



Perda de carga em tubos de PVC conduzindo água residuária do processamento de café¹

Jacinto de A. Carvalho², Reinaldo F. Aquino³, Geraldo M. Pereira⁴, Reginaldo C. Rodrigues⁵ & Thiago B. Campos⁵

RESUMO

Visando determinar a perda de carga distribuída e avaliar a variação dos coeficientes de atrito das equações Universal e de Hazen-Williams em tubulações comerciais de PVC, conduzindo águas residuárias do processamento do café (descascamento e demucilagem), ensaios foram conduzidos no Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, em que os resultados apontaram aumento do fator de atrito "f" e, conseqüentemente, da perda de carga, de 5 a 35% para águas residuárias da demucilagem e de 2 a 11% para água de descascamento, em relação à água pura, para tubulações de 75 e 25 mm, respectivamente. Ocorreu redução na perda de carga com a diluição das águas residuárias. O coeficiente "C", da equação de Hazen-Williams, variou de 125 (água de demucilagem e diâmetro 25 mm) a 148 (água residuária do descascamento e diâmetro 75 mm).

Palavras-chave: coeficiente de atrito, irrigação pressurizada, hidráulica

Head loss for PVC pipes conducting wasterwater of coffee processing

ABSTRACT

Experiments were conducted in the Hydraulics Laboratory of the Federal University of Lavras to determine the head loss and the friction coefficients of the Universal and Hazen-Williams equations in PVC commercials pipes conducting wastewater of coffee processing. The results indicated an increase of the attrition "factor f" and, consequently, of the head loss, from 5 to 35% for despulping wastewater, and from 2 to 11% for peeling wastewater in relation to water, for pipes of 75 and 25 mm respectively; the load loss decreased with the dilution of the wastewaters; the coefficient "C" of the Hazen-Williams equation varied from 125 (despulping wastewater and diameter 25 mm) to 148 (peeling wastewater and diameter 75 mm).

Key words: friction coefficient, peeling, despulping

¹ Trabalho financiado pelo Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café

² DEG/UFLA, Lavras, MG, Cp 37, CEP 37200-000, Lavras, MG. Fone (35) 3829.1489. E-mail: jacintoc@ufla.br

³ Doutorando em Engenharia Agrícola/UFLA, bolsista da Capes. E-mail: reifaquino@ig.com.br

⁴ DEG/UFLA, Lavras, MG, Cp 37, CEP 37200-000, Lavras, MG. Fone (35) 3829.1486. E-mail: geraldop@ufla.br

⁵ Graduando em Engenharia Agrícola, UFLA, bolsista IC FAPEMIG. E-mail: thiagobcampos@hotmail.com

INTRODUÇÃO

O café se situa entre as maiores fontes de renda da agricultura brasileira, sendo uma das mais importantes culturas de exportação do Brasil. As áreas produtoras estão distribuídas principalmente na região Centro-Sul (Minas Gerais, São Paulo, Espírito Santo e Paraná). O Sul de Minas Gerais, que além de dominar 25% da produção nacional, é responsável pela produção de cafés de excelente qualidade em virtude das condições de clima e solo favoráveis ao desenvolvimento da cultura.

A atividade de lavagem e despolpa de frutos do cafeeiro, necessária para a obtenção de redução de custo de secagem dos grãos e melhoria na qualidade da bebida, é geradora de grandes volumes de águas residuárias do café (ARC), ricas em material orgânico em suspensão e constituintes orgânicos e inorgânicos em solução. Devido ao elevado poder poluente que essas águas detêm, torna-se inadmissível o seu lançamento, sem tratamento, em corpos hídricos (Gonçalves et al., 2008).

Além disso, no Brasil, o lançamento de águas residuárias em corpos d'água deve atender à Resolução nº 357/05 do CONAMA, a qual estabelece os padrões de qualidade e de lançamento (Imhoff, 1998).

De acordo com Matos & Lo Mônico (2003), a utilização de ARC, em lavouras ou em tratamento de dejetos, pode representar contribuições significativas para a melhoria dos recursos hídricos da região, como a redução do volume de água captada em rios ou lagos para fins de irrigação e a minimização da poluição pela redução do lançamento de águas residuárias nos mananciais hídricos.

Deverá, ainda, consistir em fator econômico fundamental para o produtor já que a água captada em lagos e rios passará a ser taxada, de acordo com a nova legislação (Lei nº 9.433/97, da Política Nacional de Recursos Hídricos)*, sobre o uso da água em todos os estados brasileiros; entretanto, projetos de irrigação ou de tratamento de águas residuárias requerem dados técnicos referentes à situação encontrada na prática.

O tipo de fluido e, conseqüentemente, a sua perda de carga em tubulações, são fundamentais no dimensionamento das tubulações e das bombas desses sistemas, uma vez que a altura manométrica representa a energia fornecida ao líquido suficiente para vencer o desnível geométrico e as perdas de carga ocorridas ao longo do percurso (Carvalho et al., 2008).

Trabalhando com tubos de aço zincado, ferro galvanizado e PVC, em diferentes diâmetros, Sampaio et al. (2007) utilizaram água residuária da suinocultura, nas concentrações de sólidos totais de 0,08, 0,98, 2,08, 4,73, 7,66 e 8,56%, (com os respectivos pesos específicos: 1005,48; 1012,26; 1019,06; 1026,46 e 1030,04 kg m⁻³) e observaram que a adição de esterco suíno proporcionou aumento da perda de carga; eles declararam, também, que a desconsideração de fatores de correção, para tubulações conduzindo a ARS, pode levar a um subdimensionamento hidráulico da ordem de 70%; por fim, os autores averiguaram que a perda de carga possui comportamento linear em função da concentração de sólidos totais da água residuária, proveniente da suinocultura.

* Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

Esta necessidade de estudos é apresentada também por Sampaio et al. (2000, 2001), quando relatam que os métodos que estimam a perda de carga baseados na equação Universal e relacionam o fator de atrito às características de escoamento, não apresentaram bons ajustes, sobretudo quando se utilizou o Número de Reynolds Generalizado; assim, eles obtiveram tal conclusão em estudo da perda de cargas em tubulações de aço zincado, ferro galvanizado e PVC, conduzindo água e água residuária proveniente da suinocultura, nas concentrações de 0,98; 2,08; 4,73; 7,69 e 8,56%.

Desta forma, sendo as características hidráulicas do escoamento da ARC nas tubulações praticamente desconhecidas, podem ocorrer erros consideráveis no dimensionamento de sistemas de bombeamento, visto que são poucos os trabalhos que abordam detalhadamente o assunto devido, sem dúvida, ao grau de complexidade envolvido, por se tratar de um fluido com comportamento diferente do da água, razão pela qual se objetivou no presente trabalho: a) determinar a perda de carga distribuída em tubulações comerciais de PVC de diferentes diâmetros, operando com água pura e com diferentes concentrações de águas residuárias provenientes do descascamento e da demucilagem do café; b) avaliar a variação dos coeficientes de atrito das equações Universal e de Hazen-Williams, nas mesmas condições já citadas.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na Área Experimental de Hidráulica, setor de Engenharia de Água e Solo do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (Lavras, sul de Minas Gerais, altitude média de de 910 m, 21°14'S, e 45°00'W).

Montou-se uma bancada de ensaio, constituída de 2 caixas d'água de 10.000 l, tubulações de PVC, motobomba, medidores de vazão e pressão (Figura 1).

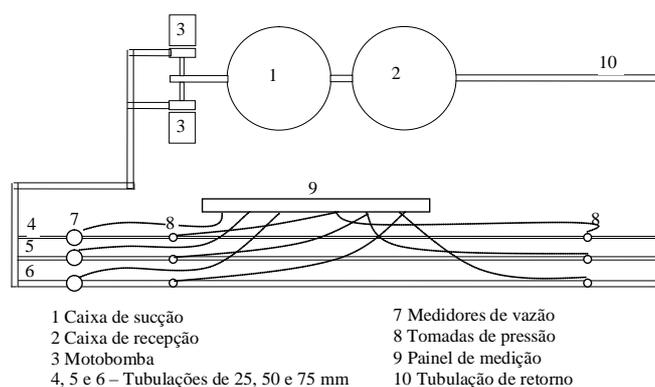


Figura 1. Croqui da bancada de ensaios

Utilizou-se um conjunto motobomba constituído de uma bomba marca FAL modelo FM 0605, rotor fechado de diâmetro 130 mm e motor elétrico WEG trifásico IP 55, de 5 cv, 3500 rpm, FS 1,15 e 60 Hz.

Para os ensaios, foram utilizadas tubulações de PVC, nos diâmetros comerciais de 25, 50 e 75 mm e diâmetros internos

21,4; 46,6 e 70,43 mm, respectivamente. Para cada diâmetro do tubo realizaram-se testes com diferentes valores de vazão. O tubo testado foi conectado ao sistema de bombeamento, ao medidor de vazão e aos manômetros diferenciais.

Utilizou-se um trecho reto de tubulação com comprimento útil de 25 m, para avaliação da perda de carga. As tomadas de pressão estavam localizadas na extremidade de cada trecho, com distância de 3 m a jusante e a montante de qualquer singularidade ao trecho útil, evitando o efeito de turbulências externas à área de interesse.

As tomadas de pressão foram instaladas sobre a superfície de cada tubulação; para tal, uma luva de diâmetro superior ao do tubo foi colada na parte externa da tubulação, aumentando a espessura da parede do tubo e evitando o surgimento de ressaltos no interior da tubulação.

A medição da vazão foi feita por meio de medidores de placa de orifício, construídos e calibrados no próprio Laboratório de Hidráulica. Estas placas foram confeccionadas utilizando-se de chapa metálica cilíndrica, com 2 mm de espessura, com o orifício central correspondendo 50% do diâmetro interno (D) de cada tubulação; as tomadas de pressão, a montante e a jusante, foram instaladas, respectivamente, a distâncias correspondentes 1 e ½ D. As Equações apresentadas na Tabela 1, demonstram as equações de ajuste obtidas.

Tabela 1. Equações ajustadas para medição das vazões junto às placas de orifícios

Equação	Diâmetro (mm)	
$Q = 0,0320 \cdot \sqrt{h}$	25	(1)
$Q = 0,1420 \cdot \sqrt{h}$	50	(2)
$Q = 0,3075 \cdot \sqrt{h}$	75	(3)

Q - vazão; L s⁻¹; h - diferencial da coluna de mercúrio; mm

A perda de carga foi determinada para cada tubulação, sob diversos valores de velocidade de escoamento. Esta velocidade foi controlada alterando-se o grau de abertura dos registros situados na saída da bomba e no início de cada trecho das tubulações; desta forma, a vazão poderia ser direcionada unicamente para uma tubulação (vazão máxima) ou distribuída aos 3 trechos, simultaneamente.

De forma análoga se obtiveram os diferentes valores das vazões em cada tubo, por meio da leitura da deflexão, no manômetro diferencial do medidor de vazão, tal como a perda de carga, através da deflexão da coluna de mercúrio do manômetro diferencial (Figura 2).

Conforme Carvalho et al. (2008), para determinação da perda de carga nas tubulações utilizou-se a Equação de Bernoulli (Eq. 4), aplicada a duas seções quaisquer de um líquido real em movimento, em que a soma das energias potencial e cinética, mais aquelas transformadas no processo de condução, é constante;

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + Z_2 + H_f \quad (4)$$

em que:

- $\frac{P}{\gamma}$ - carga de pressão, m
- $\frac{V^2}{2 \cdot g}$ - carga de velocidade ou cinética, m
- Z_1 e Z_2 - carga geométrica ou de posição, m
- H_f - perda de carga, m



Figura 2. Manômetros diferenciais utilizados para determinação da perda de carga na tubulação (A) e da vazão (B) através das placas de orifício

Considerando que a tubulação se encontrava horizontalmente em nível, em uma seção constante, com um escoamento plenamente estabelecido, obteve-se a análise dos dados, segundo a Eq. 5:

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{\Delta P}{\gamma} = H_f \quad (5)$$

sendo:

- P_1 - pressão no início do trecho, m
- P_2 - pressão no final do trecho, m
- γ - peso específico do fluido circulante, kgf m⁻³
- H_f - diferença de pressão entre o início e o final da tubulação, m

Os valores da perda de carga obtidos nos manômetros diferenciais, foram utilizados nas principais equações para estimativa da perda de carga, obtendo-se os coeficientes de atrito "f" e "C", das equações Universal (Eq. 6) e de Hazen-Williams (Eq. 7), respectivamente:

$$H_f = \frac{8 \cdot f \cdot Q^2 \cdot L}{\pi^2 \cdot g \cdot D^5} \quad \therefore f = 12,1 \cdot \frac{H_f \cdot D^5}{Q^2 \cdot L} \quad (6)$$

em que:

- f - fator de atrito (depende do material e do regime de escoamento)
- L - comprimento da tubulação, m
- V - velocidade, m s⁻¹
- D - diâmetro interno da tubulação, m
- g - aceleração da gravidade, m s⁻²
- Q - vazão, m³ s⁻¹

$$H_f = 10,643 \cdot \frac{L}{D^{4,87}} \cdot \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} \quad \therefore C = 3,58 \cdot \frac{Q}{D^{2,63}} \cdot \left(\frac{L}{H_f}\right)^{0,54} \quad (7)$$

em que:

C – coeficiente que depende da natureza das paredes do tubo e do seu estado de conservação

Ao longo do experimento, os fluidos avaliados foram: água pura e ARC do processamento do café (descascamento e demucilagem). Determinaram-se, de início, as perdas de carga apresentadas pelas tubulações da bancada conduzindo água limpa; assim, também se obtiveram as curvas de performance da motobomba do sistema (curvas Q x Hman, Q x Potência, e Q x rendimento).

Realizaram-se ensaios com diferentes valores de vazão por meio de regulagem da válvula de gaveta instalada na saída da bomba. Para cada tipo de fluido, água limpa e água residuária (demucilagem e de descascamento) e grau de diluição, ou seja, relação água residuária x água limpa (concentração original, 3:1; 2:1 e 1:1), o procedimento descrito anteriormente era repetido três vezes, obtendo, assim, um total de 30 valores de vazão, correspondendo a uma faixa de velocidades entre 0,5 e 3 m s⁻¹.

Amostras do fluido escoante foram coletadas na metade do tempo de cada ensaio, para medição da temperatura, das análises físicas e químicas do fluido; determinou-se o peso específico de cada fluido estudado por meio de pesagem de 1.000 mL da amostra composta e devidamente agitada, contida em um balão volumétrico; enfim, a concentração de sólidos totais (ST) foi obtida no Laboratório de Análise de Água do Departamento de Engenharia - LADEG - UFLA.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 se encontram as características dos fluidos utilizados (água residuária do descascamento e da demucilagem), cujos valores refletem os valores médios de amostragens obtidas ao longo dos ensaios com as águas residuárias.

Tabela 2. Concentração de sólidos totais (mg L⁻¹) e massa específica (kg m⁻³) para as águas residuárias, descascamento e demucilagem do café, utilizadas nos ensaios

Tipo de fluido	Sólidos totais (mg L ⁻¹)	Massa específico (kgf cm ⁻³)
Água residuária da demucilagem	6.122	0,996
Água residuária do descascamento	10.892	0,999
Água destilada	-	1,000

Observa-se, na Tabela 2, que a quantidade de sólidos totais presentes nas águas residuárias da demucilagem (0,61%) e do descascamento (1,09%) é considerada pequena, especialmente quando comparada com as quantidades presentes em outras águas residuárias, como no trabalho desenvolvido por Soccol et al. (1999), em que a concentração do esterco líquido suíno variou entre 0,94 e 7,77%.

Os valores da massa específica da ARC são inferiores aos da água, embora bastante próximos, resultando em diferenças menores que 0,5% sendo, portanto, de pouco efeito significativo no bombeamento. Peres & Suzaki (1988), apesar de terem encontrado diferenças em torno de 1% entre a massa

específica da água e da vinhaça, os consideraram iguais para efeitos de bombeamento.

Embora a viscosidade não tenha sido medida, notou-se, pelo tato, um aspecto pegajoso das águas residuárias, mais pronunciado para água proveniente da demucilagem, caracterizando maior viscosidade.

Na Figura 3 são apresentados, graficamente, os valores do fator de atrito “f” em função da velocidade de escoamento e do diâmetro da tubulação para água, ARC do descascamento e da demucilagem.

Nesta figura se observa que, considerando-se uma faixa de velocidades mais usual (1 a 2 m s⁻¹) o valor do fator de

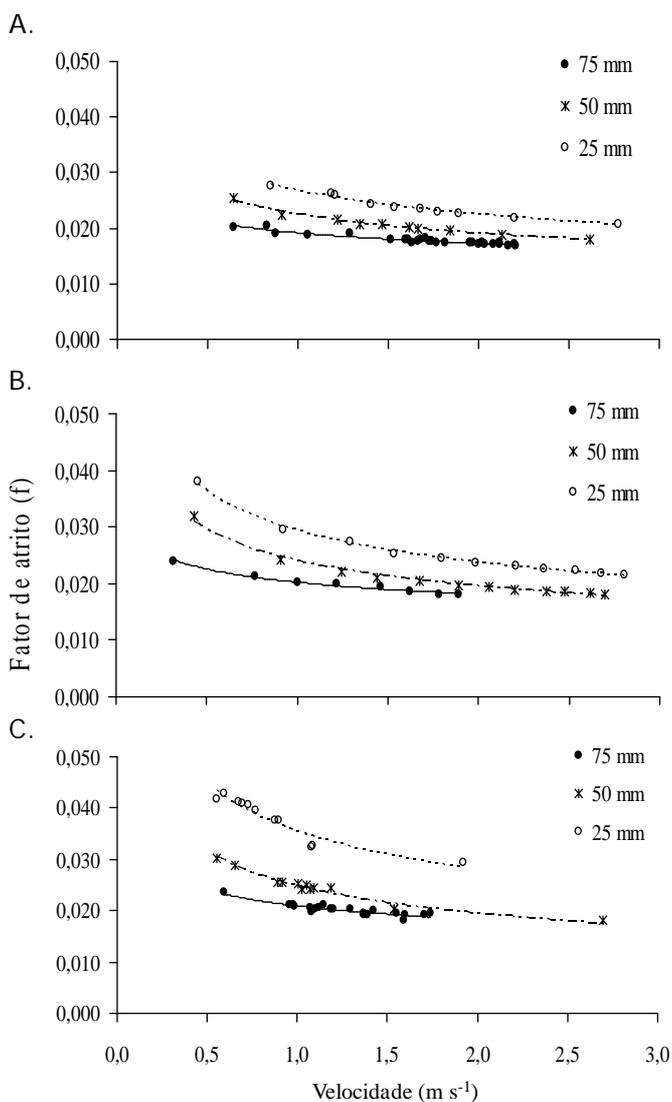


Figura 3. Variação do coeficiente de atrito “f” da equação Universal, em função da velocidade (m s⁻¹) e de diferentes diâmetros (mm) da tubulação, para água pura (A), água residuária do descascamento (B) e da demucilagem (C) nas concentrações originais

atrito “f” não apresenta variação acentuada, especialmente para água pura e água residuária do descascamento e diâmetros maiores (50 e 75 mm).

Para ARC da demucilagem a variação do fator de atrito “f” é sensivelmente maior; o uso de um valor médio para a faixa

de velocidades usuais poderia incorrer em grandes erros de estimativa da perda de carga.

Devido à presença de compostos residuais do processamento do café, as águas residuárias do descascamento e da demucilagem apresentaram uma inércia maior a ser vencida, ou seja, maior resistência ao escoamento; esta resistência, entretanto, apresentou comportamento inversamente proporcional à velocidade de escoamento e ao diâmetro da tubulação, comportamento que, embora semelhante ao apresentado pela água, proporcionou maiores valores do fator de atrito “f” e, conseqüentemente, maiores valores de perda de carga para as mesmas condições de velocidade e diâmetro da tubulação uma vez que, pela equação Universal, a perda de carga é diretamente proporcional ao valor de “f”.

Apresentam-se, na Tabela 3, os valores (%) do aumento do valor do coeficiente de atrito “f” em relação à água pura, para cada tipo e concentração de água residuária, em função da velocidade de escoamento e do diâmetro da tubulação.

Observa-se, ainda, que uma diluição na água residuária promove uma redução significativa do valor de “f” e, em conseqüência, da perda de carga; por outro lado, esta variação é mais significativa quando se faz a diluição da água residuária da demucilagem.

Por exemplo, a proporção de 3:1, ou seja, um acréscimo de 25% de água ao volume da água de demucilagem, já é suficiente para que o fator de atrito “f” e a perda de carga apresentem uma redução substancial. Para a água residuária do descascamento, uma diluição 3:1 não foi capaz de variar significativamente o valor da perda de carga, o que só é conseguido com uma diluição maior, ou seja, 2:1.

Sendo a perda de carga diretamente proporcional ao valor do coeficiente de atrito “f”, esta terá a mesma variação apresentada na tabela anterior; o acréscimo (%) na perda de carga em relação àquela obtida com água variou entre, aproximadamente, 5 e 35% com ARC de demucilagem e de 2 a 11% com ARC de descascamento, para diâmetros de 25 e 75 mm, respectivamente.

Apresenta-se, na Figura 4, a variação do valor do coeficiente “C” da equação de Hazen-Williams para a tubulação de PVC conduzindo diferentes tipos de fluido: água, ARC do

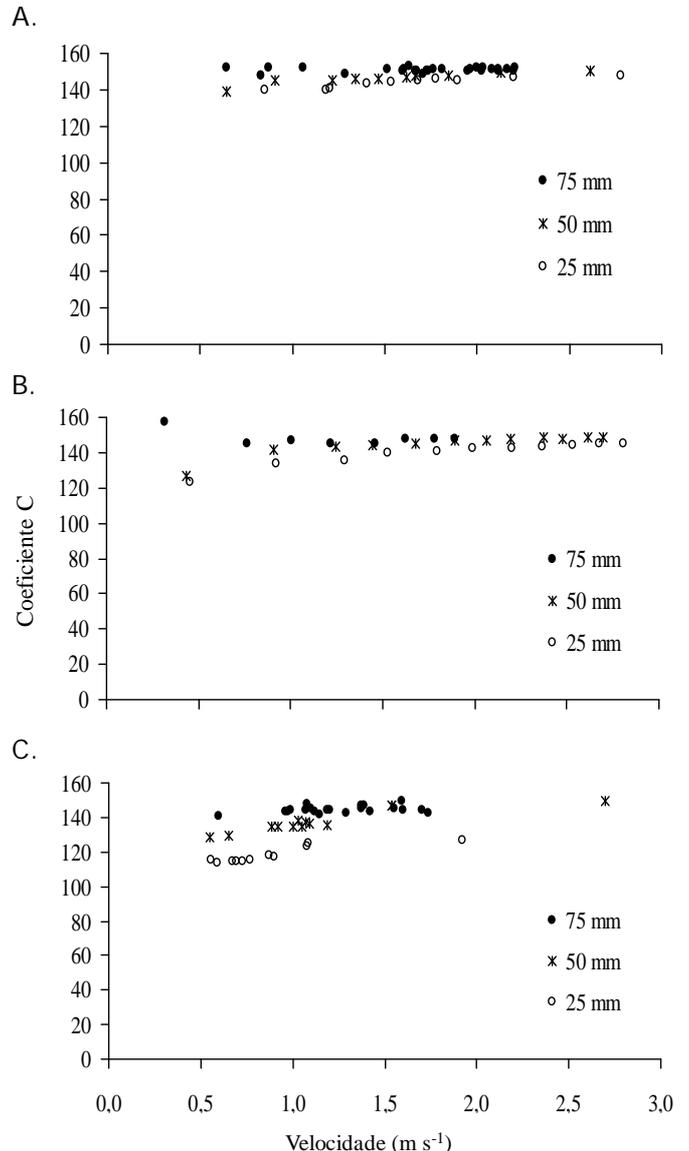


Figura 4. Variação do coeficiente “C” da equação de Hazen-Williams em função da velocidade ($m s^{-1}$) e de diferentes diâmetros (mm) da tubulação, para água pura (A), água residuária do descascamento (B) e da demucilagem (C) nas concentrações originais

Tabela 3. Aumento percentual do valor do coeficiente de atrito “f” para água residuária de descascamento e de demucilagem do café em relação à água pura, em função da velocidade de escoamento e do diâmetro da tubulação

Velocidade ($m s^{-1}$)	Diâmetro (mm)											
	Concentração original			+ 25% de água (3:1)			+ 33% de água (2:1)			+ 50% de água (1:1)		
	25	50	75	25	50	75	25	50	75	25	50	75
Demucilagem												
0,5	34,57	14,19	9,23	10,85	6,51	3,68	6,62	3,40	5,43	7,31	3,12	0,40
1,0	26,62	11,32	7,44	9,64	6,08	3,63	5,79	3,13	4,97	6,54	3,02	0,60
1,5	22,39	9,63	6,35	8,94	5,82	3,60	5,31	2,97	4,68	6,09	2,96	0,74
2,0	19,61	8,45	5,56	8,46	5,64	3,58	4,98	2,85	4,46	5,78	2,92	0,83
2,5	17,58	7,56	4,95	8,10	5,50	3,56	4,73	2,76	4,30	5,55	2,89	0,91
Descascamento												
0,5	11,05	7,69	5,47	11,16	7,48	5,06	8,90	1,64	1,62	-	-	-
1,0	8,21	5,82	4,15	8,25	5,61	3,76	6,69	0,84	0,93	-	-	-
1,5	6,61	4,71	3,33	6,62	4,49	2,95	5,43	0,36	0,50	-	-	-
2,0	5,52	3,93	2,74	5,51	3,71	2,37	4,58	0,01	0,18	-	-	-
2,5	4,72	3,33	2,28	4,68	3,11	1,92	3,94	0,00	0,00	-	-	-

descascamento e da demucilagem, com diferentes valores de velocidade de escoamento.

Observa-se, na figura acima, que a variação do valor do coeficiente "C" é pequena quando o fluido é a água ou água residuária do descascamento, especialmente para os diâmetros de 50 e 75 mm; entretanto, quando o fluido é a água de demucilagem, a variação do valor de "C" é mais pronunciada, em função da variação da velocidade e do diâmetro do tubo.

O valor do coeficiente "C" da equação de Hazen-Williams para água, ficou próximo a 150 (para tubos de PVC de 25 a 75 mm); ressalta-se que a equação de Hazen-Williams é recomendada para tubos com diâmetro mínimo de 50 mm. Os valores de "C" encontrados no presente trabalho ficaram próximos ao limite superior daqueles encontrados na literatura (150), mesmo quando se utilizou diâmetro de 25 mm (abaixo do limite de recomendação da equação de Hazen-Williams).

Mello & Carvalho (1998) obtiveram valores do coeficiente "C" variando entre 130 e 150 para velocidades de até 3 m s⁻¹ utilizando tubos de PVC de 25 mm. Sampaio et al. (2000, 2001) encontraram valores de "C" entre 140 e acima de 160, para água em tubulações de PVC com diâmetros entre 52,6 e 153,4 mm; já Peres & Suzaki (1988) utilizaram C = 150 para tubos de PVC conduzindo vinhaça e obtiveram perda de carga 9,4% acima do valor medido, significando que o valor de "C" deveria ser próximo a 157 para se igualar ao valor medido. A viscosidade da vinhaça foi de 10% superior a da água, e com temperaturas próximas a 30 °C.

A ARC da demucilagem apresentou, pelo tato, aspecto mais viscoso que aquele proveniente do descascamento e, esta, por sua vez, maior que a da água; assim, esta característica impôs, aos fluidos da ARC, um aumento da resistência ao escoamento.

Os menores valores do coeficiente "C" em relação à água, obtidos neste trabalho, refletem tal comportamento (Figura 3). Como o coeficiente "C" da equação é elevado ao expoente 1,852, uma redução neste coeficiente irá produzir uma variação maior no valor da perda de carga.

Desta maneira, um coeficiente 3,97% menor que o da água, como aquele obtido com a água de demucilagem, com diâmetro de 75 mm, poderá produzir uma perda de carga 8% superior àquela obtida com água.

Para uma tubulação de 25 mm com água de demucilagem, o coeficiente "C" é 125 (13,19% menor que aquele para a água na mesma tubulação) razão pela qual a perda de carga poderá atingir valores aproximadamente 30% acima da obtida quando o fluido escoante for a água (Tabela 4).

Tabela 4. Valor médio do coeficiente de rugosidade da equação de Hazen-Williams "C", variação percentual em relação ao valor para água e percentagem do aumento da perda de carga, em função do diâmetro (mm) do tubo e do fluido escoante

Ø (mm)	Água "C"	Descascamento			Demucilagem		
		"C"	%	% hf	"C"	%	% hf
75	151	148	-1,99	3,79	145	-3,97	7,80
50	146	145	-0,68	1,28	138	-5,48	11,00
25	144	140	-2,78	5,36	125	-13,19	29,96

Pelos resultados obtidos, tem-se que a adoção de um mesmo valor de "C" igual a 140, conforme recomendado na literatura (tubulações de plástico) estaria, ainda, superestimando a perda de carga, exceto para os diâmetros de 25 e 50 mm transportando água de demucilagem; entretanto, esses valores, embora maiores, se situam próximos de 140; a adoção deste último para a estimativa da perda de carga para diâmetros maiores que 25 mm pode, como medida prática, ser adotada.

CONCLUSÕES

1. O fator de atrito "f" e, conseqüentemente, a perda de carga, apresentaram maiores valores, primeiro para águas residuárias da demucilagem, seguida da água de descascamento, em relação à água, para as mesmas condições de velocidade de escoamento e diâmetro da tubulação.
2. O coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams apresentou redução média de 0,68 a 13,19% de seu valor para ARC quando em comparação com água pura, nas mesmas condições de velocidade e diâmetro.
3. A diluição das águas residuárias (descascamento e demucilagem) promoveu uma redução proporcional da resistência ao escoamento; conseqüentemente, menor perda de carga na tubulação em relação à concentração original.

LITERATURA CITADA

- Carvalho, J. A.; Aquino, R. F.; Pereira, G. M.; Rodrigues, R. C.; Campos, T. B. Desempenho de uma bomba centrífuga operando com água residuária do processamento do café. *Revista Engenharia Agrícola*, v.28, p.86-94, 2008.
- Gonçalves, M.; Guerreiro, M. C.; Oliveira, L. C. A.; Rocha, C. L. Materiais à base de óxido de ferro para oxidação de compostos presentes no efluente da despolpa do café. *Química Nova*, v.31, p.1636-1640, 2008.
- Imhoff, K. Manual de tratamento de águas residuárias. 26.ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1998. 600p.
- Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.
- Matos, A. T. de; Lo Monaco, A. P. Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos e líquidos da lavagem e despolpa dos frutos do cafeeiro. Viçosa: UFV, 2003. 60p. Boletim Técnico
- Mello, C. R.; Carvalho, J. A. Análise da equação de perda de carga de Hazen-Williams, associada aos regimes hidráulicos para tubos de PVC e polietileno de pequeno diâmetro. *Campina Grande, PB. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.2, n.3, p.247-352, 1998.
- Peres, J. G.; Suzaki, S. Bombeamento de vinhaça: Um estudo sobre perda de carga. *Brasil Açucareiro*, v.106, n.3, p.2-8, 1988.

- Sampaio, S. C.; Cilene, K; Vilas Boas, M. A.; Queiroz, M. F. de; Gomes, B. G.; Fazolo, A. Equação de Hazen-Williams corrigida para água residuária proveniente da suinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, n.1, p.5-10, 2007.
- Sampaio, S. C.; Deniculi, W.; Oliveira, R. A.; Silva, D. D. da; 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, 2000.
- Sampaio, S. C.; Deniculi, W.; Oliveira, R. A., Silva, D. D. da; 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.
- Soccol, O, J.; Deniculi, 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. *Revista Engenharia na Agricultura*, v.7, n.4, p.245-254, 1999.