	0,02008	2,73320
6	3250	1292	1966	1900	1842	1790	82,214	9,778	1,203	133	0,02062	2,62422
7	3284	1518	2128	2068	2020	1966	78,079	9,000	1,142	132	0,02104	2,49224
8	3314	1684	2248	2192	2144	2100	75,012	8,222	1,097	133	0,02082	2,39435
9	3336	1850	2366	2324	2282	2240	71,622	7,000	1,048	139	0,01945	2,28615
10	3354	1986	2460	2420	2370	2338	68,720	6,778	1,005	136	0,02045	2,19350
11	3386	2152	2594	2558	2534	2484	65,267	6,111	0,955	136	0,02044	2,08330
12	3418	2360	2742	2710	2670	2642	60,434	5,556	0,884	133	0,02168	1,92902
13	3460	2620	2942	2910	2890	2866	53,849	4,222	0,788	137	0,02075	1,71883
14	3512	2950	3190	3166	3150	3136	44,046	3,000	0,644	135	0,02204	1,40593
15	3540	3090	3284	3270	3250	3238	39,413	2,556	0,577	132	0,02345	1,25806
16	3554	3210	3384	3368	3358	3350	34,460	1,889	0,504	136	0,02267	1,09995

Quadro 72 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 1,6315 dag L⁻¹ na tubulação de ferro galvanizado com diâmetro de 130,30 mm e temperatura de 26,5 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3154	604	1346	1176	1022	842	93,823	28,000	1,954	137	0,01874	3,57351
2	3176	754	1310	1146	998	824	91,438	27,000	1,905	136	0,01902	3,48266
3	3200	994	1274	1112	968	804	87,265	26,111	1,818	132	0,02020	3,32374
4	3226	1086	1216	1066	930	776	85,950	24,444	1,790	135	0,01949	3,27364
5	3250	1228	1166	1026	898	756	83,547	22,778	1,740	136	0,01922	3,18211
6	3274	1410	1116	984	862	734	80,216	21,222	1,671	136	0,01943	3,05525
7	3310	1620	1054	938	822	700	76,380	19,667	1,591	135	0,01986	2,90916
8	3336	1784	1010	888	792	676	73,195	18,556	1,525	134	0,02040	2,78786
9	3360	1957	956	850	754	656	69,593	16,667	1,450	135	0,02027	2,65066
10	3396	2164	894	806	720	626	65,214	14,889	1,359	134	0,02062	2,48388
11	3416	2324	836	756	682	600	61,397	13,111	1,279	135	0,02049	2,33849
12	3452	2560	766	704	640	570	55,491	10,889	1,156	135	0,02083	2,11352
13	3488	2780	710	654	600	544	49,437	9,222	1,030	132	0,02223	1,88296
14	3522	2970	638	598	554	510	43,652	7,111	0,909	134	0,02199	1,66262
15	3548	3158	580	554	516	488	36,692	5,111	0,764	134	0,02237	1,39752
16	3576	3210	530	506	484	460	35,545	3,889	0,740	151	0,01813	1,35383

Quadro 73 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 1,6315 dag L⁻¹ na tubulação de ferro galvanizado com diâmetro de 105,90 mm e temperatura entre 26,0 e 26,5 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3308	1564	1940	1554	1170	802	77,591	63,222	2,447	126	0,02194	3,63619
2	3320	1666	1890	1510	1140	784	75,562	61,444	2,383	125	0,02248	3,54112
3	3336	1774	1804	1448	1100	762	73,431	57,889	2,316	125	0,02243	3,44123
4	3346	1864	1742	1402	1066	742	71,526	55,556	2,256	124	0,02269	3,35195
5	3366	1986	1654	1334	1022	716	69,020	52,111	2,177	124	0,02285	3,23454
6	3388	2110	1556	1260	972	696	66,421	47,778	2,095	125	0,02262	3,11271
7	3404	2236	1476	1200	932	668	63,498	44,889	2,003	124	0,02326	2,97574
8	3420	2324	1414	1150	896	650	61,510	42,444	1,940	124	0,02344	2,88256
9	3440	2430	1318	1086	850	624	59,047	38,556	1,862	125	0,02310	2,76716
10	3458	2580	1220	1000	800	596	55,054	34,667	1,736	124	0,02389	2,58000
11	3480	2726	1100	920	734	562	51,018	29,889	1,609	124	0,02399	2,39088
12	3510	2892	990	834	680	530	46,188	25,556	1,457	122	0,02503	2,16455
13	3530	3034	866	738	614	500	41,379	20,333	1,305	124	0,02481	1,93916
14	3556	3170	758	664	566	468	36,503	16,111	1,151	124	0,02526	1,71067
15	3594	3370	618	556	492	436	27,807	10,111	0,877	121	0,02732	1,30316
16	3606	3444	562	520	466	422	23,648	7,778	0,746	119	0,02906	1,10823

Quadro 74 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 1,6315 dag L⁻¹ na tubulação de ferro galvanizado com diâmetro de 84,01 mm e temperatura entre 25,0 e 26,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3500	2874	2872	2298	1464	656	46,486	123,111	2,330	97	0,03739	2,74616
2	3510	2894	2842	2224	1442	646	46,114	122,000	2,311	97	0,03766	2,72413
3	3518	2954	2636	2070	1350	620	44,124	112,000	2,211	97	0,03776	2,60662
4	3522	2976	2570	2014	1322	612	43,414	108,778	2,176	97	0,03788	2,56469
5	3524	2996	2512	1960	1290	602	42,693	106,111	2,139	96	0,03821	2,52206
6	3526	3012	2464	1926	1258	596	42,123	103,778	2,111	96	0,03839	2,48840
7	3530	3044	2370	1856	1234	584	40,960	99,222	2,053	96	0,03882	2,41967
8	3538	3072	2276	1790	1196	572	40,108	94,667	2,010	96	0,03863	2,36936
9	3544	3116	2142	1684	1130	554	38,438	88,222	1,926	96	0,03919	2,27070
10	3548	3138	2090	1644	1106	550	37,621	85,556	1,885	95	0,03968	2,22244
11	3554	3166	1986	1554	1062	534	36,598	80,667	1,834	96	0,03953	2,16199
12	3562	3216	1800	1424	980	512	34,560	71,556	1,732	96	0,03932	2,04163
13	3570	3264	1690	1344	920	498	32,501	66,222	1,629	95	0,04115	1,91999
14	3576	3312	1522	1224	864	480	30,188	57,889	1,513	94	0,04169	1,78336
15	3590	3406	1190	970	710	440	25,203	41,667	1,263	94	0,04306	1,48884
16	3614	3520	822	700	550	400	18,014	23,444	0,903	92	0,04742	1,06415

Quadro 75 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 1,6315 dag L⁻¹ na tubulação de ferro galvanizado com diâmetro de 53,75 mm e temperatura entre 25,0 e 26,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3584	3490	3348	2408	1584	780	18,014	142,667	2,207	112	0,03088	1,66386
2	3600	3492	3336	2408	1580	780	19,309	142,000	2,366	121	0,02675	1,78346
3	3602	3494	3332	2406	1578	778	19,309	141,889	2,366	121	0,02673	1,78346
4	3604	3496	3128	2264	1486	740	19,309	132,667	2,366	125	0,02499	1,78346
5	3604	3502	3242	2342	1536	760	18,765	137,889	2,299	119	0,02751	1,73321
6	3606	3506	3110	2250	1478	736	18,580	131,889	2,276	121	0,02683	1,71614
7	3606	3510	3020	2186	1442	724	18,204	127,556	2,230	120	0,02703	1,68146
8	3608	3514	2914	2116	1400	702	18,014	122,889	2,207	122	0,02660	1,66386
9	3610	3520	2760	2004	1328	676	17,626	115,778	2,159	123	0,02617	1,62807
10	3612	3526	2634	1920	1274	652	17,230	110,111	2,111	123	0,02605	1,59148
11	3612	3532	2440	1848	1230	632	16,618	100,444	2,036	125	0,02555	1,53496
12	3614	3538	2388	1752	1170	608	16,197	98,889	1,984	123	0,02647	1,49609
13	3616	3546	2280	1670	1118	586	15,545	94,111	1,904	121	0,02735	1,43582
14	3618	3554	2128	1560	1056	562	14,864	87,000	1,821	121	0,02766	1,37291
15	3620	3562	1978	1452	984	534	14,150	80,222	1,734	120	0,02814	1,30697
16	3620	3570	1794	1316	900	406	13,138	77,111	1,610	114	0,03138	1,21349

Quadro 76 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 1,6315 dag L⁻¹ na tubulação de aço zincado com diâmetro de 150,43 mm e temperatura de 26,5 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3130	434	1348	1210	1076	960	96,471	21,556	1,508	111	0,02798	3,18269
2	3150	586	1314	1180	1048	938	94,080	20,889	1,470	110	0,02852	3,10380
3	3166	726	1274	1150	1022	914	91,777	20,000	1,434	110	0,02869	3,02782
4	3196	866	1236	1108	990	888	89,684	19,333	1,402	110	0,02904	2,95878
5	3226	1026	1190	1072	960	862	87,146	18,222	1,362	110	0,02899	2,87505
6	3250	1226	1126	1016	914	824	83,588	16,778	1,306	110	0,02901	2,75765
7	3286	1460	1060	966	864	784	79,394	15,333	1,241	110	0,02939	2,61930
8	3312	1648	1010	916	830	750	75,790	14,444	1,185	108	0,03038	2,50041
9	3342	1870	950	866	784	716	71,284	13,000	1,114	108	0,03091	2,35173
10	3376	2050	896	822	746	686	67,657	11,667	1,057	109	0,03080	2,23206
11	3404	2230	846	776	714	660	63,661	10,333	0,995	109	0,03081	2,10024
12	3440	2466	780	728	670	622	57,985	8,778	0,906	109	0,03154	1,91300
13	3474	2700	726	682	630	590	51,690	7,556	0,808	105	0,03417	1,70532
14	3512	2932	656	632	584	558	44,746	5,444	0,699	108	0,03286	1,47621
15	3534	3074	622	592	562	542	39,849	4,444	0,623	108	0,03382	1,31466
16	3556	3200	578	556	530	508	35,056	3,889	0,548	102	0,03823	1,15654

Quadro 77 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2 e P3 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 1,6315 dag L⁻¹ na tubulação de aço zincado com diâmetro de 125,25 mm e temperatura entre 25,0 e 26,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3190	840	1506	1158	920	90,068	48,833	2,031	108	0,02910	3,56882
2	3206	968	1462	1132	900	87,896	46,833	1,982	108	0,02931	3,48274
3	3230	1100	1416	1096	876	85,749	45,000	1,933	108	0,02959	3,39767
4	3256	1248	1360	1060	852	83,257	42,333	1,877	108	0,02953	3,29893
5	3270	1386	1310	1024	826	80,645	40,333	1,818	107	0,02998	3,19545
6	3290	1530	1254	984	804	77,946	37,500	1,757	108	0,02984	3,08850
7	3314	1676	1206	952	776	75,196	35,833	1,695	107	0,03064	2,97953
8	3332	1806	1146	916	752	72,580	32,833	1,636	108	0,03013	2,87586
9	3362	2000	1084	872	722	68,569	30,167	1,546	107	0,03102	2,71694
10	3390	2166	1020	834	696	65,002	27,000	1,465	107	0,03089	2,57562
11	3414	2302	970	794	676	61,957	24,500	1,397	108	0,03086	2,45496
12	3434	2442	920	770	650	58,519	22,500	1,319	107	0,03177	2,31871
13	3464	2628	854	730	624	53,721	19,167	1,211	107	0,03211	2,12860
14	3490	2808	790	676	594	48,521	16,333	1,094	105	0,03354	1,92258
15	3536	3068	686	610	554	40,194	11,000	0,906	108	0,03292	1,59263
16	3574	3270	604	550	514	32,395	7,500	0,730	107	0,03455	1,28359

Quadro 78 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 1,6315 dag L⁻¹ na tubulação de aço zincado com diâmetro de 99,83 mm e temperatura de 27,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3280	1430	1780	1306	1000	668	79,914	61,778	2,836	153	0,01504	3,97277
2	3296	1518	1732	1270	980	604	78,344	62,667	2,780	149	0,01588	3,89470
3	3316	1636	1660	1228	948	592	76,154	59,333	2,703	149	0,01591	3,78584
4	3330	1754	1584	1178	914	576	73,759	56,000	2,618	149	0,01601	3,66679
5	3344	1856	1534	1142	890	572	71,670	53,444	2,543	149	0,01618	3,56295
6	3356	1946	1474	1110	864	564	69,767	50,556	2,476	149	0,01615	3,46831
7	3376	2064	1406	1164	836	552	67,298	47,444	2,388	149	0,01629	3,34561
8	3402	2200	1326	1008	804	540	64,415	43,667	2,286	149	0,01637	3,20229
9	3426	2360	1224	946	760	526	60,662	38,778	2,153	150	0,01639	3,01569
10	3444	2470	1168	912	730	520	57,985	36,000	2,058	149	0,01665	2,88262
11	3460	2590	1100	866	700	510	54,802	32,778	1,945	148	0,01697	2,72438
12	3476	2700	1030	820	668	496	51,757	29,667	1,837	148	0,01722	2,57299
13	3504	2884	914	740	624	474	46,263	24,444	1,642	147	0,01776	2,29987
14	3530	3030	816	676	580	460	41,545	19,778	1,474	148	0,01782	2,06535
15	3570	3248	670	586	518	434	33,340	13,111	1,183	148	0,01834	1,65743
16	3596	3430	556	496	456	410	23,938	8,111	0,850	138	0,02201	1,19004

Quadro 79 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 1,6315 dag L⁻¹ na tubulação de aço zincado com diâmetro de 73,54 mm e temperatura de 26,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3534	3000	2878	2266	1662	1064	42,935	100,778	2,808	141	0,01844	2,89745
2	3536	3024	2816	2216	1626	1044	42,041	98,444	2,749	140	0,01879	2,83714
3	3538	3056	2702	2126	1564	1006	40,791	94,222	2,668	139	0,01910	2,75276
4	3544	3072	2622	2074	1530	986	40,365	90,889	2,640	141	0,01882	2,72406
5	3544	3090	2596	2036	1500	970	39,588	90,333	2,589	138	0,01945	2,67161
6	3550	3124	2436	1924	1414	926	38,348	83,889	2,508	139	0,01925	2,58792
7	3556	3164	2280	1796	1324	878	36,786	77,889	2,406	139	0,01942	2,48249
8	3564	3206	2100	1666	1238	822	35,154	71,000	2,299	140	0,01938	2,37239
9	3568	3234	1976	1564	1160	776	33,956	66,667	2,221	140	0,01951	2,29149
10	3574	3284	1796	1422	1066	720	31,640	59,778	2,069	138	0,02015	2,13523
11	3582	3324	1660	1320	996	664	29,843	55,333	1,952	136	0,02096	2,01398
12	3584	3336	1590	1246	950	650	29,259	52,222	1,913	137	0,02058	1,97456
13	3590	3372	1444	1148	872	644	27,433	44,444	1,794	141	0,01992	1,85129
14	3594	3396	1356	1100	834	580	26,144	43,111	1,710	136	0,02128	1,76432
15	3606	3446	1120	916	712	510	23,502	33,889	1,537	139	0,02070	1,58601
16	3618	3520	824	686	550	416	18,393	22,667	1,203	136	0,02260	1,24125

Quadro 80 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 1,6315 dag L⁻¹ na tubulação de PVC com diâmetro de 153,43 mm e temperatura de 26,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3116	418	1352	1304	1222	1154	96,507	11,000	1,450	152	0,01575	3,12162
2	3148	600	1290	1238	1162	1100	93,786	10,556	1,409	151	0,01600	3,03360
3	3168	750	1238	1186	1124	1064	91,362	9,667	1,373	154	0,01544	2,95520
4	3194	900	1200	1126	1080	1010	88,989	10,556	1,337	143	0,01778	2,87843
5	3224	1100	1126	1084	1030	970	85,628	8,667	1,286	153	0,01576	2,76972
6	3250	1282	1076	1040	986	936	82,423	7,778	1,238	156	0,01527	2,66607
7	3284	1518	1016	984	930	886	78,079	7,222	1,173	154	0,01580	2,52554
8	3314	1684	984	948	900	850	75,012	7,444	1,127	146	0,01764	2,42634
9	3336	1850	936	890	858	814	71,622	6,778	1,076	146	0,01762	2,31669
10	3354	1986	888	862	830	778	68,720	6,111	1,032	149	0,01726	2,22281
11	3386	2152	840	818	786	746	65,267	5,222	0,981	154	0,01635	2,11114
12	3418	2360	790	758	720	688	60,434	5,667	0,908	136	0,02069	1,95480
13	3460	2620	686	664	642	616	53,849	3,889	0,809	149	0,01789	1,74180
14	3512	2950	574	560	546	530	44,046	2,444	0,662	156	0,01680	1,42471
15	3540	3090	534	526	508	494	39,413	2,222	0,592	147	0,01908	1,27487
16	3554	3210	496	486	474	460	34,460	2,000	0,518	136	0,02246	1,11465

Quadro 81 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 1,6315 dag L⁻¹ na tubulação de PVC com diâmetro de 127,31 mm e temperatura de 27,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3158	614	1350	1178	1014	836	93,712	28,556	2,045	144	0,01706	3,65313
2	3182	756	1310	1146	986	820	91,513	27,222	1,997	144	0,01705	3,56740
3	3200	906	1268	1112	958	800	88,989	26,000	1,942	144	0,01722	3,46899
4	3226	1058	1224	1072	930	776	86,510	24,889	1,888	143	0,01744	3,37238
5	3242	1194	1184	1038	900	756	84,082	23,778	1,835	143	0,01764	3,27772
6	3270	1344	1140	1000	870	736	81,539	22,444	1,779	143	0,01771	3,17859
7	3294	1520	1088	958	840	714	78,255	20,778	1,708	143	0,01780	3,05059
8	3316	1680	1044	938	814	690	75,150	19,667	1,640	141	0,01827	2,92953
9	3360	1902	976	870	770	662	70,944	17,444	1,548	142	0,01818	2,76557
10	3386	2120	914	818	730	630	66,108	15,778	1,443	140	0,01894	2,57705
11	3412	2274	866	776	696	616	62,677	13,889	1,368	142	0,01855	2,44330
12	3438	2448	816	740	664	588	58,460	12,667	1,276	139	0,01944	2,27889
13	3470	2676	748	686	624	560	52,354	10,444	1,142	138	0,01999	2,04088
14	3516	2950	662	612	564	522	44,202	7,778	0,965	137	0,02088	1,72312
15	3548	3142	604	566	534	496	37,437	6,000	0,817	134	0,02246	1,45938
16	3588	3356	534	510	484	464	28,300	3,889	0,618	128	0,02547	1,10319

Quadro 82 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 1,6315 dag L⁻¹ na tubulação de PVC com diâmetro de 103,22 mm e temperatura de 26,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3244	1176	1576	1122	748	590	84,492	54,778	2,805	159	0,01410	4,06238
2	3254	1258	1540	1100	726	584	83,008	53,111	2,755	158	0,01417	3,99103
3	3276	1374	1478	1064	714	570	81,029	50,444	2,690	159	0,01412	3,89592
4	3294	1500	1428	1030	696	556	78,695	48,444	2,612	158	0,01438	3,78370
5	3308	1600	1376	1000	678	542	76,786	46,333	2,549	158	0,01444	3,69189
6	3330	1740	1308	956	654	528	74,086	43,333	2,459	158	0,01451	3,56208
7	3342	1884	1250	916	628	512	70,944	41,000	2,355	156	0,01497	3,41102
8	3370	1976	1192	880	610	498	69,370	38,556	2,303	157	0,01472	3,33531
9	3394	2122	1122	836	586	480	66,265	35,667	2,200	157	0,01493	3,18602
10	3414	2276	1050	790	562	468	62,677	32,333	2,081	156	0,01513	3,01353
11	3436	2430	980	746	538	456	58,930	29,111	1,956	156	0,01541	2,83337
12	3464	2616	894	694	518	438	54,105	25,333	1,796	154	0,01590	2,60138
13	3492	2784	814	640	496	432	49,437	21,222	1,641	155	0,01596	2,37696
14	3520	2956	732	592	474	420	44,124	17,333	1,465	154	0,01636	2,12151
15	3550	3130	656	544	450	406	38,077	13,889	1,264	150	0,01761	1,83075
16	3590	3354	536	474	414	386	28,543	8,333	0,947	148	0,01880	1,37234
17	3600	3420	500	450	400	378	24,927	6,778	0,827	145	0,02005	1,19851

Quadro 83 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 1,6315 dag L⁻¹ na tubulação de PVC com diâmetro de 79,90 mm e temperatura entre 25,0 e 26,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3444	2486	2274	1802	1134	646	57,507	90,444	3,186	161	0,01397	3,57195
2	3450	2544	2200	1732	1096	630	55,924	87,222	3,098	160	0,01424	3,47365
3	3460	2606	2106	1664	1056	652	54,296	80,778	3,008	162	0,01400	3,37249
4	3470	2662	2016	1594	1022	598	52,813	78,778	2,926	160	0,01443	3,28041
5	3478	2720	1916	1514	978	574	51,153	74,556	2,834	159	0,01455	3,17729
6	3484	2758	1870	1480	956	564	50,062	72,556	2,773	158	0,01479	3,10950
7	3496	2836	1742	1386	910	542	47,732	66,667	2,644	158	0,01495	2,96479
8	3508	2900	1640	1308	860	524	45,813	62,000	2,538	158	0,01509	2,84560
9	3520	2964	1540	1224	816	504	43,810	57,556	2,427	157	0,01532	2,72119
10	3530	3034	1416	1126	762	484	41,379	51,778	2,292	157	0,01545	2,57018
11	3542	3100	1310	1050	714	462	39,062	47,111	2,164	156	0,01577	2,42624
12	3554	3182	1160	948	658	436	35,835	40,222	1,985	156	0,01600	2,22584
13	3570	3272	1012	828	594	414	32,073	33,222	1,777	155	0,01650	1,99219
14	3584	3352	878	728	542	394	28,300	26,889	1,568	153	0,01715	1,75779
15	3604	3450	696	592	464	366	23,057	18,333	1,277	153	0,01761	1,43213
16	3622	3544	528	466	392	344	16,409	10,222	0,909	149	0,01939	1,01922

Quadro 84 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 1,6315 dag L⁻¹ na tubulação de PVC com diâmetro de 52,61 mm e temperatura de 26,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3604	3454	3064	2352	1484	786	22,755	126,556	2,908	160	0,01545	2,14658
2	3604	3460	3000	2316	1460	764	22,296	124,222	2,849	158	0,01580	2,10321
3	3606	3466	2890	2236	1404	744	21,984	119,222	2,809	160	0,01559	2,07379
4	3608	3470	2884	2026	1392	744	21,826	118,889	2,789	159	0,01578	2,05892
5	3608	3476	2810	2170	1360	724	21,346	115,889	2,728	157	0,01608	2,01367
6	3610	3482	2726	2108	1328	706	21,020	112,222	2,686	158	0,01606	1,98292
7	3610	3488	2620	2020	1262	682	20,522	107,667	2,622	157	0,01616	1,93589
8	3614	3498	2454	1904	1196	650	20,011	100,222	2,557	159	0,01582	1,88769
9	3616	3508	2362	1820	1150	626	19,309	96,444	2,467	157	0,01635	1,82143
10	3616	3516	2220	1716	1092	600	18,580	90,000	2,374	157	0,01648	1,75267
11	3618	3526	2196	1622	1038	580	17,821	89,778	2,277	151	0,01787	1,68110
12	3620	3538	1890	1468	940	524	16,825	75,889	2,150	156	0,01695	1,58711
13	3624	3548	1750	1356	882	494	16,197	69,778	2,070	157	0,01681	1,52794
14	3626	3560	1606	1256	822	466	15,094	63,333	1,929	154	0,01757	1,42388
15	3628	3572	1430	1104	726	434	13,904	55,333	1,777	153	0,01809	1,31158
16	3630	3584	1234	970	636	380	12,601	47,444	1,610	150	0,01889	1,18872

Quadro 85 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 2,8941 dag L⁻¹ na tubulação de ferro galvanizado com diâmetro de 155,48 mm e temperatura de 25,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3112	414	1326	1238	1166	1088	96,507	13,222	1,412	133	0,02023	8,23234
2	3140	570	1426	1344	1274	1202	94,190	12,444	1,378	134	0,01999	8,03468
3	3166	722	1544	1470	1392	1330	91,852	11,889	1,344	134	0,02008	7,83525
4	3186	886	1664	1592	1520	1460	89,105	11,333	1,304	133	0,02034	7,60092
5	3220	1066	1800	1722	1660	1604	86,230	10,889	1,262	132	0,02087	7,35572
6	3244	1220	1912	1842	1790	1730	83,588	10,111	1,223	133	0,02062	7,13030
7	3264	1364	2020	1950	1888	1840	80,987	10,000	1,185	130	0,02173	6,90843
8	3290	1544	2150	2080	2030	1982	77,635	9,333	1,136	129	0,02207	6,62254
9	3314	1670	2246	2190	2136	2100	75,334	8,111	1,102	135	0,02037	6,42618
10	3336	1836	2362	2310	2266	2228	71,959	7,444	1,053	135	0,02049	6,13830
11	3360	2016	2490	2446	2400	2362	68,114	7,111	0,997	131	0,02184	5,81034
12	3392	2180	2620	2576	2538	2506	64,683	6,333	0,946	132	0,02157	5,51764
13	3428	2406	2774	2728	2702	2674	59,397	5,556	0,869	131	0,02244	5,06673
14	3464	2636	2944	2910	2886	2864	53,463	4,444	0,782	133	0,02216	4,56055
15	3500	2866	3120	3092	3066	3052	46,782	3,778	0,684	127	0,02460	3,99068
16	3546	3138	3344	3326	3316	3306	37,529	2,111	0,549	139	0,02136	3,20134

Quadro 86 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 2,8941 dag L⁻¹ na tubulação de ferro galvanizado com diâmetro de 130,30 mm e temperatura entre 26,5 e 27,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3164	624	1354	1184	1026	842	93,639	28,444	1,951	136	0,01911	9,53124
2	3180	730	1326	1160	1008	828	91,965	27,667	1,916	135	0,01927	9,36085
3	3200	848	1294	1134	982	810	90,107	26,889	1,877	135	0,01951	9,17173
4	3220	984	1250	1098	954	790	87,856	25,556	1,830	135	0,01950	8,94269
5	3244	1156	1206	1056	920	766	84,899	24,444	1,769	133	0,01998	8,64167
6	3270	1304	1160	1018	888	746	82,381	23,000	1,716	134	0,01997	8,38541
7	3284	1410	1130	986	866	728	80,431	22,333	1,675	133	0,02034	8,18686
8	3322	1656	1056	932	820	696	75,836	20,000	1,580	133	0,02049	7,71916
9	3336	1830	1000	886	780	670	72,103	18,333	1,502	132	0,02078	7,33913
10	3386	2074	930	832	736	636	67,298	16,333	1,402	132	0,02125	6,85014
11	3430	2360	838	756	676	594	60,776	13,556	1,266	131	0,02162	6,18620
12	3460	2564	778	706	638	572	55,615	11,444	1,159	132	0,02180	5,66091
13	3484	2700	734	670	614	550	52,023	10,222	1,084	131	0,02225	5,29530
14	3524	2950	660	606	566	514	44,514	8,111	0,927	127	0,02412	4,53094
15	3556	3146	596	558	524	486	37,621	6,111	0,784	125	0,02544	3,82934
16	3584	3316	534	506	486	462	30,416	4,000	0,634	127	0,02547	3,09599

Quadro 87 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 2,8941 dag L⁻¹ na tubulação de ferro galvanizado com diâmetro de 105,90 mm e temperatura de 26,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3294	1520	1902	1474	1062	668	78,255	68,556	2,468	122	0,02339	9,80071
2	3314	1626	1836	1430	1034	654	76,335	65,667	2,407	121	0,02354	9,56020
3	3334	1776	1730	1356	986	636	73,337	60,778	2,313	122	0,02361	9,18469
4	3340	1812	1706	1338	974	632	72,627	59,667	2,290	122	0,02363	9,09583
5	3354	1940	1616	1274	932	616	69,865	55,556	2,203	122	0,02378	8,74995
6	3376	2034	1556	1226	908	604	68,063	52,889	2,146	122	0,02385	8,52427
7	3384	2114	1496	1188	882	596	66,212	50,000	2,088	122	0,02383	8,29245
8	3410	2250	1406	1122	840	574	63,280	46,222	1,996	122	0,02411	7,92519
9	3436	2412	1292	1038	788	550	59,455	41,222	1,875	122	0,02436	7,44613
10	3448	2500	1232	1000	760	542	57,206	38,333	1,804	122	0,02447	7,16449
11	3470	2630	1148	936	724	524	53,849	34,667	1,698	121	0,02498	6,74405
12	3490	2754	1054	868	684	506	50,405	30,444	1,590	121	0,02503	6,31277
13	3512	2936	930	774	624	482	44,591	24,889	1,406	120	0,02615	5,58460
14	3548	3104	804	690	570	462	39,150	19,000	1,235	122	0,02590	4,90312
15	3586	3326	660	584	510	438	29,959	12,333	0,945	118	0,02871	3,75204
16	3604	3408	590	538	484	426	26,012	9,111	0,820	120	0,02813	3,25768

Quadro 88 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 2,8941 dag L⁻¹ na tubulação de ferro galvanizado com diâmetro de 84,01 mm e temperatura entre 26,0 e 27,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3528	2934	2894	2262	1514	752	45,283	119,000	2,269	96	0,03809	7,14890
2	3530	2946	2850	2228	1492	748	44,900	116,778	2,250	96	0,03802	7,08847
3	3534	2956	2786	2208	1486	734	44,669	114,000	2,238	97	0,03750	7,05196
4	3536	2972	2752	2170	1460	734	44,124	112,111	2,211	97	0,03779	6,96603
5	3544	3000	2660	2096	1420	720	43,335	107,778	2,172	97	0,03767	6,84140
6	3550	3040	2544	2000	1354	696	41,959	102,667	2,103	96	0,03828	6,62416
7	3560	3104	2322	1830	1254	660	39,675	92,333	1,988	97	0,03850	6,26366
8	3566	3152	2150	1714	1186	634	37,804	84,222	1,894	97	0,03868	5,96824
9	3574	3194	2030	1620	1120	612	36,218	78,778	1,815	96	0,03942	5,71791
10	3582	3236	1896	1512	1060	590	34,560	72,556	1,732	96	0,03987	5,45612
11	3590	3268	1810	1446	1012	564	33,340	69,222	1,671	95	0,04087	5,26349
12	3596	3316	1620	1296	924	540	31,090	60,000	1,558	95	0,04074	4,90823
13	3604	3354	1488	1206	866	520	29,377	53,778	1,472	96	0,04090	4,63784
14	3614	3406	1326	1084	788	490	26,796	46,444	1,343	94	0,04246	4,23036
15	3624	3446	1166	962	718	460	24,788	39,222	1,242	96	0,04190	3,91341
16	3628	3504	986	826	630	430	20,689	30,889	1,037	91	0,04736	3,26630

Quadro 89 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 2,8941 dag L⁻¹ na tubulação de ferro galvanizado com diâmetro de 53,75 mm e temperatura entre 29,0 e 29,5 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3634	3512	3332	2410	1590	794	20,522	141,000	2,514	129	0,02352	5,06570
2	3634	3522	3094	2270	1482	756	19,663	129,889	2,409	129	0,02360	4,85366
3	3636	3524	3032	2222	1462	744	19,663	127,111	2,409	130	0,02309	4,85366
4	3636	3528	2936	2156	1414	726	19,309	122,778	2,366	130	0,02313	4,76620
5	3638	3536	2840	2086	1374	710	18,765	118,333	2,299	129	0,02360	4,63191
6	3638	3542	2724	2012	1322	690	18,204	113,000	2,230	129	0,02395	4,49361
7	3640	3552	2542	1854	1234	654	17,429	104,889	2,135	128	0,02425	4,30231
8	3642	3560	2386	1762	1172	626	16,825	97,778	2,061	129	0,02426	4,15305
9	3638	3564	2300	1706	1144	604	15,983	94,222	1,958	125	0,02591	3,94526
10	3638	3570	2128	1586	1062	576	15,321	86,222	1,877	125	0,02580	3,78194
11	3646	3576	2050	1534	1026	556	15,545	83,000	1,904	130	0,02413	3,83715
12	3646	3580	1990	1486	1000	546	15,094	80,222	1,849	128	0,02473	3,72591
13	3646	3586	1800	1350	906	506	14,392	71,889	1,763	130	0,02438	3,55251
14	3648	3590	1770	1330	904	504	14,150	70,333	1,734	129	0,02467	3,49280
15	3648	3594	1682	1270	872	490	13,653	66,222	1,673	129	0,02495	3,37021
16	3648	3600	1672	1248	858	484	12,872	66,000	1,577	122	0,02798	3,17746

Quadro 90 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 2,8941 dag L⁻¹ na tubulação de aço zincado com diâmetro de 150,43 mm e temperatura entre 25,0 e 26,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3114	476	1364	1218	1080	964	95,428	22,222	1,491	108	0,02948	8,41356
2	3136	592	1330	1196	1060	950	93,712	21,111	1,465	109	0,02905	8,26230
3	3160	740	1294	1164	1040	926	91,400	20,444	1,429	108	0,02957	8,05842
4	3186	898	1252	1126	1008	902	88,872	19,444	1,389	108	0,02975	7,83557
5	3220	1100	1198	1084	966	870	85,547	18,222	1,337	108	0,03008	7,54241
6	3246	1250	1162	1048	948	846	83,008	17,556	1,297	107	0,03078	7,31851
7	3268	1408	1122	1016	916	826	80,130	16,444	1,252	107	0,03094	7,06478
8	3296	1564	1060	968	878	796	77,324	14,667	1,209	110	0,02964	6,81736
9	3324	1770	1000	914	826	762	73,243	13,222	1,145	110	0,02978	6,45755
10	3360	1956	946	870	790	732	69,618	11,889	1,088	111	0,02964	6,13799
11	3392	2180	880	814	744	700	64,683	10,000	1,011	113	0,02888	5,70287
12	3420	2370	826	764	704	676	60,205	8,333	0,941	116	0,02778	5,30807
13	3448	2556	770	722	666	640	55,491	7,222	0,867	115	0,02834	4,89243
14	3474	2700	732	686	638	616	51,690	6,444	0,808	114	0,02914	4,55735
15	3508	2914	666	630	590	574	45,283	5,111	0,708	114	0,03012	3,99241
16	3546	3150	604	580	554	536	36,973	3,778	0,578	109	0,03339	3,25979

Quadro 91 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2 e P3 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 2,8941 dag L⁻¹ na tubulação de aço zincado com diâmetro de 125,25 mm e temperatura entre 25,0 e 26,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3194	850	1512	1160	926	89,953	48,833	2,028	108	0,02918	9,52528
2	3216	1004	1446	1124	900	87,384	45,500	1,970	109	0,02881	9,25319
3	3236	1134	1400	1088	874	85,183	43,833	1,920	108	0,02921	9,02018
4	3256	1286	1342	1088	874	82,465	39,000	1,859	112	0,02773	8,73237
5	3276	1410	1296	1016	826	80,259	39,167	1,809	109	0,02940	8,49875
6	3292	1512	1262	1000	806	78,388	38,000	1,767	108	0,02990	8,30059
7	3318	1690	1192	944	776	74,966	34,667	1,690	108	0,02982	7,93828
8	3338	1846	1140	906	746	71,767	32,833	1,618	107	0,03082	7,59947
9	3372	2026	1064	858	714	68,165	29,167	1,537	108	0,03035	7,21808
10	3394	2176	1018	826	692	64,843	27,167	1,462	107	0,03124	6,86630
11	3420	2330	962	786	666	61,341	24,667	1,383	106	0,03169	6,49550
12	3446	2476	900	750	642	57,866	21,500	1,305	108	0,03104	6,12752
13	3468	2646	842	708	616	53,269	18,833	1,201	107	0,03209	5,64073
14	3498	2836	772	664	586	47,804	15,500	1,078	107	0,03279	5,06207
15	3540	3066	686	608	550	40,451	11,333	0,912	107	0,03349	4,28340
16	3578	3310	590	538	510	30,416	6,667	0,686	107	0,03484	3,22082

Quadro 92 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 2,8941 dag L⁻¹ na tubulação de aço zincado com diâmetro de 99,83 mm e temperatura entre 27,0 e 27,5 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3310	1536	1874	1384	1056	644	78,255	68,333	2,777	142	0,01735	10,39663
2	3318	1606	1834	1346	1038	638	76,876	66,444	2,728	142	0,01749	10,21334
3	3336	1758	1744	1294	1000	622	73,806	62,333	2,619	141	0,01780	9,80549
4	3358	1880	1660	1240	964	618	71,429	57,889	2,535	142	0,01765	9,48971
5	3364	1934	1632	1220	948	606	70,260	57,000	2,493	141	0,01796	9,33434
6	3376	2000	1592	1200	934	606	68,920	54,778	2,446	141	0,01793	9,15640
7	3396	2100	1528	1154	908	600	66,887	51,556	2,374	142	0,01792	8,88624
8	3410	2198	1462	1106	876	594	64,683	48,222	2,295	142	0,01792	8,59344
9	3430	2320	1380	1056	850	572	61,901	44,889	2,197	141	0,01822	8,22389
10	3456	2486	1274	1000	798	570	57,866	39,111	2,054	142	0,01817	7,68779
11	3476	2634	1176	930	756	554	53,913	34,556	1,913	142	0,01849	7,16262
12	3506	2832	1046	858	704	532	48,236	28,556	1,712	140	0,01909	6,40834
13	3530	2960	960	788	666	514	44,358	24,778	1,574	139	0,01958	5,89323
14	3550	3072	874	738	624	500	40,621	20,778	1,442	140	0,01958	5,39672
15	3570	3214	780	674	582	484	35,056	16,444	1,244	138	0,02081	4,65737
16	3602	3366	666	592	528	464	28,543	11,222	1,013	138	0,02142	3,79203

Quadro 92 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 2,8941 dag L⁻¹ na tubulação de aço zincado com diâmetro de 73,54 mm e temperatura de 28,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3544	3014	2962	2324	1696	1088	42,774	104,111	2,797	138	0,01920	7,71420
2	3550	3044	2862	2254	1646	1058	41,794	100,222	2,733	138	0,01936	7,53752
3	3554	3056	2814	2214	1616	1044	41,462	98,333	2,712	138	0,01930	7,47770
4	3560	3096	2672	2118	1548	998	40,022	93,000	2,617	138	0,01959	7,21792
5	3564	3136	2488	1954	1444	940	38,438	86,000	2,514	138	0,01964	6,93226
6	3570	3162	2398	1888	1392	910	37,529	82,667	2,454	138	0,01980	6,76836
7	3574	3192	2272	1794	1332	872	36,314	77,778	2,375	138	0,01990	6,54915
8	3580	3230	2132	1686	1246	826	34,759	72,556	2,273	137	0,02026	6,26884
9	3590	3280	1910	1526	1136	762	32,713	63,778	2,139	138	0,02011	5,89976
10	3594	3310	1812	1448	1074	728	31,311	60,222	2,048	136	0,02072	5,64693
11	3600	3340	1684	1346	1004	686	29,959	55,444	1,959	136	0,02084	5,40306
12	3606	3376	1546	1238	926	646	28,177	50,000	1,843	135	0,02125	5,08179
13	3606	3428	1286	1036	794	566	24,788	40,000	1,621	134	0,02196	4,47057
14	3626	3492	1054	856	672	488	21,508	31,444	1,407	133	0,02293	3,87887
15	3632	3522	906	756	600	452	19,487	25,222	1,274	136	0,02241	3,51439
16	3636	3542	852	706	572	428	18,014	23,556	1,178	130	0,02449	3,24876

Quadro 94 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 2,8941 dag L⁻¹ na tubulação de PVC com diâmetro de 153,43 mm e temperatura de 25,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3112	414	1344	1272	1208	1136	96,507	11,556	1,450	148	0,01655	8,34233
2	3140	570	1306	1236	1172	1104	94,190	11,222	1,415	147	0,01687	8,14204
3	3166	722	1256	1190	1126	1064	91,852	10,667	1,380	147	0,01686	7,93994
4	3186	886	1204	1146	1086	1026	89,105	9,889	1,339	149	0,01661	7,70248
5	3220	1066	1160	1106	1044	994	86,230	9,222	1,296	149	0,01654	7,45400
6	3244	1220	1110	1066	1016	960	83,588	8,333	1,256	153	0,01591	7,22556
7	3264	1364	1070	1026	964	924	80,987	8,111	1,217	150	0,01649	7,00073
8	3290	1544	1010	974	920	880	77,635	7,222	1,166	153	0,01598	6,71102
9	3314	1670	974	936	876	846	75,334	7,111	1,132	150	0,01671	6,51205
10	3336	1836	924	892	844	810	71,959	6,333	1,081	153	0,01631	6,22031
11	3360	2016	872	842	786	762	68,114	6,111	1,023	147	0,01757	5,88798
12	3392	2180	816	794	746	724	64,683	5,111	0,972	154	0,01629	5,59136
13	3428	2406	752	728	686	668	59,397	4,667	0,892	149	0,01764	5,13443
14	3464	2636	686	664	646	614	53,463	4,000	0,803	145	0,01866	4,62149
15	3500	2866	612	596	562	554	46,782	3,222	0,703	143	0,01963	4,04400
16	3546	3138	522	510	492	484	37,529	2,111	0,564	144	0,01999	3,24412

Quadro 95 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 2,8941 dag L⁻¹ na tubulação de PVC com diâmetro de 127,31 mm e temperatura de 27,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3156	624	1354	1176	1006	850	93,491	28,000	2,040	145	0,01680	9,73971
2	3174	740	1324	1150	988	818	91,664	28,111	2,000	142	0,01755	9,54937
3	3192	876	1284	1118	960	796	89,414	27,111	1,951	141	0,01779	9,31501
4	3216	1006	1244	1086	934	776	87,344	26,000	1,906	141	0,01788	9,09935
5	3246	1194	1190	1040	898	752	84,164	24,333	1,837	141	0,01802	8,76805
6	3278	1386	1134	1000	862	726	80,816	22,667	1,764	141	0,01820	8,41928
7	3304	1540	1090	962	834	706	78,035	21,333	1,703	140	0,01838	8,12949
8	3326	1710	1044	916	804	682	74,689	20,111	1,630	139	0,01891	7,78099
9	3354	1922	980	876	766	666	70,309	17,444	1,534	141	0,01851	7,32463
10	3384	2082	920	830	738	640	67,041	15,556	1,463	143	0,01815	6,98425
11	3410	2256	886	794	710	620	63,116	14,778	1,377	138	0,01946	6,57532
12	3438	2418	836	752	670	594	59,339	13,444	1,295	137	0,02003	6,18179
13	3474	2646	764	696	628	568	53,463	10,889	1,167	138	0,01998	5,56967
14	3512	2870	692	638	588	532	47,077	8,889	1,027	136	0,02104	4,90435
15	3542	3064	634	590	550	510	40,621	6,889	0,886	134	0,02190	4,23183
16	3576	3292	556	528	500	476	31,311	4,444	0,683	131	0,02378	3,26192

Quadro 96 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 2,8941 dag L⁻¹ na tubulação de PVC com diâmetro de 103,22 mm e temperatura entre 26,0 e 26,5 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3260	1024	1598	1154	764	594	87,856	55,778	2,916	163	0,01328	11,28883
2	3278	1296	1554	1128	740	586	82,716	53,778	2,746	157	0,01445	10,62832
3	3290	1420	1508	1098	734	574	80,345	51,889	2,667	155	0,01477	10,32366
4	3310	1536	1436	1056	716	566	78,255	48,333	2,598	157	0,01451	10,05518
5	3336	1720	1356	994	684	542	74,689	45,222	2,479	155	0,01490	9,59696
6	3350	1862	1296	954	664	532	71,670	42,444	2,379	154	0,01519	9,20904
7	3386	2040	1210	898	644	512	68,165	38,778	2,263	154	0,01534	8,75862
8	3402	2140	1162	870	626	506	66,004	36,444	2,191	154	0,01537	8,48091
9	3428	2308	1078	816	592	486	62,179	32,889	2,064	154	0,01563	7,98954
10	3452	2458	1010	770	566	468	58,578	30,111	1,945	152	0,01613	7,52673
11	3476	2626	928	716	540	450	54,169	26,556	1,798	150	0,01663	6,96021
12	3520	2884	788	630	506	428	46,856	20,000	1,555	151	0,01674	6,02062
13	3542	3042	710	582	476	414	41,545	16,444	1,379	149	0,01751	5,33824
14	3562	3154	660	552	456	404	37,529	14,222	1,246	146	0,01856	4,82218
15	3574	3238	614	524	442	396	34,057	12,111	1,131	144	0,01919	4,37605
16	3594	3322	566	484	428	392	30,642	9,667	1,017	147	0,01892	3,93729

Quadro 97 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 2,8941 dag L⁻¹ na tubulação de PVC com diâmetro de 79,90 mm e temperatura de 27,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3468	2532	2310	1828	1154	646	56,843	92,444	3,149	158	0,01461	9,43557
2	3474	2572	2234	1768	1122	636	55,801	88,778	3,091	158	0,01456	9,26261
3	3484	2642	2132	1688	1074	616	53,913	84,222	2,987	157	0,01480	8,94924
4	3490	2686	2052	1628	1042	602	52,682	80,556	2,919	157	0,01482	8,74496
5	3506	2758	1938	1536	994	582	50,815	75,333	2,815	157	0,01490	8,43492
6	3518	2852	1796	1430	930	558	47,948	68,778	2,656	156	0,01528	7,95916
7	3534	2946	1650	1320	874	530	45,053	62,222	2,496	155	0,01566	7,47857
8	3546	3030	1506	1204	810	506	42,205	55,556	2,338	154	0,01593	7,00575
9	3556	3074	1402	1130	768	488	40,791	50,778	2,260	156	0,01559	6,77101
10	3574	3164	1244	1024	706	462	37,621	43,444	2,084	157	0,01568	6,24485
11	3584	3234	1160	946	664	448	34,759	39,556	1,926	152	0,01672	5,76984
12	3590	3282	1072	874	624	430	32,607	35,667	1,806	151	0,01713	5,41259
13	3602	3334	984	810	586	416	30,416	31,556	1,685	151	0,01742	5,04891
14	3612	3386	890	748	554	404	27,931	27,000	1,547	151	0,01768	4,63644
15	3620	3444	790	676	516	390	24,649	22,222	1,366	148	0,01868	4,09154
16	3632	3524	640	560	454	368	19,309	15,111	1,070	142	0,02070	3,20510

Quadro 98 A – Valores observados nos piezômetros L1, L2, P1, P2, P3 e P4 e valores calculados de Vazão (Q), perda de carga unitária (J), velocidade (V), coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams (C), fator de atrito (f) e número de Reynolds para ARA a 2,8941 dag L⁻¹ na tubulação de PVC com diâmetro de 52,61 mm e temperatura entre 29,0 e 30,0 °C

Nº	L1 mm	L2 mm	P1 mm	P2 mm	P3 mm	P4 mm	Q m ³ h ⁻¹	J m/1000m	V m s ⁻¹	C	f	Rey 10 ⁵
1	3622	3472	3132	2326	1464	754	22,755	132,111	2,908	156	0,01613	5,73659
2	3620	3480	2972	2338	1456	744	21,984	123,778	2,809	156	0,01619	5,54208
3	3622	3482	2972	2330	1450	740	21,984	124,000	2,809	156	0,01622	5,54208
4	3622	3488	2906	2306	1444	728	21,508	121,000	2,748	155	0,01654	5,42202
5	3624	3496	2776	2120	1370	704	21,020	115,111	2,686	155	0,01647	5,29924
6	3626	3504	2690	2070	1338	686	20,522	111,333	2,622	155	0,01671	5,17355
7	3626	3514	2540	1946	1264	660	19,663	104,444	2,513	153	0,01708	4,95698
8	3626	3522	2364	1812	1176	628	18,948	96,444	2,421	154	0,01698	4,77667
9	3628	3532	2280	1748	1134	618	18,204	92,333	2,326	152	0,01761	4,58928
10	3630	3538	2152	1650	1070	592	17,821	86,667	2,277	154	0,01725	4,49265
11	3632	3550	2040	1564	1014	574	16,825	81,444	2,150	150	0,01819	4,24146
12	3634	3558	1866	1430	928	538	16,197	73,778	2,070	152	0,01778	4,08334
13	3636	3566	1650	1264	832	478	15,545	65,111	1,986	156	0,01703	3,91884
14	3636	3578	1556	1212	808	478	14,150	59,889	1,808	149	0,01891	3,56716
15	3640	3584	1456	1140	746	410	13,904	58,111	1,777	149	0,01900	3,50512
16	3642	3594	1284	1006	674	434	12,872	47,222	1,645	154	0,01802	3,24511

APÊNDICE B

Quadro 1 B – Dados de tensão de cisalhamento, taxa de deformação e viscosidade aparente para a ARA com a concentração de 0,2587 dag.L⁻¹, obtidos com o reômetro RS150, da Haake, a 25,1°C

t (Pa)	$\dot{g}$ (s ⁻¹)	h (mPa s)	t (Pa)	$\dot{g}$ (s ⁻¹)	h (mPa s)
0,00019	0,0082	23,410	0,07668	76,7400	0,999
0,01613	1,1760	13,710	0,07833	78,4600	0,998
0,02742	2,9450	9,310	0,07992	79,9200	1,000
0,03177	4,6680	6,806	0,07883	81,7500	0,964
0,03258	6,3960	5,094	0,08157	83,2700	0,980
0,03432	7,9420	4,321	0,08382	85,0700	0,985
0,03212	9,7370	3,299	0,08550	86,6300	0,987
0,03539	11,3000	3,131	0,08679	88,6200	0,979
0,03461	13,0200	2,658	0,08615	90,3100	0,954
0,03639	14,6700	2,480	0,08783	91,6400	0,959
0,03818	16,3900	2,330	0,09059	93,3000	0,971
0,04022	18,0200	2,231	0,09377	95,0000	0,987
0,03974	19,6500	2,022	0,09434	96,6800	0,976
0,04160	21,3200	1,952	0,09326	98,3800	0,948
0,03969	22,9800	1,727	0,09709	100,4000	0,967
0,04225	24,6300	1,716	0,09763	101,7000	0,960
0,04280	26,3300	1,625	0,09914	103,5000	0,958
0,04262	28,0400	1,520	0,09881	105,1000	0,941
0,04607	29,8800	1,542	0,09852	107,0000	0,921
0,04837	31,6400	1,529	0,10300	108,4000	0,947
0,04967	33,0500	1,503	0,10400	110,1000	0,941
0,05093	34,6700	1,469	0,10200	111,9000	0,914
0,05141	36,3800	1,413	0,10300	113,5000	0,911
0,05099	38,1000	1,338	0,10800	115,1000	0,935
0,05312	39,6900	1,338	0,11000	117,1000	0,941
0,05444	41,6000	1,309	0,11000	118,8000	0,928
0,05088	43,2200	1,177	0,11100	120,4000	0,922
0,05224	44,8900	1,164	0,11500	122,1000	0,944
0,05278	46,5500	1,134	0,11500	123,5000	0,929
0,05385	48,2200	1,117	0,11300	125,1000	0,902
0,05679	49,9400	1,137	0,11700	127,0000	0,918
0,05787	51,8100	1,117	0,12100	128,7000	0,944
0,06190	53,2600	1,162	0,12100	130,1000	0,928
0,06144	54,8900	1,119	0,12100	132,0000	0,920
0,06315	56,6200	1,115	0,12500	133,8000	0,932
0,06112	58,2300	1,050	0,12600	135,3000	0,928
0,06265	60,0200	1,044	0,12400	136,8000	0,908
0,06283	61,7300	1,018	0,12700	138,6000	0,918
0,06540	63,4500	1,031	0,13000	140,6000	0,922
0,06732	65,1200	1,034	0,13000	142,0000	0,912
0,06913	66,5600	1,039	0,13300	143,7000	0,923
0,07047	68,2100	1,033	0,13600	145,4000	0,937
0,07084	70,0600	1,011	0,13600	147,1000	0,922
0,06988	71,5400	0,977	0,13700	148,8000	0,919
0,07126	73,2400	0,973	0,14000	150,5000	0,932
0,07575	74,9800	1,010	0,13700	152,2000	0,900

Quadro 1 B – Continuação

t (Pa)	$\dot{g}$ (s ⁻¹)	h (mPa s)	t (Pa)	$\dot{g}$ (s ⁻¹)	h (mPa s)
0,14100	153,7000	0,916	0,20900	231,1000	0,906
0,14400	155,5000	0,926	0,21000	232,5000	0,905
0,14400	157,1000	0,918	0,21400	234,1000	0,915
0,14600	159,0000	0,918	0,21400	235,9000	0,906
0,14900	160,5000	0,926	0,21500	237,6000	0,907
0,14700	162,1000	0,906	0,21600	239,1000	0,904
0,15000	163,8000	0,915	0,21700	240,9000	0,899
0,15200	165,5000	0,922	0,22100	242,6000	0,910
0,15200	167,0000	0,908	0,22000	244,3000	0,900
0,15700	168,7000	0,929	0,22400	245,9000	0,912
0,15700	170,5000	0,922	0,22100	247,8000	0,894
0,15600	172,1000	0,904	0,22800	249,4000	0,913
0,16000	173,8000	0,923	0,22500	251,1000	0,895
0,15900	175,9000	0,903	0,23000	252,8000	0,910
0,16200	177,1000	0,916	0,22800	254,2000	0,895
0,16400	178,9000	0,914	0,23300	255,9000	0,912
0,16300	180,7000	0,904	0,23500	257,7000	0,910
0,16700	182,2000	0,917	0,23300	259,3000	0,898
0,16700	183,8000	0,909	0,23900	261,1000	0,915
0,17000	185,4000	0,915	0,23500	262,8000	0,896
0,17200	187,2000	0,919	0,24100	264,5000	0,911
0,17100	188,8000	0,906	0,23800	265,9000	0,895
0,17600	190,5000	0,924	0,24100	267,6000	0,901
0,17400	192,2000	0,907	0,24700	269,5000	0,916
0,17700	193,8000	0,912	0,24200	271,1000	0,892
0,17800	195,9000	0,908	0,24700	272,6000	0,908
0,18100	197,5000	0,916	0,24500	274,3000	0,892
0,18300	199,2000	0,917	0,24900	276,0000	0,901
0,18000	200,5000	0,898	0,25400	277,8000	0,914
0,18400	202,2000	0,909	0,24900	279,4000	0,892
0,18300	204,0000	0,896	0,25700	281,2000	0,914
0,18800	205,5000	0,916	0,25600	283,0000	0,905
0,18700	207,4000	0,903	0,25600	284,4000	0,900
0,19200	209,0000	0,916	0,26200	286,2000	0,914
0,19200	211,2000	0,907	0,25800	287,8000	0,896
0,19400	212,3000	0,913	0,26100	289,6000	0,901
0,19600	214,0000	0,914	0,26600	291,3000	0,913
0,19500	215,7000	0,906	0,26200	292,9000	0,894
0,19800	217,3000	0,912	0,26700	294,5000	0,908
0,19900	219,0000	0,907	0,27000	296,2000	0,910
0,20100	220,7000	0,912	0,26500	297,9000	0,890
0,20000	222,3000	0,901			
0,20500	224,2000	0,916			
0,20400	225,8000	0,905			
0,20800	227,6000	0,912			
0,20700	229,2000	0,901			

Quadro 2 B – Dados de tensão de cisalhamento, taxa de deformação e viscosidade aparente para a ARA com a concentração de 0,4600 dag.L⁻¹, obtidos com o reômetro RS150, da Haake, a 25,1°C

t (Pa)	$\dot{g}$ (s ⁻¹)	h (mPa s)	t (Pa)	$\dot{g}$ (s ⁻¹)	h (mPa s)
0,00005	0,0082	6,555	0,07861	76,6100	1,026
0,03013	1,2740	23,650	0,07862	78,4000	1,003
0,04768	3,0520	15,620	0,07588	80,3100	0,945
0,05011	4,6370	10,810	0,07469	81,7600	0,914
0,04694	6,3720	7,367	0,07858	83,2600	0,944
0,04589	7,8780	5,825	0,08347	84,9900	0,982
0,04247	9,6930	4,382	0,08748	86,7200	1,009
0,03969	11,4300	3,474	0,08691	88,5100	0,982
0,03772	12,9900	2,904	0,08340	90,1600	0,925
0,03759	14,6100	2,573	0,08284	91,8300	0,902
0,03312	16,4500	2,014	0,08899	93,8900	0,948
0,03374	18,1300	1,861	0,09218	95,4300	0,966
0,03562	19,8000	1,799	0,09034	96,7600	0,934
0,03475	21,5800	1,610	0,08629	98,4700	0,876
0,03565	23,3100	1,530	0,09128	100,2000	0,911
0,03766	25,0100	1,506	0,09854	101,9000	0,967
0,03453	26,4300	1,307	0,09980	103,6000	0,963
0,03799	27,9600	1,359	0,09516	105,1000	0,905
0,04026	29,8800	1,348	0,09567	106,9000	0,895
0,04363	31,3700	1,391	0,10300	108,7000	0,950
0,04966	33,2100	1,495	0,10400	110,1000	0,949
0,05341	34,9400	1,529	0,10300	112,0000	0,916
0,05550	36,6400	1,515	0,10100	113,6000	0,891
0,05712	38,2800	1,492	0,10800	115,3000	0,933
0,05579	39,9500	1,397	0,11100	117,0000	0,948
0,05183	41,4100	1,252	0,10700	118,6000	0,900
0,04852	43,0900	1,126	0,10700	120,3000	0,891
0,04860	44,7500	1,086	0,11400	122,0000	0,938
0,04761	46,5500	1,023	0,11700	123,7000	0,944
0,04872	48,2400	1,010	0,11200	125,3000	0,892
0,05166	49,7100	1,039	0,11400	127,0000	0,896
0,05624	51,6000	1,090	0,12100	128,7000	0,944
0,06069	53,3700	1,137	0,12000	130,3000	0,919
0,05929	54,7500	1,083	0,11700	132,0000	0,882
0,06340	56,6100	1,120	0,12200	133,7000	0,916
0,06203	58,3000	1,064	0,12600	135,4000	0,931
0,06032	59,9500	1,006	0,12200	137,1000	0,887
0,05935	61,6100	0,963	0,12600	138,7000	0,905
0,06276	63,3200	0,991	0,13200	140,4000	0,940
0,06794	64,9700	1,046	0,12600	142,0000	0,885
0,07492	66,6600	1,124	0,12700	143,7000	0,882
0,07363	68,3800	1,077	0,13500	145,3000	0,926
0,07154	70,0100	1,022	0,13100	147,0000	0,888
0,07087	71,7700	0,988	0,13100	148,7000	0,878
0,06987	73,4900	0,951	0,13800	150,5000	0,919
0,07551	75,0000	1,007	0,13700	152,0000	0,903

Quadro 2 B – Continuação

t (Pa)	$\dot{g}$ (s ⁻¹)	h (mPa s)	t (Pa)	$\dot{g}$ (s ⁻¹)	h (mPa s)
0,13400	153,9000	0,873	0,20200	230,9000	0,873
0,14300	155,4000	0,921	0,20100	232,8000	0,864
0,13800	157,2000	0,877	0,20500	234,1000	0,878
0,14100	159,0000	0,887	0,20300	235,8000	0,860
0,14700	160,7000	0,915	0,20700	237,5000	0,870
0,14100	162,2000	0,871	0,20600	239,2000	0,863
0,14600	163,9000	0,891	0,20900	240,9000	0,866
0,15000	165,5000	0,905	0,21200	242,6000	0,873
0,14500	167,2000	0,868	0,20800	244,3000	0,851
0,15200	168,9000	0,902	0,21400	245,9000	0,871
0,15300	170,5000	0,897	0,21000	247,6000	0,848
0,14900	172,2000	0,864	0,21800	249,3000	0,874
0,15800	174,0000	0,910	0,21400	251,1000	0,852
0,15400	175,5000	0,875	0,22200	252,5000	0,880
0,15600	177,3000	0,880	0,21700	254,3000	0,854
0,16100	178,8000	0,903	0,22200	255,9000	0,867
0,15800	180,7000	0,872	0,22200	257,6000	0,861
0,16300	182,2000	0,894	0,22100	259,4000	0,852
0,16100	183,8000	0,876	0,22800	261,1000	0,874
0,16200	185,5000	0,873	0,22300	262,7000	0,848
0,16800	187,4000	0,894	0,23100	264,4000	0,874
0,16400	189,1000	0,867	0,22800	266,1000	0,856
0,17100	190,5000	0,896	0,23100	267,8000	0,862
0,16700	192,4000	0,868	0,23400	269,4000	0,868
0,17300	194,1000	0,891	0,22800	271,1000	0,842
0,17100	195,8000	0,876	0,23800	272,9000	0,873
0,17100	197,4000	0,869	0,23500	274,6000	0,856
0,17900	199,1000	0,899	0,23500	276,3000	0,852
0,17400	200,8000	0,867	0,24100	277,8000	0,866
0,18100	202,4000	0,896	0,23500	279,4000	0,842
0,17400	204,0000	0,852	0,24600	281,2000	0,875
0,18400	205,8000	0,893	0,24200	282,8000	0,855
0,17800	207,6000	0,858	0,24300	284,5000	0,855
0,18400	209,0000	0,880	0,24800	286,1000	0,869
0,18400	210,7000	0,873	0,24300	287,8000	0,843
0,18600	212,4000	0,876	0,24400	289,8000	0,843
0,18800	214,0000	0,879	0,25200	291,1000	0,866
0,18900	216,0000	0,873	0,24700	292,9000	0,843
0,19100	217,4000	0,879	0,25600	294,5000	0,868
0,19000	219,1000	0,866	0,25500	296,2000	0,860
0,19500	220,7000	0,882	0,25000	297,9000	0,839
0,19100	222,6000	0,857	0,25900	299,4000	0,864
0,19800	224,1000	0,883			
0,19400	225,8000	0,859			
0,19900	227,6000	0,874			
0,19600	229,1000	0,857			

Quadro 3 B – Dados de tensão de cisalhamento, taxa de deformação e viscosidade aparente para a ARA com a concentração de 0,7269 dag.L⁻¹, obtidos com o reômetro RS150, da Haake, a 25,1°C

t (Pa)	$\dot{g}$ (s ⁻¹)	h (mPa s)	t (Pa)	$\dot{g}$ (s ⁻¹)	h (mPa s)
0,00196	0,0045	432,700	0,07345	76,7900	0,957
0,03463	1,4170	24,440	0,07624	78,6400	0,969
0,04989	3,2690	15,260	0,08036	80,1300	1,003
0,05296	4,6370	11,420	0,08492	82,0200	1,035
0,05514	6,5740	8,388	0,08484	83,4600	1,017
0,05731	8,0320	7,135	0,08167	85,1300	0,959
0,05998	9,7020	6,182	0,08113	86,7900	0,935
0,06840	11,5900	5,900	0,08597	88,4800	0,972
0,06144	13,2900	4,623	0,09150	90,1500	1,015
0,05932	15,0400	3,944	0,09238	91,8200	1,006
0,05561	16,7100	3,328	0,08915	93,4900	0,954
0,04852	18,4000	2,637	0,08757	95,1600	0,920
0,04333	19,7500	2,194	0,09449	96,8000	0,976
0,04450	21,4200	2,078	0,10100	98,8400	1,022
0,04243	23,0900	1,837	0,09989	100,2000	0,997
0,04550	24,7600	1,838	0,10000	102,0000	0,983
0,04525	26,5600	1,704	0,09870	103,7000	0,952
0,04851	28,6800	1,692	0,10500	105,3000	0,997
0,04716	29,9900	1,573	0,10800	107,2000	1,006
0,04509	31,5900	1,427	0,10600	108,7000	0,977
0,04308	33,1400	1,300	0,10600	110,3000	0,958
0,04325	34,9100	1,239	0,11100	112,0000	0,987
0,04397	36,3900	1,208	0,11300	113,5000	1,000
0,04295	38,1300	1,126	0,11000	115,3000	0,954
0,04361	40,0200	1,090	0,10700	116,9000	0,918
0,04575	41,7600	1,095	0,11500	118,6000	0,971
0,05033	43,4400	1,159	0,12000	120,3000	0,993
0,05213	45,1100	1,156	0,11600	122,0000	0,954
0,05494	46,7600	1,175	0,11600	123,7000	0,937
0,05645	48,2400	1,170	0,12500	125,4000	0,998
0,05917	49,9300	1,185	0,12200	127,2000	0,962
0,06236	51,5500	1,210	0,12100	128,7000	0,937
0,06458	53,3900	1,210	0,12400	130,5000	0,953
0,06545	55,1700	1,186	0,13000	132,2000	0,985
0,06557	56,7300	1,156	0,12600	133,9000	0,940
0,06852	58,3100	1,175	0,12700	135,4000	0,940
0,06707	60,0200	1,117	0,13600	137,0000	0,993
0,06632	61,8200	1,073	0,13300	138,7000	0,960
0,06395	63,5000	1,007	0,13000	140,5000	0,924
0,06669	65,3400	1,021	0,13900	142,1000	0,975
0,06563	66,6600	0,985	0,14000	143,8000	0,976
0,06729	68,6900	0,980	0,13500	145,5000	0,925
0,07218	70,4000	1,025	0,14100	147,2000	0,961
0,07463	71,7400	1,040	0,14300	148,9000	0,960
0,07496	73,4800	1,020	0,13900	150,7000	0,921
0,07528	75,1600	1,002	0,14500	152,2000	0,951

Quadro 3 B – Continuação

t (Pa)	$\dot{g}$ (s ⁻¹)	h (mPa s)	t (Pa)	$\dot{g}$ (s ⁻¹)	h (mPa s)
0,15000	153,8000	0,975	0,21000	230,9000	0,909
0,14300	155,6000	0,920	0,22400	232,5000	0,961
0,15100	157,2000	0,960	0,22800	234,3000	0,971
0,15100	159,0000	0,951	0,22100	236,0000	0,936
0,14700	160,7000	0,915	0,21800	237,6000	0,920
0,15700	162,3000	0,965	0,22900	239,2000	0,959
0,15500	164,0000	0,943	0,23400	240,9000	0,971
0,15200	165,7000	0,917	0,22400	242,6000	0,923
0,16300	167,4000	0,972	0,23000	244,4000	0,940
0,15800	169,1000	0,932	0,23600	246,2000	0,958
0,16000	170,7000	0,936	0,23900	247,8000	0,964
0,16400	172,8000	0,952	0,22600	249,5000	0,906
0,16200	174,2000	0,928	0,24100	251,3000	0,958
0,16800	175,6000	0,957	0,24200	252,7000	0,957
0,16700	177,5000	0,943	0,24100	254,3000	0,947
0,17000	179,1000	0,950	0,23600	256,1000	0,920
0,18000	180,7000	0,997	0,24400	257,6000	0,947
0,18400	182,5000	1,009	0,25000	259,5000	0,963
0,18400	183,9000	1,002	0,23500	261,5000	0,900
0,17600	185,9000	0,949	0,25100	262,8000	0,956
0,17400	187,5000	0,928	0,25300	264,5000	0,955
0,18600	189,2000	0,984	0,25200	266,2000	0,945
0,18900	190,7000	0,993	0,24700	267,8000	0,924
0,19200	192,4000	0,996	0,25600	269,5000	0,949
0,18100	194,0000	0,932	0,26000	271,2000	0,960
0,18400	195,7000	0,940	0,24700	272,9000	0,904
0,19400	197,4000	0,981	0,26100	274,4000	0,951
0,19700	199,1000	0,991	0,26300	276,2000	0,953
0,19400	200,8000	0,968	0,25600	277,8000	0,921
0,18400	202,4000	0,908	0,26400	279,5000	0,945
0,19800	204,1000	0,972	0,26500	281,1000	0,943
0,20000	205,9000	0,973	0,26500	282,9000	0,938
0,20300	207,8000	0,978	0,26500	284,6000	0,930
0,19400	209,2000	0,928	0,26800	286,2000	0,937
0,19900	210,8000	0,946	0,27000	288,0000	0,936
0,20800	212,4000	0,977	0,26500	289,7000	0,914
0,21200	214,1000	0,989	0,27100	291,4000	0,931
0,20400	215,9000	0,946	0,27700	293,2000	0,943
0,20000	217,5000	0,921	0,26600	294,6000	0,903
0,21300	219,1000	0,970	0,27800	296,3000	0,937
0,21700	220,8000	0,984	0,28200	298,0000	0,946
0,21300	222,5000	0,959	0,27000	299,6000	0,900
0,20500	224,2000	0,913			
0,21900	226,3000	0,968			
0,22300	227,8000	0,979			
0,21900	229,2000	0,957			

Quadro 4 B – Dados de tensão de cisalhamento, taxa de deformação e viscosidade aparente para a ARA com a concentração de 0,9431 dag.L⁻¹, obtidos com o reômetro RS150, da Haake, a 25,1°C

t (Pa)	$\dot{g}$ (s ⁻¹)	h (mPa s)	t (Pa)	$\dot{g}$ (s ⁻¹)	h (mPa s)
0,00007	0,0124	5,378	0,06982	76,9300	0,908
0,04873	1,3820	35,260	0,07043	78,4700	0,898
0,05791	3,2530	17,800	0,06908	80,0700	0,863
0,06012	4,6430	12,950	0,07323	82,0200	0,893
0,05523	6,4450	8,569	0,07132	83,4700	0,855
0,05601	7,9730	7,025	0,07418	85,1800	0,871
0,05459	9,5710	5,703	0,06775	86,7400	0,781
0,05104	11,5600	4,416	0,06822	88,4400	0,771
0,04917	13,2400	3,713	0,06889	90,0900	0,765
0,05313	15,0100	3,541	0,06794	91,9700	0,739
0,05473	16,6700	3,283	0,07390	93,7300	0,788
0,05822	18,3400	3,174	0,07384	95,4200	0,774
0,06121	20,0400	3,055	0,07714	97,0600	0,795
0,06536	21,7200	3,009	0,08083	98,7500	0,819
0,07064	23,0400	3,066	0,08515	100,1000	0,850
0,07267	24,8800	2,921	0,08904	102,0000	0,873
0,07652	26,5900	2,878	0,09280	103,6000	0,896
0,07415	28,1100	2,638	0,07735	105,4000	0,734
0,08388	29,9300	2,802	0,08326	106,8000	0,779
0,08149	31,6000	2,579	0,08480	108,7000	0,780
0,08485	33,0500	2,568	0,08707	110,1000	0,791
0,08632	34,9000	2,474	0,08642	112,0000	0,772
0,08145	36,6100	2,224	0,08396	113,6000	0,739
0,07849	38,2400	2,053	0,08796	115,3000	0,763
0,07512	39,8800	1,884	0,09249	117,0000	0,791
0,07047	41,5400	1,696	0,08188	118,7000	0,690
0,06787	43,2500	1,569	0,08441	120,3000	0,702
0,06553	44,9000	1,459	0,09246	122,1000	0,758
0,06847	46,6500	1,468	0,09976	123,8000	0,806
0,06491	48,4300	1,340	0,08278	125,5000	0,660
0,06785	49,9500	1,358	0,08851	127,0000	0,697
0,07076	51,7000	1,369	0,09451	128,6000	0,735
0,06704	53,3100	1,258	0,10100	130,3000	0,771
0,06645	54,9400	1,210	0,08784	132,1000	0,665
0,06364	56,8100	1,120	0,08990	134,0000	0,671
0,06260	58,3000	1,074	0,09940	135,3000	0,735
0,06716	60,0700	1,118	0,08661	137,0000	0,632
0,06291	61,8900	1,017	0,09005	138,7000	0,649
0,06546	63,4300	1,032	0,09753	140,5000	0,694
0,06187	65,0700	0,951	0,08478	142,2000	0,596
0,06298	66,7300	0,944	0,08785	143,9000	0,611
0,06374	68,4900	0,931	0,09431	145,5000	0,648
0,06288	70,1800	0,896	0,09549	147,1000	0,649
0,06588	71,9800	0,915	0,09098	148,7000	0,612
0,07135	73,6900	0,968	0,09601	150,5000	0,638
0,06723	75,0700	0,896	0,09724	152,0000	0,640

Quadro 4 B – Continuação

t (Pa)	$\dot{g}$ (s ⁻¹)	h (mPa s)	t (Pa)	$\dot{g}$ (s ⁻¹)	h (mPa s)
0,09227	153,8000	0,600	0,12300	231,1000	0,531
0,09657	155,5000	0,621	0,11700	232,9000	0,502
0,09599	157,4000	0,610	0,12200	234,2000	0,521
0,09482	158,8000	0,597	0,11500	235,9000	0,489
0,09580	160,5000	0,597	0,12400	237,6000	0,521
0,08847	162,3000	0,545	0,11800	239,2000	0,495
0,08836	163,9000	0,539	0,12800	240,9000	0,530
0,09857	165,5000	0,596	0,12100	242,9000	0,498
0,09146	167,2000	0,547	0,12500	244,6000	0,511
0,09373	168,9000	0,555	0,12400	246,2000	0,505
0,10200	170,6000	0,601	0,12300	247,7000	0,495
0,09175	172,4000	0,532	0,12700	249,4000	0,508
0,09810	174,0000	0,564	0,12600	251,1000	0,501
0,09684	175,9000	0,551	0,13200	252,7000	0,521
0,09341	177,2000	0,527	0,12500	254,5000	0,492
0,10500	179,1000	0,587	0,13000	255,9000	0,507
0,09221	180,7000	0,510	0,12500	257,6000	0,487
0,10100	182,4000	0,551	0,13100	259,4000	0,503
0,09717	184,0000	0,528	0,12700	261,1000	0,486
0,09886	185,7000	0,532	0,12800	262,8000	0,486
0,10800	187,4000	0,575	0,13700	264,9000	0,518
0,09630	189,1000	0,509	0,12700	266,2000	0,478
0,10800	190,8000	0,565	0,13300	267,9000	0,497
0,10000	192,5000	0,521	0,13200	269,5000	0,489
0,10200	194,1000	0,526	0,13100	271,3000	0,482
0,11000	195,8000	0,560	0,13500	272,9000	0,496
0,10200	197,4000	0,518	0,13100	274,6000	0,476
0,11100	199,2000	0,557	0,13500	276,3000	0,490
0,10300	200,7000	0,513	0,13700	277,8000	0,491
0,11000	202,4000	0,543	0,13400	279,7000	0,480
0,10500	204,1000	0,516	0,13900	281,2000	0,495
0,10800	205,9000	0,527	0,13600	282,8000	0,482
0,10700	207,8000	0,513	0,14200	284,6000	0,499
0,10700	209,2000	0,512	0,13900	286,3000	0,484
0,11000	211,1000	0,520	0,13500	288,0000	0,468
0,10800	212,4000	0,509	0,13400	289,7000	0,463
0,11600	214,1000	0,544	0,13000	291,2000	0,446
0,11000	215,8000	0,509	0,12800	292,9000	0,438
0,11700	217,4000	0,538	0,13400	294,6000	0,455
0,11000	219,2000	0,500	0,12900	296,3000	0,434
0,11700	220,8000	0,528	0,12800	298,0000	0,430
0,11000	222,5000	0,493			
0,11600	224,2000	0,517			
0,11200	226,0000	0,494			
0,12300	227,9000	0,540			
0,11400	229,2000	0,498			

Quadro 5 B – Dados de tensão de cisalhamento, taxa de deformação e viscosidade aparente para a ARA com a concentração de 1,6430 dag.L⁻¹, obtidos com o reômetro RS150, da Haake, a 25,1°C

t (Pa)	$\dot{g}$ (s ⁻¹)	h (mPa s)	t (Pa)	$\dot{g}$ (s ⁻¹)	h (mPa s)
0,00016	0,0188	8,415	0,07618	76,8400	0,991
0,05791	1,2830	45,120	0,08104	78,6500	1,030
0,07097	3,0150	23,540	0,07986	80,3800	0,994
0,07171	4,6910	15,290	0,07995	82,0300	0,975
0,06957	6,3860	10,890	0,07970	83,4000	0,956
0,06320	8,0530	7,847	0,08249	85,0700	0,970
0,05885	9,6750	6,083	0,08724	87,0600	1,002
0,05459	11,3500	4,809	0,08737	88,4100	0,988
0,05161	13,0200	3,962	0,08533	90,1900	0,946
0,04904	14,7800	3,319	0,08665	91,7900	0,944
0,04618	16,5700	2,787	0,08968	93,7500	0,957
0,04485	18,0300	2,488	0,09259	95,1300	0,973
0,04563	19,9300	2,290	0,09559	97,0500	0,985
0,04565	21,4400	2,129	0,09215	98,4900	0,936
0,04558	23,2400	1,961	0,09373	100,2000	0,936
0,04518	24,9000	1,815	0,09525	101,8000	0,936
0,04555	26,5700	1,714	0,09845	103,5000	0,951
0,04614	28,2600	1,633	0,09936	105,1000	0,945
0,04755	29,9500	1,587	0,09831	106,8000	0,920
0,04504	31,4000	1,435	0,09927	108,5000	0,915
0,04767	33,1100	1,440	0,10300	110,2000	0,938
0,05017	34,7200	1,445	0,10700	112,0000	0,954
0,05367	36,6400	1,465	0,10600	113,7000	0,929
0,04976	38,1100	1,306	0,10700	115,5000	0,923
0,05252	40,0900	1,310	0,11000	117,0000	0,942
0,05103	41,5400	1,228	0,11200	118,7000	0,945
0,05177	43,3600	1,194	0,10900	120,3000	0,906
0,05291	44,9300	1,178	0,11200	122,1000	0,920
0,05338	46,5800	1,146	0,11700	123,8000	0,946
0,05453	48,2900	1,129	0,11600	125,5000	0,925
0,05643	49,9400	1,130	0,11600	127,2000	0,913
0,05730	51,5900	1,111	0,11900	128,7000	0,922
0,06324	53,3600	1,185	0,12000	130,3000	0,923
0,06192	55,0700	1,124	0,11900	132,0000	0,903
0,06644	56,7100	1,171	0,12000	133,7000	0,899
0,06304	58,4000	1,079	0,12500	135,3000	0,920
0,06366	60,1300	1,059	0,12500	137,1000	0,915
0,06555	61,5900	1,064	0,12500	138,8000	0,899
0,06652	63,3600	1,050	0,12800	140,4000	0,908
0,06629	65,1400	1,018	0,12800	142,2000	0,898
0,07007	66,7600	1,050	0,12900	144,1000	0,895
0,07282	68,6500	1,061	0,12900	145,6000	0,883
0,07275	70,1000	1,038	0,13000	147,2000	0,883
0,07316	71,6700	1,021	0,13100	148,8000	0,881
0,07208	73,4000	0,982	0,13400	150,5000	0,893
0,07508	75,3800	0,996	0,13700	152,1000	0,898

Quadro 5 B – Continuação

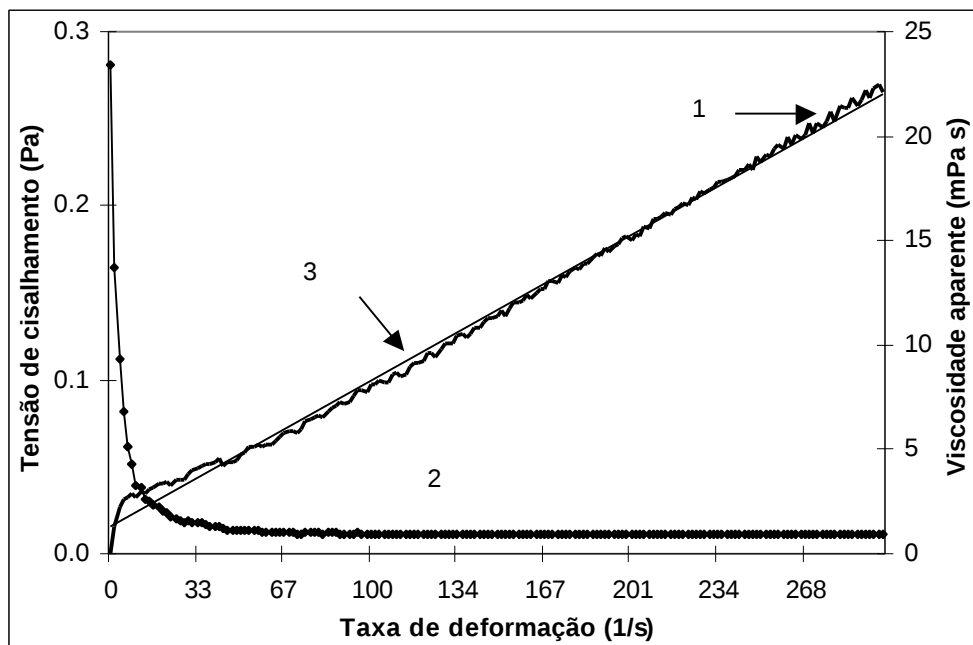
t (Pa)	$\dot{g}$ (s ⁻¹)	h (mPa s)	t (Pa)	$\dot{g}$ (s ⁻¹)	h (mPa s)
0,13500	154,0000	0,878	0,19600	230,9000	0,847
0,13800	155,4000	0,887	0,19300	232,6000	0,832
0,13800	157,1000	0,878	0,19800	234,3000	0,844
0,13800	158,8000	0,868	0,19700	236,1000	0,835
0,14000	160,5000	0,874	0,20100	237,8000	0,845
0,14200	162,2000	0,878	0,20000	239,5000	0,835
0,14000	163,9000	0,854	0,20300	240,9000	0,841
0,14600	165,4000	0,881	0,20300	242,8000	0,836
0,14500	167,4000	0,866	0,20500	244,2000	0,839
0,14500	168,9000	0,858	0,20700	246,1000	0,839
0,14900	170,8000	0,875	0,20700	247,8000	0,834
0,14600	172,2000	0,846	0,20900	249,4000	0,838
0,15100	174,0000	0,868	0,20800	251,1000	0,830
0,15300	175,7000	0,869	0,21400	253,0000	0,847
0,15300	177,4000	0,862	0,21100	254,4000	0,830
0,15500	178,8000	0,868	0,21400	256,0000	0,838
0,15400	180,6000	0,853	0,21400	257,7000	0,829
0,15800	182,4000	0,868	0,21700	259,4000	0,836
0,15900	184,1000	0,863	0,21800	261,1000	0,833
0,16000	185,8000	0,859	0,21800	262,8000	0,830
0,16200	187,5000	0,865	0,22100	264,3000	0,834
0,16200	189,2000	0,855	0,22000	266,1000	0,827
0,16300	190,6000	0,853	0,22500	267,8000	0,839
0,16600	192,5000	0,862	0,22300	269,4000	0,829
0,16400	194,0000	0,848	0,22500	271,2000	0,830
0,16900	195,7000	0,865	0,22800	272,8000	0,837
0,16800	197,4000	0,852	0,22700	274,5000	0,827
0,17100	199,4000	0,856	0,23100	276,1000	0,837
0,17000	200,7000	0,849	0,23000	277,8000	0,827
0,17300	202,4000	0,855	0,23200	279,5000	0,829
0,17400	204,0000	0,853	0,23500	281,2000	0,834
0,17500	205,7000	0,851	0,23400	282,9000	0,826
0,17700	207,4000	0,853	0,23700	284,6000	0,831
0,17700	209,1000	0,847	0,23800	286,2000	0,831
0,18000	210,8000	0,855	0,23500	288,0000	0,817
0,18000	212,5000	0,845	0,23800	289,9000	0,822
0,18200	214,2000	0,850	0,24200	291,2000	0,832
0,18100	215,7000	0,841	0,24000	293,0000	0,819
0,18500	217,6000	0,850	0,24500	294,6000	0,832
0,18500	219,1000	0,844	0,24300	296,4000	0,821
0,18700	220,9000	0,848	0,24600	297,9000	0,825
0,18700	222,5000	0,838	0,24800	299,6000	0,827
0,19000	224,2000	0,849			
0,18900	225,9000	0,836			
0,19300	227,5000	0,850			
0,19200	229,2000	0,839			

Quadro 6 B – Dados de tensão de cisalhamento, taxa de deformação e viscosidade aparente para a ARA com a concentração de 2.8941 dag.L⁻¹, obtidos com o reômetro RS150, da Haake, a 25,1°C

t (Pa)	$\dot{g}$ (s ⁻¹)	h (mPa s)	t (Pa)	$\dot{g}$ (s ⁻¹)	h (mPa s)
0,00027	0,0009	287,200	0,41400	76,6400	5,400
0,37600	0,9860	381,300	0,46100	78,2300	5,889
0,44400	2,9010	153,100	0,69900	79,6600	8,777
0,54800	4,7090	116,400	0,73500	82,1400	8,954
0,50000	6,2930	79,530	0,66800	83,4900	8,002
0,55100	7,7870	70,800	0,51500	85,0200	6,059
0,69300	9,3290	74,290	0,53300	86,6400	6,149
0,61500	11,8000	52,080	0,63800	88,0300	7,242
0,66200	12,8600	51,470	0,88100	89,3400	9,866
0,61300	14,7200	41,630	0,73700	91,9100	8,022
0,70800	16,2800	43,470	0,50700	93,6000	5,419
0,76100	17,4900	43,510	0,75200	94,3800	7,973
0,57300	19,6700	29,140	0,71900	96,3100	7,464
0,44700	21,4700	20,830	0,81600	98,7800	8,260
0,37400	22,9800	16,270	0,67300	100,3000	6,707
0,35000	24,6100	14,230	0,46300	101,8000	4,552
0,24900	26,4200	9,429	0,53300	103,3000	5,159
0,27900	27,9400	9,969	0,88900	105,0000	8,467
0,28200	29,8200	9,458	0,88800	106,9000	8,313
0,44600	31,2400	14,270	0,47500	108,8000	4,365
0,32600	33,0100	9,875	0,41900	110,1000	3,808
0,38500	34,5800	11,140	0,75100	111,3000	6,749
0,39600	36,3300	10,910	0,91100	113,2000	8,047
0,49500	37,9200	13,060	0,54500	115,6000	4,719
0,44300	39,8900	11,090	0,51200	116,8000	4,384
0,70200	40,3700	17,400	0,80800	118,1000	6,844
0,63400	43,2800	14,650	0,86000	120,3000	7,153
0,71000	44,6500	15,900	0,48300	122,4000	3,951
0,61500	46,0400	13,360	0,47400	123,3000	3,839
0,49900	48,4900	10,300	0,89500	124,8000	7,168
0,53300	49,6800	10,730	0,74400	127,4000	5,840
0,42900	51,5100	8,336	0,53700	128,8000	4,169
0,42400	52,9900	8,001	0,59100	130,2000	4,536
0,45600	54,8600	8,311	0,58400	132,2000	4,420
0,49000	56,8000	8,624	0,42300	133,7000	3,165
0,58500	58,5500	9,995	0,43900	135,4000	3,244
0,61700	60,3700	10,230	0,66300	136,6000	4,851
0,58200	61,9000	9,401	0,52200	139,4000	3,743
0,58400	63,3200	9,219	0,48900	140,4000	3,481
0,50300	64,5100	7,796	0,56900	141,8000	4,016
0,45800	66,4400	6,889	0,75000	143,4000	5,234
0,53000	68,0200	7,788	0,50700	145,6000	3,484
0,66600	69,9100	9,525	0,44200	146,9000	3,008
0,71500	71,5700	9,995	0,80700	148,5000	5,436
0,62700	73,4900	8,528	0,53100	150,7000	3,525
0,46500	75,5400	6,156	0,52700	152,0000	3,466

Quadro 6 B – Continuação

t (Pa)	$\dot{g}$ (s ⁻¹)	h (mPa s)	t (Pa)	$\dot{g}$ (s ⁻¹)	h (mPa s)
0,79500	153,2000	5,187	0,52700	230,7000	2,283
0,51900	155,8000	3,328	0,53500	232,4000	2,301
0,48600	156,9000	3,100	0,53100	234,6000	2,262
0,85300	158,3000	5,387	0,48900	235,8000	2,073
0,65200	160,7000	4,060	0,59300	237,8000	2,494
0,56900	161,8000	3,518	0,79800	238,6000	3,346
0,92300	163,7000	5,640	0,50200	241,0000	2,082
0,55900	165,6000	3,373	0,58100	242,1000	2,399
0,59800	166,7000	3,589	0,89500	243,9000	3,668
0,80500	168,8000	4,768	0,49100	246,3000	1,993
0,56600	170,5000	3,321	0,47000	247,6000	1,899
0,78500	171,5000	4,576	0,61000	249,4000	2,447
0,61000	174,4000	3,498	0,53900	251,1000	2,148
0,52100	175,4000	2,972	0,54800	252,5000	2,172
0,88900	176,9000	5,024	0,49500	254,3000	1,948
0,58000	179,1000	3,239	0,53100	255,7000	2,076
0,87300	180,0000	4,849	0,52900	257,5000	2,054
0,69600	182,9000	3,806	0,50400	259,2000	1,945
0,59200	183,8000	3,222	0,60300	260,9000	2,310
0,96800	185,8000	5,208	0,50800	262,9000	1,933
0,63300	187,7000	3,373	0,53100	264,5000	2,009
0,96200	188,4000	5,106	0,60000	265,8000	2,259
0,69900	191,4000	3,650	0,58900	267,8000	2,198
0,71200	191,8000	3,710	0,49300	269,5000	1,830
1,05800	194,6000	5,435	0,52300	271,0000	1,930
0,52300	196,0000	2,666	0,61100	273,1000	2,236
0,93600	197,1000	4,748	0,51500	274,3000	1,876
0,62900	199,5000	3,154	0,48400	276,1000	1,754
0,61700	200,7000	3,074	0,67800	277,3000	2,445
1,06600	202,4000	5,265	0,54300	279,4000	1,943
0,46600	204,3000	2,282	0,51300	281,1000	1,826
0,68100	205,1000	3,319	0,60900	282,6000	2,154
0,70400	208,0000	3,386	0,55200	284,6000	1,941
0,53900	209,0000	2,577	0,54400	285,9000	1,901
0,49100	210,6000	2,333	0,53000	287,5000	1,842
0,57000	212,2000	2,687	0,68700	289,7000	2,373
0,48500	214,1000	2,267	0,57300	291,0000	1,968
0,65700	215,4000	3,052	0,51100	292,7000	1,746
0,54900	217,7000	2,524	0,61800	294,5000	2,099
0,44300	219,3000	2,018	0,60300	296,0000	2,036
0,50100	220,8000	2,270	0,53700	298,0000	1,802
0,47600	222,3000	2,139	0,59700	299,3000	1,996
0,55900	224,2000	2,495			
0,50500	225,6000	2,237			
1,00300	227,2000	4,414			
0,44600	229,1000	1,945			

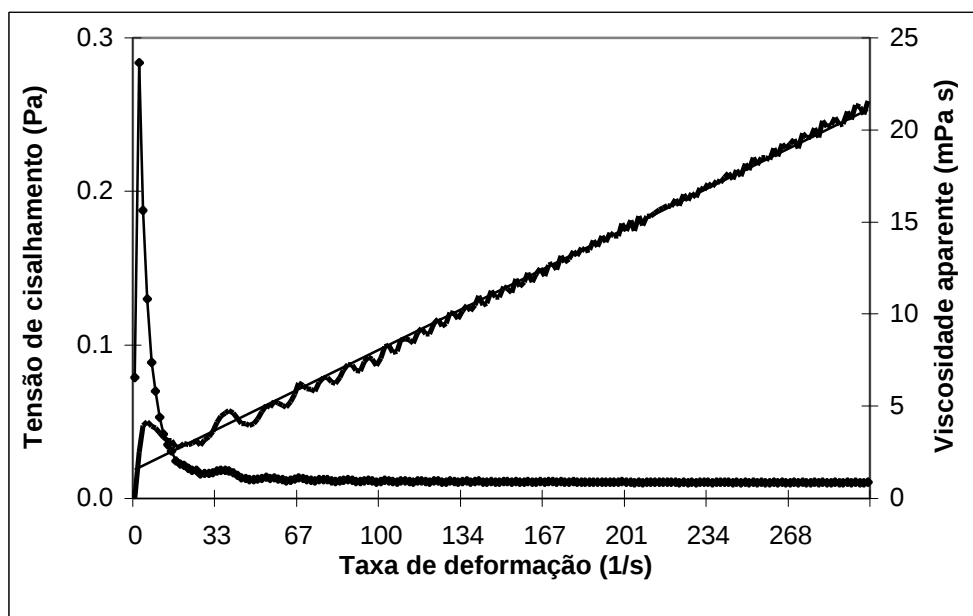


1 Taxa de deformação x tensão de cisalhamento

2 Taxa de deformação x viscosidade aparente

$$3 \quad \tau = 0,01555 + 0,000836\dot{\gamma} \quad r^2 = 0,9966$$

Figura B1 – Curva de taxa de deformação x tensão de cisalhamento e curva de taxa de deformação x viscosidade aparente para ARA com 0,2587 dag L⁻¹

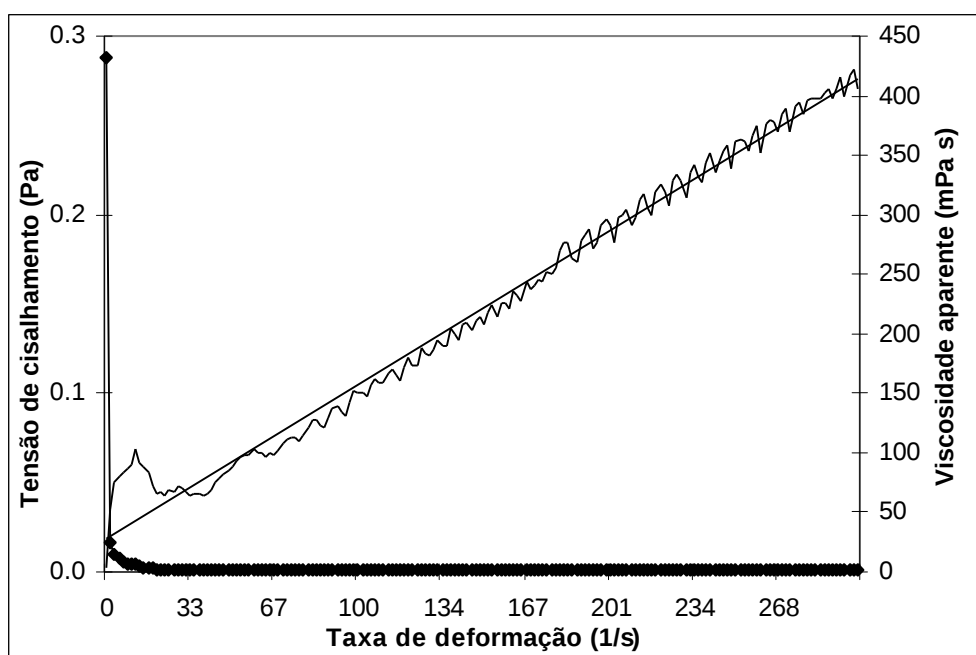


1 Taxa de deformação x tensão de cisalhamento

2 Taxa de deformação x viscosidade aparente

$$3 \quad \tau = 0,01906 + 0,0007822\dot{\gamma} \quad r^2 = 0,9932$$

Figura B2 – Curva de taxa de deformação x tensão de cisalhamento e curva de taxa de deformação x viscosidade aparente para ARA com 0,4600 dag L⁻¹

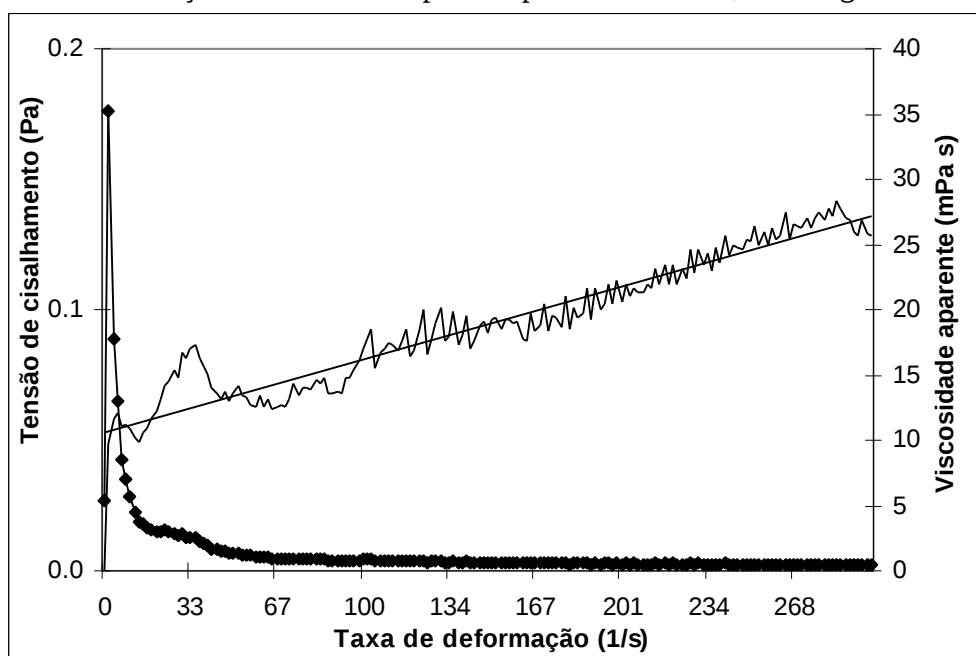


1 Taxa de deformação x tensão de cisalhamento

2 Taxa de deformação x viscosidade aparente

$$3 \tau = 0,01925 + 0,0008554 \dot{\gamma} \quad r^2 = 0,9847$$

Figura B3 – Curva de taxa de deformação x tensão de cisalhamento e curva de taxa de deformação x viscosidade aparente para ARA com 0,7269 dag L⁻¹

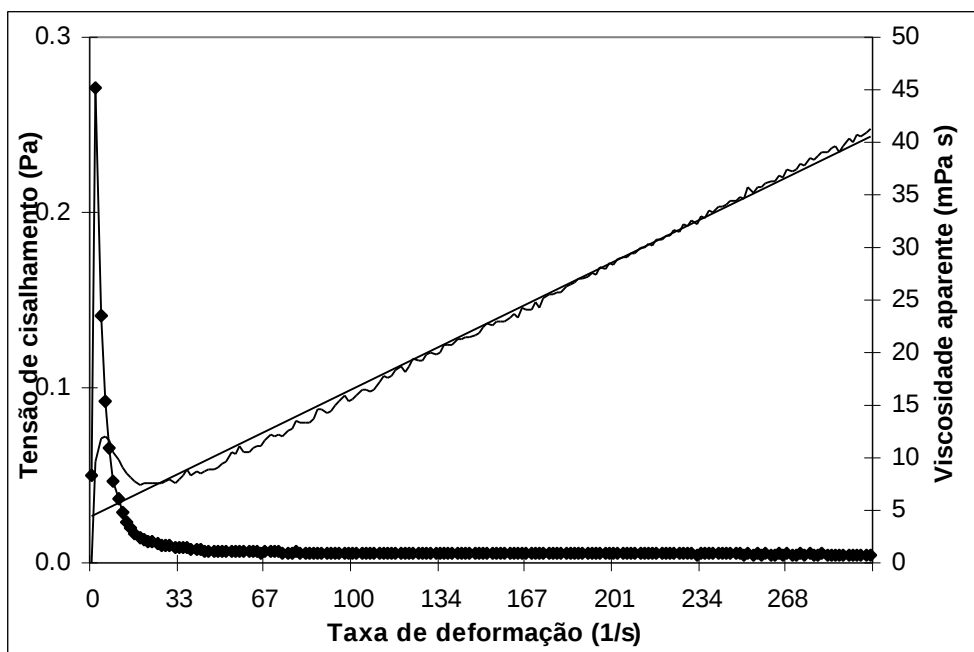


1 Taxa de deformação x tensão de cisalhamento

2 Taxa de deformação x viscosidade aparente

$$3 \tau = 0,05283 + 0,0002796 \dot{\gamma} \quad r^2 = 0,9071$$

Figura B4 – Curva de taxa de deformação x tensão de cisalhamento e curva de taxa de deformação x viscosidade aparente para ARA com 0,9431 dag L⁻¹

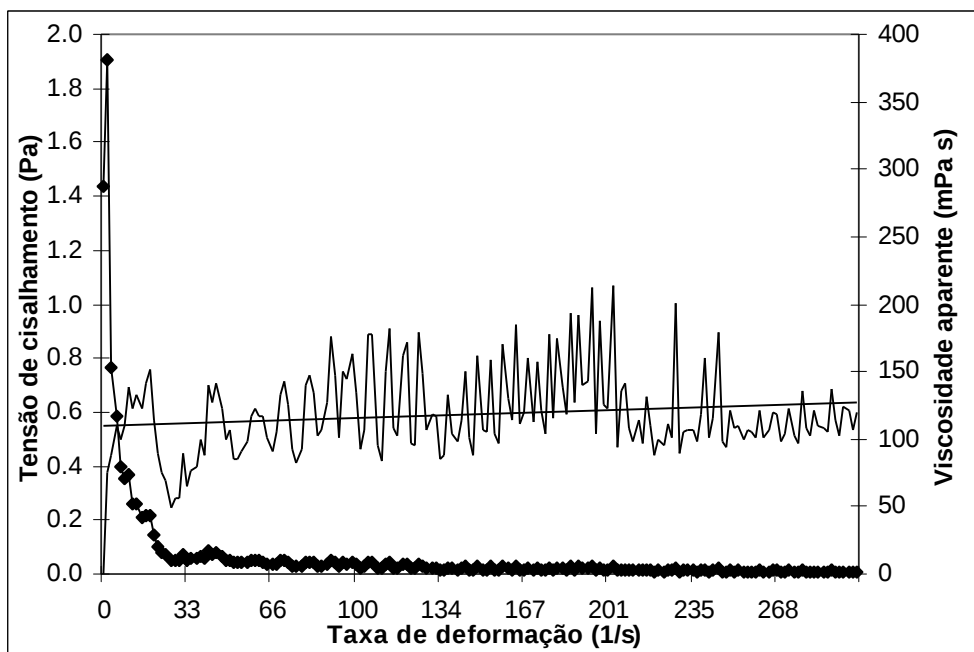


1 Taxa de deformação x tensão de cisalhamento

2 Taxa de deformação x viscosidade aparente

$$3 \tau = 0,02741 + 0,0007191 \dot{\gamma} \quad r^2 = 0,9847$$

Figura B5 – Curva de taxa de deformação x tensão de cisalhamento e curva de taxa de deformação x viscosidade aparente para ARA com 1,6430 dag L⁻¹



1 Taxa de deformação x tensão de cisalhamento

2 Taxa de deformação x viscosidade aparente

$$3 \tau = 0,5517 + 0,0002706 \dot{\gamma} \quad r^2 = 0,0225$$

Figura B6 – Curva de taxa de deformação x tensão de cisalhamento e curva de taxa de deformação x viscosidade aparente para ARA com 2,8941 dag L⁻¹

APÊNDICE C

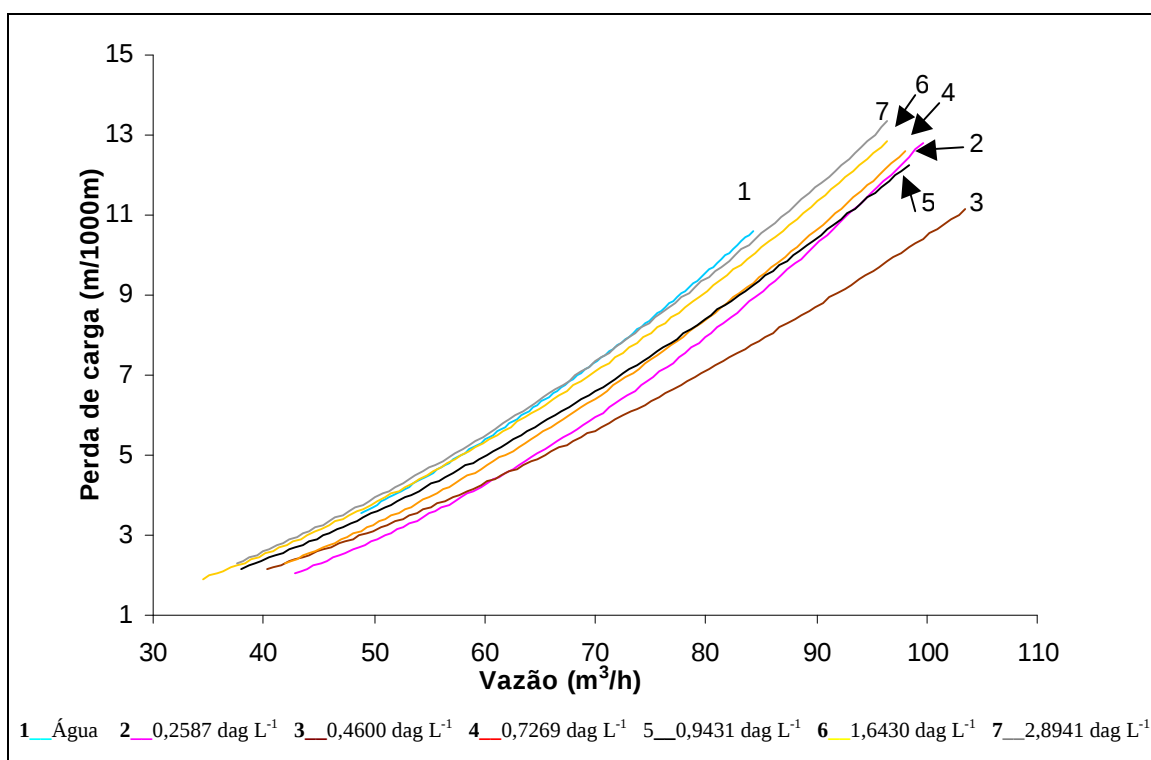


Figura 1C – Curvas ajustadas relacionando perda de carga unitária em função da vazão para a tubulação de ferro galvanizado de 155,48 mm

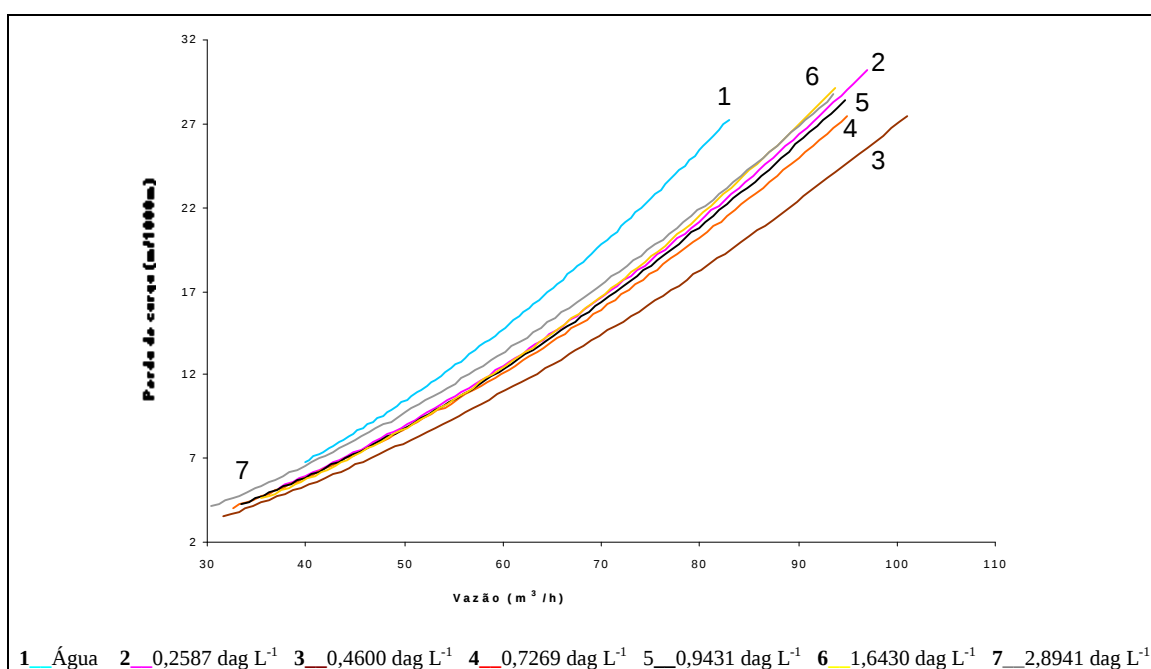


Figura 2C – Curvas ajustadas relacionando perda de carga unitária em função da vazão para a tubulação de ferro galvanizado de 130,30 mm

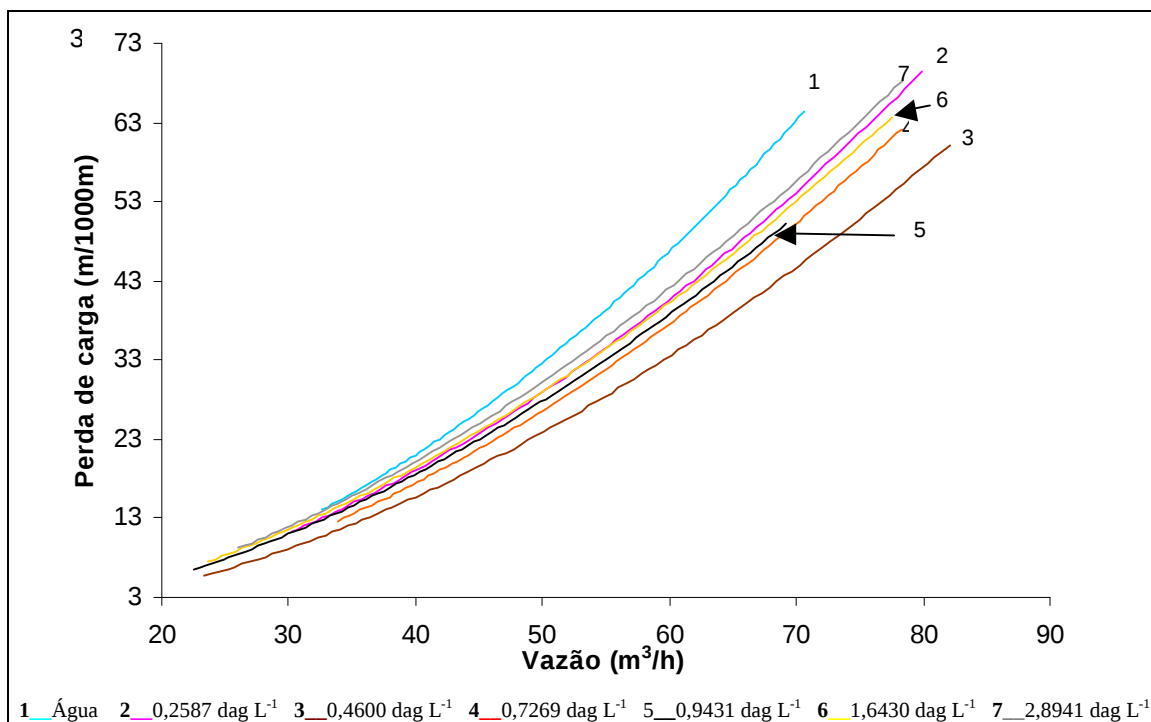


Figura 3C – Curvas ajustadas relacionando perda de carga unitária em função da vazão para a tubulação de ferro galvanizado de 105,90 mm

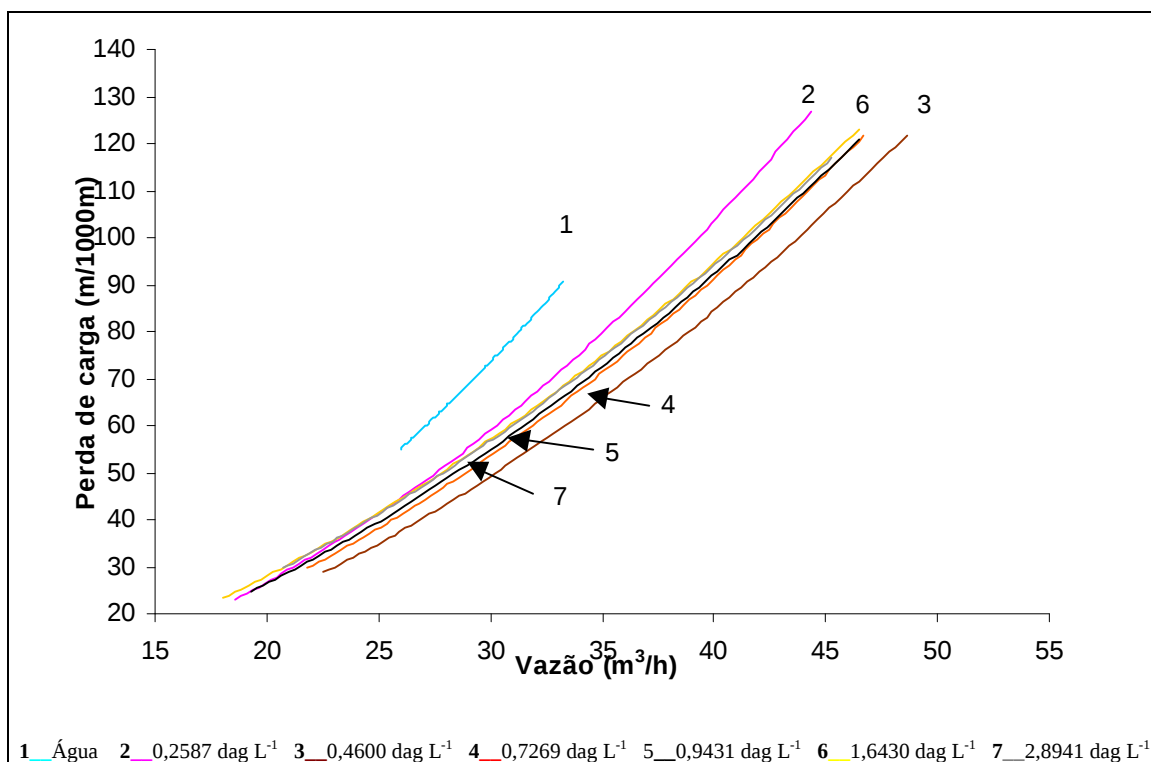


Figura 4C – Curvas ajustadas relacionando perda de carga unitária em função da vazão para a tubulação de ferro galvanizado de 84,01 mm

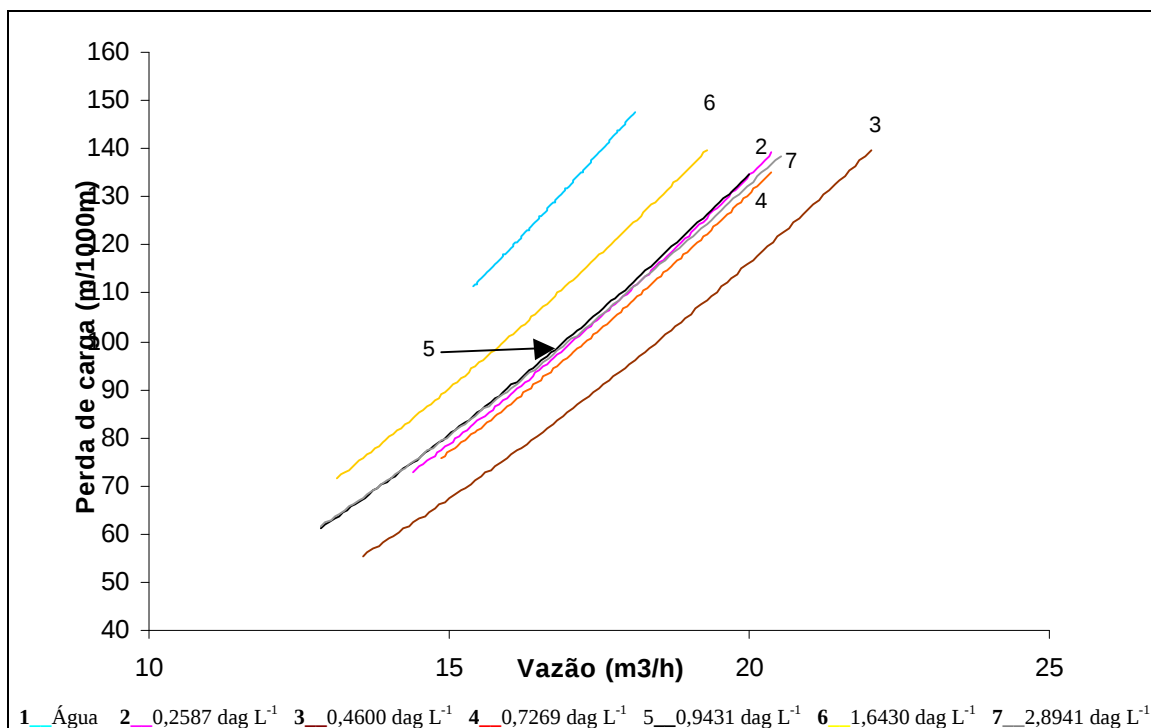


Figura 5C – Curvas ajustadas relacionando perda de carga unitária em função da vazão para a tubulação de ferro galvanizado de 53,75 mm

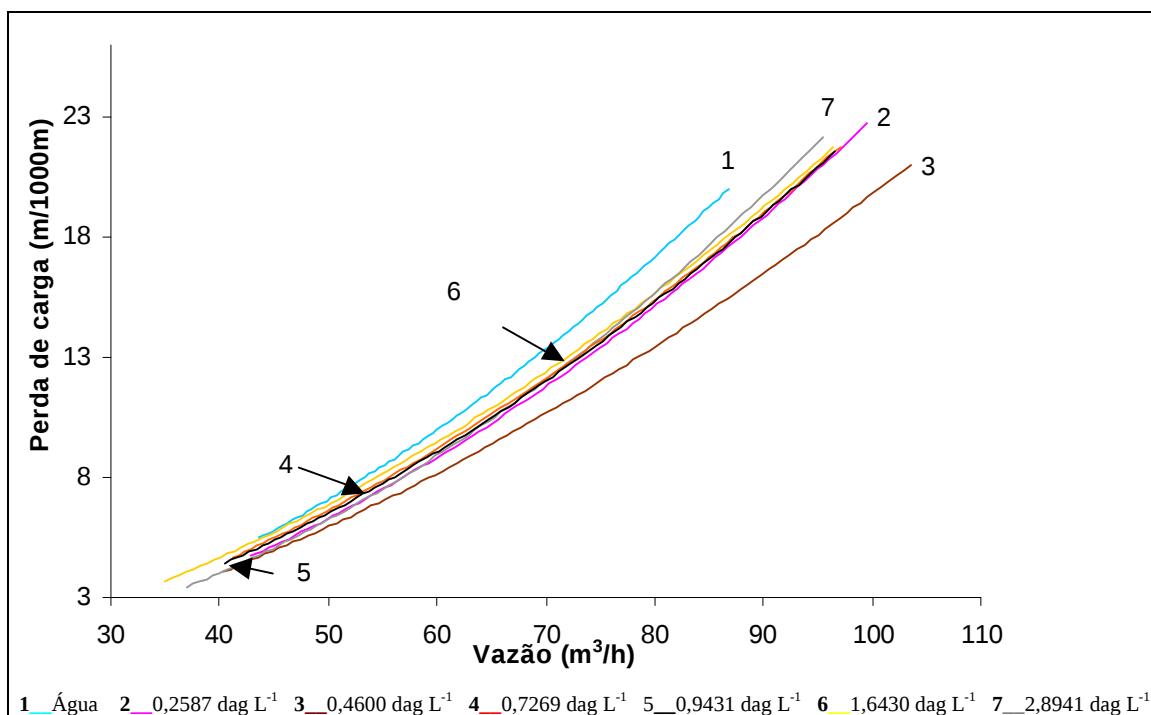


Figura 6C – Curvas ajustadas relacionando perda de carga unitária em função da vazão para a tubulação de aço zincado de 150,43 mm

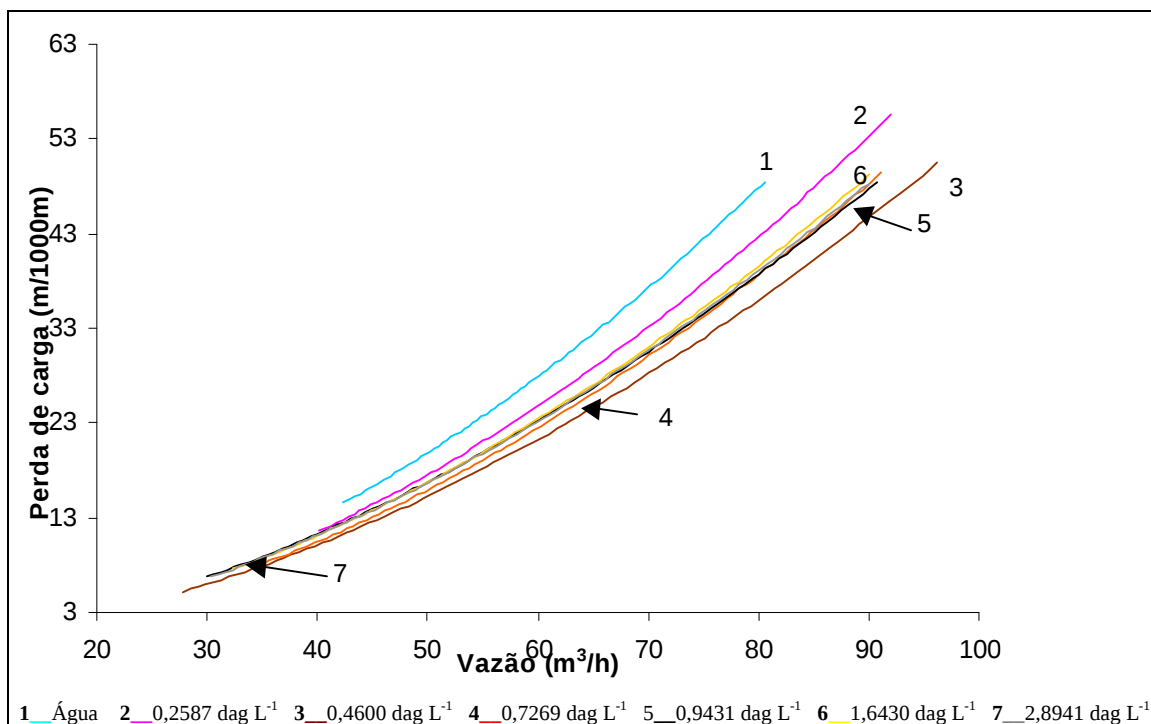


Figura 7C – Curvas ajustadas relacionando perda de carga unitária em função da vazão para a tubulação de aço zincado de 125,25 mm

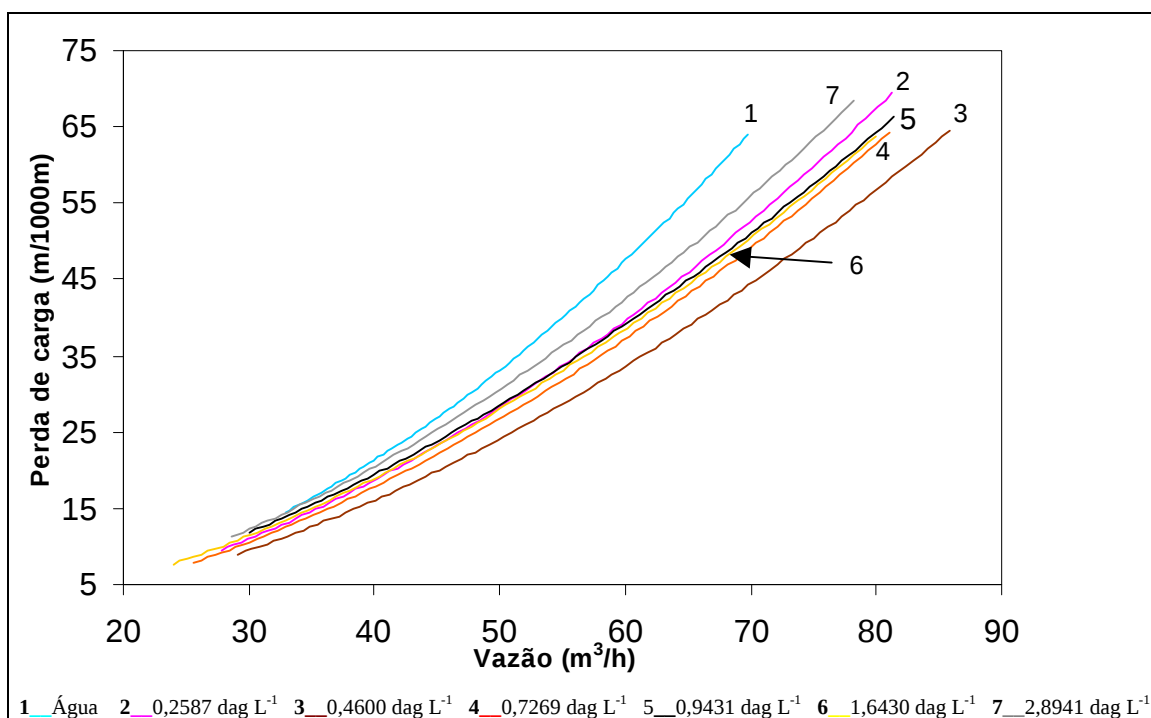


Figura 8C – Curvas ajustadas relacionando perda de carga unitária em função da vazão para a tubulação de aço zincado de 99,83 mm

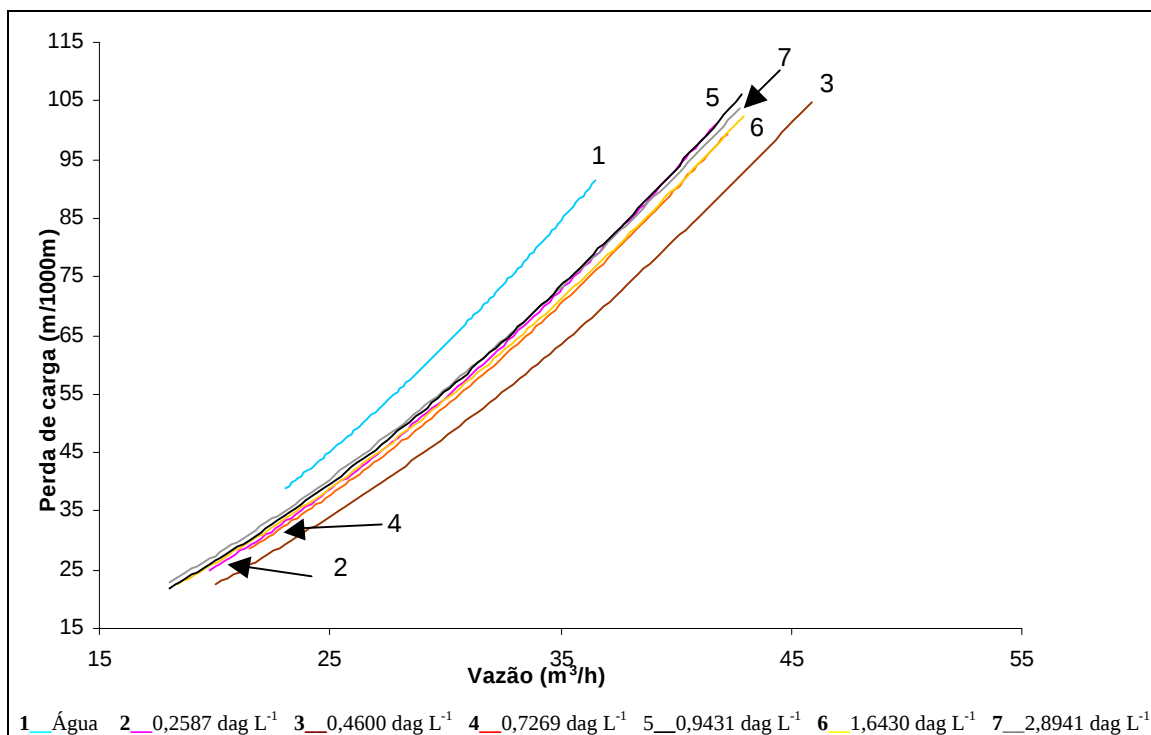


Figura 9C – Curvas ajustadas relacionando perda de carga unitária em função da vazão para a tubulação de aço zincado de 73,54 mm

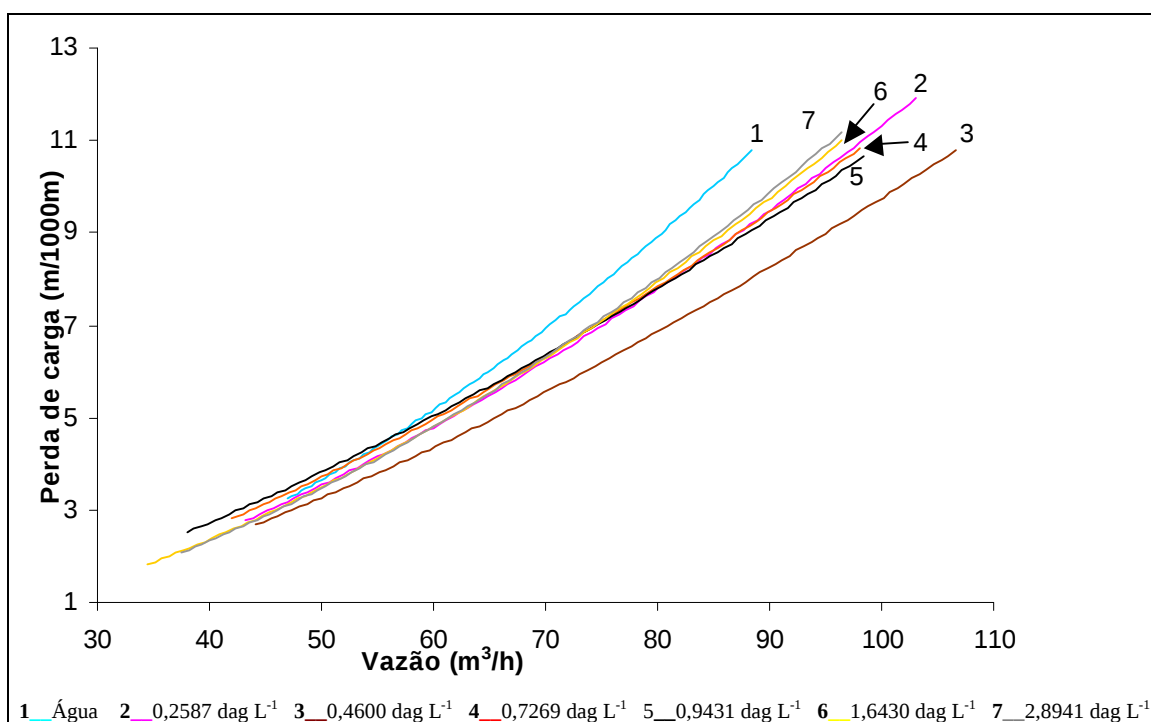


Figura 10C – Curvas ajustadas relacionando perda de carga unitária em função da vazão para a tubulação de PVC de 153,43 mm

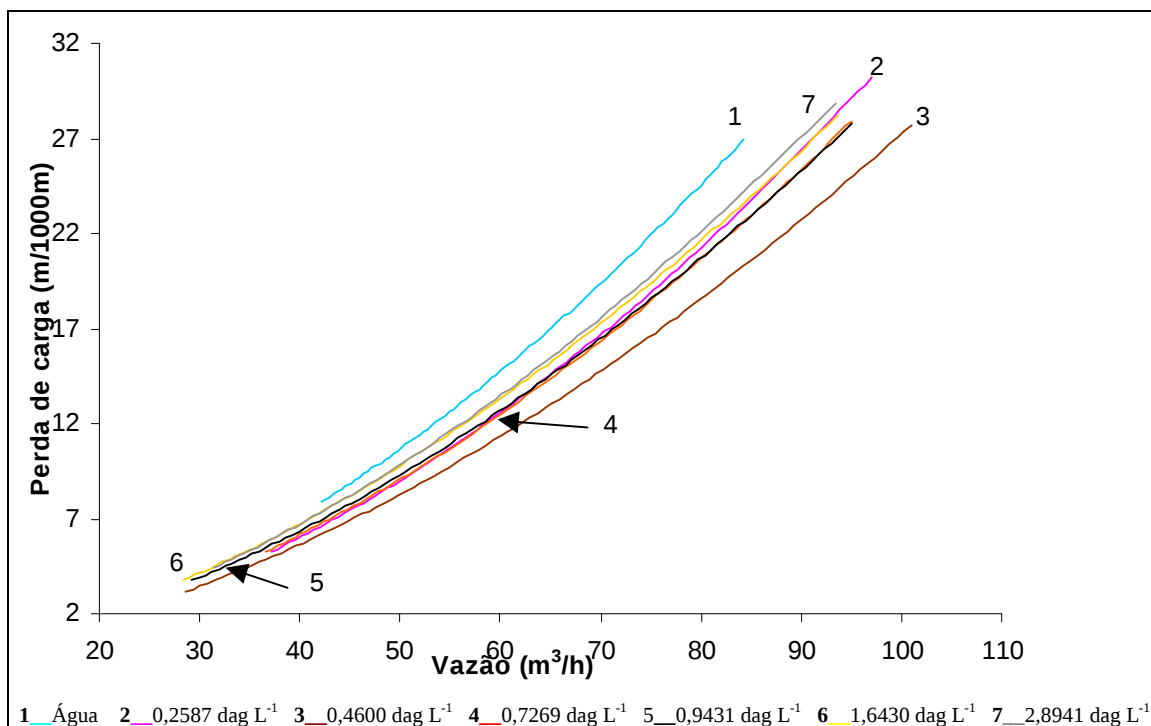


Figura 11C – Curvas ajustadas relacionando perda de carga unitária em função da vazão para a tubulação de PVC de 127,31 mm

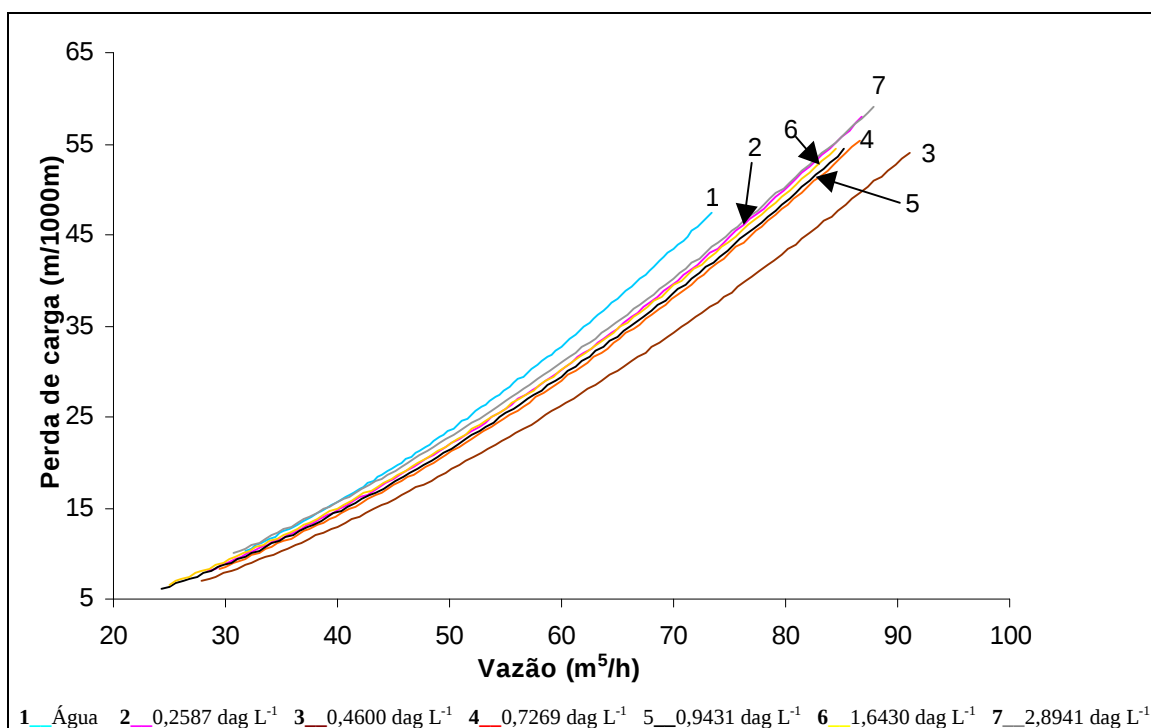


Figura 12C – Curvas ajustadas relacionando perda de carga unitária em função da vazão para a tubulação de PVC de 103,22 mm

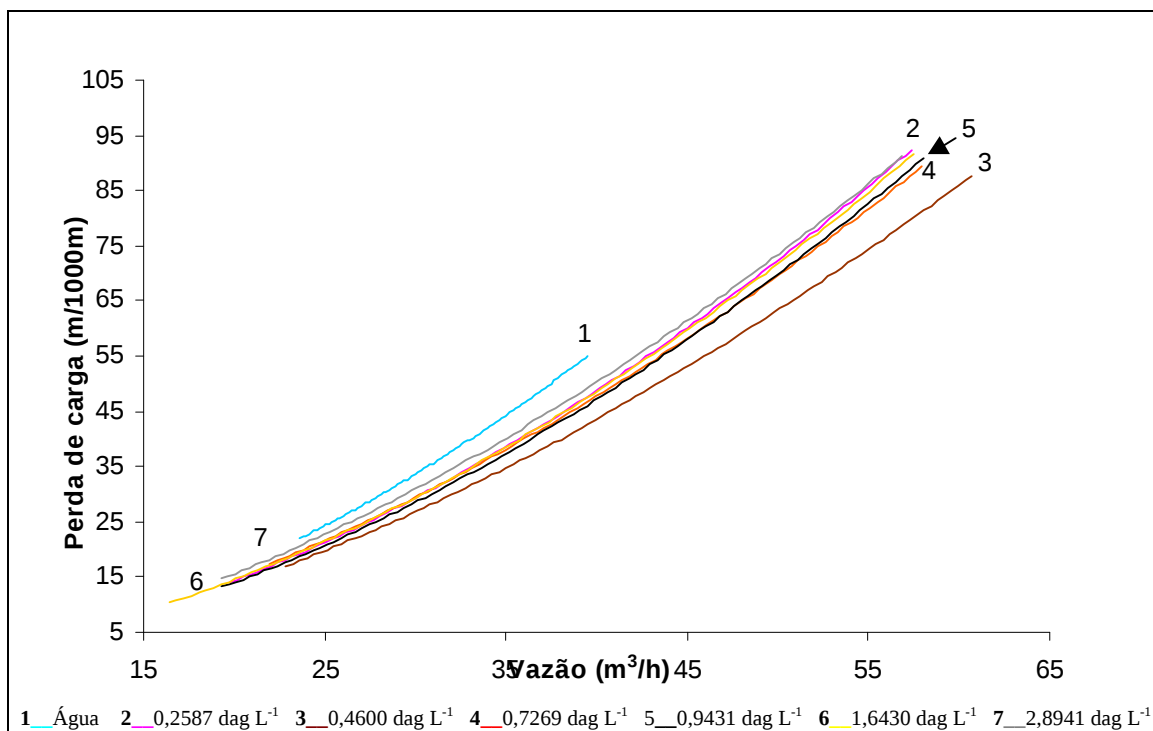


Figura 13C – Curvas ajustadas relacionando perda de carga unitária em função da vazão para a tubulação de PVC de 79,90 mm

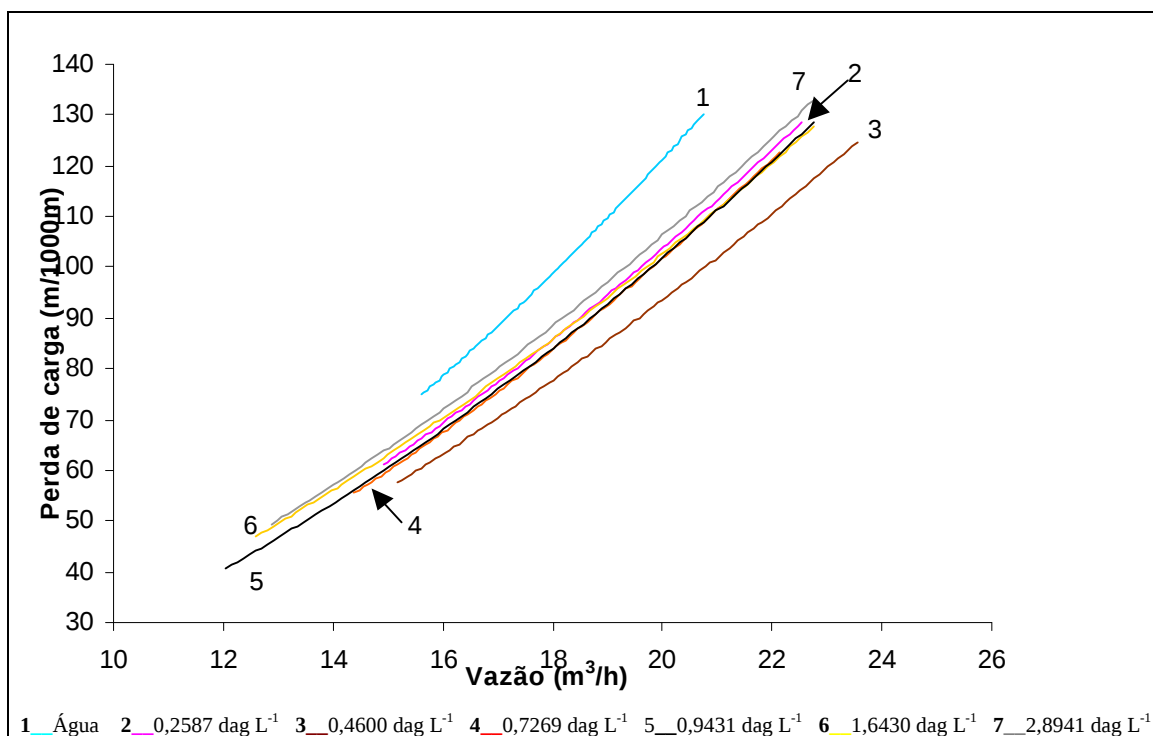


Figura 14C – Curvas ajustadas relacionando perda de carga unitária em função da vazão para a tubulação de PVC de 52,61 mm

APÊNDICE D

Quadro 1 D – Equações e respectivos coeficientes de determinação da perda de carga (J) em função da Vazão (Q), para as tubulações operando com água

Material	Diâmetro (mm)	Concentração (dag L ⁻¹)	Equação	r ²
Ferro galvanizado	155,48	Água	$\hat{y} = 0,0015x^{2,0009}$	0,9866
		0,2587	$\hat{y} = 0,0006x^{2,1688}$	0,9833
		0,4600	$\hat{y} = 0,0034x^{1,7452}$	0,9658
		0,7269	$\hat{y} = 0,0013x^{2,0049}$	0,9930
		0,9431	$\hat{y} = 0,0029x^{1,8231}$	0,9524
		1,6430	$\hat{y} = 0,0027x^{1,8503}$	0,9976
		2,8941	$\hat{y} = 0,0027x^{1,8617}$	0,9937
Ferro galvanizado	130,30	Água	$\hat{y} = 0,0062x^{1,8991}$	0,9942
		0,2587	$\hat{y} = 0,0069x^{1,7648}$	0,9959
		0,4600	$\hat{y} = 0,0080x^{1,7648}$	0,9973
		0,7269	$\hat{y} = 0,0081x^{1,7840}$	0,9952
		0,9431	$\hat{y} = 0,0070x^{1,8269}$	0,9975
		1,6430	$\hat{y} = 0,0050x^{1,9090}$	0,9924
		2,8941	$\hat{y} = 0,0112x^{1,7299}$	0,9994

Ferro galvanizado	105,90	Água	$\hat{y} = 0,0148x^{1,9687}$	0,9997
		0,2587	$\hat{y} = 0,0195x^{1,8672}$	0,9998
		0,4600	$\hat{y} = 0,0159x^{1,8695}$	0,9995
		0,7269	$\hat{y} = 0,0162x^{1,8921}$	0,9996
		0,9431	$\hat{y} = 0,0224x^{1,8213}$	0,9981
		1,6430	$\hat{y} = 0,0263x^{1,7907}$	0,9996
		2,8941	$\hat{y} = 0,0250x^{1,8142}$	0,9996
Ferro galvanizado	84,01	Água	$\hat{y} = 0,0796x^{2,0078}$	0,8813
		0,2587	$\hat{y} = 0,0760x^{1,9565}$	0,9987
		0,4600	$\hat{y} = 0,0823x^{1,8796}$	0,9993
		0,7269	$\hat{y} = 0,0976x^{1,8546}$	0,9993
		0,9431	$\hat{y} = 0,1203x^{1,8006}$	0,9990
		1,6430	$\hat{y} = 0,1457x^{1,7553}$	0,9997
		2,8941	$\hat{y} = 0,1454x^{1,7546}$	0,9984
Ferro galvanizado	53,75	Água	$\hat{y} = 0,9319x^{1,7492}$	0,9682
		0,2587	$\hat{y} = 0,5142x^{1,8577}$	0,9838
		0,4600	$\hat{y} = 0,3916x^{1,9005}$	0,9787
		0,7269	$\hat{y} = 0,5320x^{1,8373}$	0,9904
		0,9431	$\hat{y} = 0,6426x^{1,7842}$	0,9972
		1,6430	$\hat{y} = 0,8169x^{1,7371}$	0,9397
		2,8941	$\hat{y} = 0,7323x^{1,7352}$	0,9861

Aço zincado	150,43	Água	$\hat{y} = 0,0044x^{1,8857}$	0,9964
		0,2587	$\hat{y} = 0,0043x^{1,8659}$	0,9982
		0,4600	$\hat{y} = 0,0067x^{1,7349}$	0,9926
		0,7269	$\hat{y} = 0,0060x^{1,7927}$	0,9957
		0,9431	$\hat{y} = 0,0053x^{1,8169}$	0,9990
		1,6430	$\hat{y} = 0,0073x^{1,7505}$	0,9982
		2,8941	$\hat{y} = 0,0029x^{1,9601}$	0,9948
Aço zincado	125,25	Água	$\hat{y} = 0,0133x^{1,8693}$	0,9972
		0,2587	$\hat{y} = 0,0108x^{1,8896}$	0,9996
		0,4600	$\hat{y} = 0,0120x^{1,8277}$	0,9982
		0,7269	$\hat{y} = 0,0100x^{1,8839}$	0,9990
		0,9431	$\hat{y} = 0,0159x^{1,7800}$	0,9965
		1,6430	$\hat{y} = 0,0129x^{1,8327}$	0,9995
		2,8941	$\hat{y} = 0,0139x^{1,8119}$	0,9988
Aço zincado	99,83	Água	$\hat{y} = 0,0145x^{1,9773}$	0,9905
		0,2587	$\hat{y} = 0,0206x^{1,8472}$	0,9997
		0,4600	$\hat{y} = 0,0194x^{1,8208}$	0,9994
		0,7269	$\hat{y} = 0,0221x^{1,8140}$	0,9990
		0,9431	$\hat{y} = 0,0336x^{1,7247}$	0,9989
		1,6430	$\hat{y} = 0,0297x^{1,7504}$	0,9985
		2,8941	$\hat{y} = 0,0272x^{1,7956}$	0,9997

Aço zincado	73,54	Água	$\hat{y} = 0,1118x^{1,8642}$	0,9977
		0,2587	$\hat{y} = 0,0922x^{1,8758}$	0,9985
		0,4600	$\hat{y} = 0,0874x^{1,8530}$	0,9855
		0,7269	$\hat{y} = 0,0981x^{1,8493}$	0,9991
		0,9431	$\hat{y} = 0,1125x^{1,8225}$	0,9984
		1,6430	$\hat{y} = 0,1234x^{1,7878}$	0,9982
		2,8941	$\hat{y} = 0,1443x^{1,7516}$	0,9992
PVC	153,43	Água	$\hat{y} = 0,0022x^{1,8982}$	0,9864
		0,2587	$\hat{y} = 0,0049x^{1,6802}$	0,9703
		0,4600	$\hat{y} = 0,0068x^{1,5778}$	0,9553
		0,7269	$\hat{y} = 0,0074x^{1,5880}$	0,9314
		0,9431	$\hat{y} = 0,0102x^{1,5142}$	0,9843
		1,6430	$\hat{y} = 0,0037x^{1,748}$	0,9832
		2,8941	$\hat{y} = 0,0033x^{1,7799}$	0,9943
PVC	127,31	Água	$\hat{y} = 0,0103x^{1,7738}$	0,9954
		0,2587	$\hat{y} = 0,0072x^{1,8231}$	0,9996
		0,4600	$\hat{y} = 0,0100x^{1,7171}$	0,9979
		0,7269	$\hat{y} = 0,0097x^{1,7491}$	0,9992
		0,9431	$\hat{y} = 0,0119x^{1,7021}$	0,9689
		1,6430	$\hat{y} = 0,0135x^{1,6845}$	0,9993
		2,8941	$\hat{y} = 0,0118x^{1,7188}$	0,9988

PVC	103,22	Água	$\hat{y} = 0,0186x^{1,8255}$	0,9973
		0,2587	$\hat{y} = 0,0221x^{1,7630}$	0,9997
		0,4600	$\hat{y} = 0,0217x^{1,7334}$	0,9981
		0,7269	$\hat{y} = 0,0214x^{1,7616}$	0,9992
		0,9431	$\hat{y} = 0,0232x^{1,7459}$	0,9982
		1,6430	$\hat{y} = 0,0260x^{1,7237}$	0,9997
		2,8941	$\hat{y} = 0,305x^{1,6914}$	0,9987
PVC	79,90	Água	$\hat{y} = 0,0767x^{1,7887}$	0,9988
		0,2587	$\hat{y} = 0,0714x^{1,7692}$	0,9988
		0,4600	$\hat{y} = 0,0884x^{1,6807}$	0,9902
		0,7269	$\hat{y} = 0,0953x^{1,6855}$	0,9986
		0,9431	$\hat{y} = 0,0732x^{1,7538}$	0,9992
		1,6430	$\hat{y} = 0,0782x^{1,7438}$	0,9997
		2,8941	$\hat{y} = 0,0981x^{1,6915}$	0,9991
PVC	53,61	Água	$\hat{y} = 0,3579x^{1,9446}$	0,9884
		0,2587	$\hat{y} = 0,4635x^{1,8062}$	0,9964
		0,4600	$\hat{y} = 0,4837x^{1,7575}$	0,9968
		0,7269	$\hat{y} = 0,4075x^{1,8427}$	0,9922
		0,9431	$\hat{y} = 0,4477x^{1,8115}$	0,9989
		1,6430	$\hat{y} = 0,6496x^{1,6898}$	0,9958
		2,8941	$\hat{y} = 0,5773x^{1,7409}$	0,9943