

II-781 - PROPOSTA DE NOVOS CRITÉRIOS E NOVAS EQUAÇÕES PARA GARANTIR A AUTOLIMPEZA DE CONDUTOS DE ESGOTOS

Frederico Menezes Coelho⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Mestre e Doutor em Ciências em Engenharia Civil pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra (COPPE/UFRJ). Engenheiro Assistente Chefe de Análise de Projetos da Agência Reguladora de Energia e Saneamento Básico do Estado do Rio de Janeiro (AGENERSA). Professor Adjunto da Faculdade de Engenharia do Depto. de Eng. Sanitária e Meio Ambiente (FEN-DESMA) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).

Endereço⁽¹⁾: Rua São Francisco Xavier nº 524 - Pavilhão João Lyra Filho - 5º andar - Sala 5029 - Bloco E - CEP: 20550-013 - Brasil - Tel: (21) 99777-2563 - e-mail: frederico.coelho@eng.uerj.br

RESUMO

A metodologia de dimensionamento de sistemas coletores de esgotos sanitários utiliza critérios fixos para evitar os depósitos de sedimentos no fundo de condutos livres nas baixas vazões, sendo que esses critérios de autolimpeza apresentam valores que geralmente não consideram a sinergia dos parâmetros físicos e hidráulicos em situações reais operacionais, principalmente em sistemas separadores parciais, unitários e de captações em tempo seco. Isto posto, esse trabalho detalha novos conceitos de autolimpeza que abarcam as características dos condutos, dos fluidos e dos sedimentos, além do tipo de transporte dos sedimentos em situações reais operacionais. Ademais, as normas existentes e os critérios praticados foram devidamente analisados para, então, modelar matematicamente 829 dados existentes e representativos, extraídos de ensaios laboratoriais e de campo específicos para autolimpeza em operação de condutos esgotos ao redor do mundo, com distintos diâmetros, situações e materiais. Após análise estatística e validação do modelo proposto, novos valores de tensão trativa e novas equações de autolimpeza para critérios de projeto são apresentados, junto a uma nova metodologia, a fim de dimensionar hidráulicamente os coletores sanitários nas situações de vazões iniciais. Nesse caso, os valores mínimos de tensão trativa propostos são 1,0Pa para sistemas de esgotos tipo separador, 1,5Pa para sistemas com captações em tempo (coletores ou interceptores) e 2,0Pa para sistemas unitários ou pluviais. Por fim, recomenda-se utilizar uma nova equação geral de autolimpeza contendo o número de Froude (F_r^*) do sedimento, para depois utilizar tanto a velocidade mínima de autolimpeza (v_n) quanto a tensão trativa mínima de autolimpeza (τ_n), sob as condições reais operacionais do sistema sanitário.

PALAVRAS-CHAVE: Coletor, Sedimentos, Autolimpeza, Tensão trativa, Projetos de esgotos.

INTRODUÇÃO

Os coletores de esgotos devem em alta vazão transportar a descarga máxima de projeto e na baixa vazão estar sem depósitos de sedimentos, porque influenciam a hidráulica dos coletores.

Mundialmente, é adotada a velocidade mínima de fluxo (0,3 a 1,0m/s) ou a tensão mínima trativa (1,0 a 12,6Pa), para manter os sedimentos suspensos em movimento e, assim, evitar deposição no fundo (GUIMARÃES, 1975; ABNT, 1986; VONGVISESSOMJAI, TINGSANCHALI, & BABEL, 2010; AB. GHANI & AZAMATHULLA, 2011; AZAMATHULLA, AB. GHANI, & FEI, 2012; BSI, 2013; SAFARI, MOHAMMADI, & AB. GHANI, 2018; e MONTES, BERARDI, KAPELAN, & SILDARRIAGA, 2020).

O valor mínimo define a declividade do conduto, a fim de garantir o transporte contínuo dos sedimentos pelo menos uma vez por dia, porque o acúmulo de depósitos reduz a seção hidráulica do conduto e aumenta a rugosidade, diminuindo, assim, a vazão dos coletores sanitários, pluviais, unitários e de tempo seco. Ademais, provocam turbulência, condições sépticas (maus odores e corrosão) e extravasamentos (CAMP, 1946; ABNT, 1986; BSI, 2013 e EBTEHAJ & BONAKDARI, 2013), tornando inoperante o coletor afetado.

Entretanto, os critérios que utilizam um valor único de velocidade ou tensão trativa para autolimpeza são ineficazes, porque o transporte e os sedimentos variam sob as condições locais. Assim, os critérios de



autolimpeza devem conter parâmetros do material transportado (sedimentos e resíduos), características do fluxo e tipo de movimento dentro dos coletores (GAY, PRUS-CHACINSKI, NOVAK, & NALLURI, 1979; AZAMATHULLA, AB. GHANI, & FEI, 2012; SAFARI, AKSOY, UNAL, & MOHAMMADI, 2017; SAFARI, MOHAMMADI, GILANIZADEHDIZAJ, & SEYYEDI, 2017; e SAFARI, MOHAMMADI, & AB. GHANI, 2018).

OBJETIVOS

O presente trabalho propõe alterar os atuais critérios de projeto de coletores e apresentar novas equações para garantir a autolimpeza, que incluam as características dos sedimentos, o tipo de fluxo dentro dos coletores, para cada tipo de sistema (pluvial, separador, unitário e tempo seco), considerando as condições reais operacionais.

As características principais do fluido transportado são: massa específica (ρ); viscosidade cinemática (ν); raio hidráulico ($R=A/P$); profundidade hidráulica ($Y=A/B$); área molhada (A); largura da lâmina d'água (B); Perímetro molhado (P); altura d'água (y); fator de forma hidráulica (β).

As características dos sedimentos incluem os seguintes parâmetros: massa específica (ρ_s); densidade ($s=\rho_s/\rho$); dimensão média (d); concentração volumétrica (C_v); largura de sedimentos depositados (W_b); altura de sedimentos depositados (t_s); área da seção transversal com sedimentos depositados (A_s); perímetro da área da seção transversal com sedimentos depositados (P_s); tamanho adimensional (D_{gr}); número de Reynolds do sedimento (Re^*).

Em relação ao conduto utilizado e sua interação com o fluido transportado têm-se: diâmetro do conduto ou largura da base (D ou W); coeficiente de atrito de Darcy-Weisbach (f); coeficiente de Manning (n); declividade hidráulica (S); profundidade total do fluido e sedimentos depositados ($y_t=y+t_s$); g =aceleração da gravidade.

A Figura 1 apresenta a seção transversal típica de condutos circulares, contendo algumas das grandezas físicas citadas anteriormente.

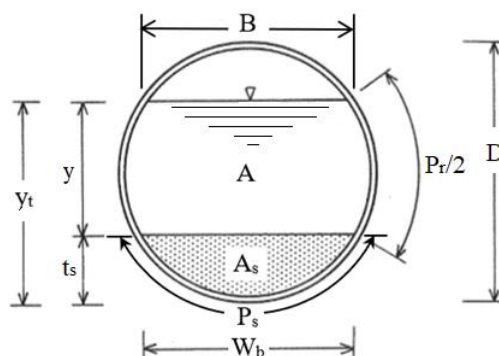


Figura 1: Seção transversal típica de condutos circulares com sedimentos depositados no fundo (COELHO, 2022)

Por fim, o tipo de transporte do sedimento no fundo do conduto pode ser com Movimento Incipiente ou completo (arraste total dos sedimentos de fundo). Já o transporte para a não deposição de sedimentos pode ser tipo: sem depósitos no fundo do conduto (Não Deposição); ou com Depósito Incipiente no conduto; ou, ainda, com depósitos (Deposição) no fundo do conduto, onde é permitida uma pequena camada de sedimentos no fundo, conforme mostra o ciclo da Figura 2 (SAFARI, MOHAMMADI, & AB. GHANI, 2018).

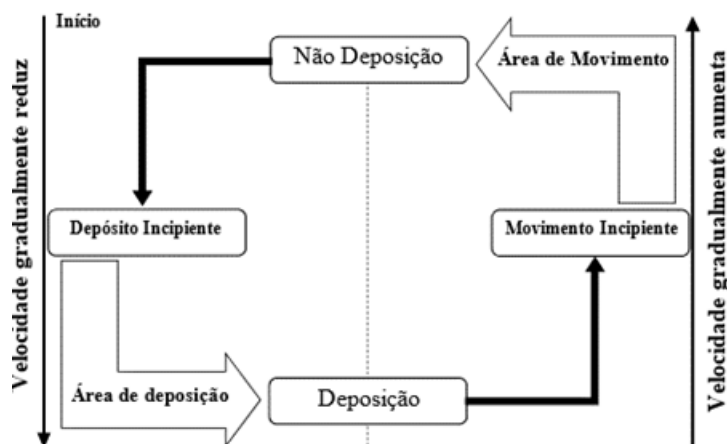


Figura 2: Tipos de transporte de sedimentos de acordo com a velocidade do fluido (SAFARI, MOHAMMADI, & AB. GHANI, 2018 adaptada por COELHO, 2022)

METODOLOGIA UTILIZADA

Para embasar a proposição de novos critérios e outras fórmulas de autolimpeza, foram utilizados dados de velocidades mínimas (v_n) e tensões trativas mínimas (τ_n) de autolimpeza calculados ou obtidos em pesquisas internacionais sobre o tema, sendo 829 dados experimentais de transporte de sedimentos de oito grupos de pesquisadores em onze ensaios, com diferentes materiais.

Nesse caso, são 431 dados de experimentos de autolimpeza tipo não deposição de sedimentos sem depósitos no fundo (Tabela 1) e 398 dados do tipo não deposição de sedimentos com depósitos no fundo (Tabela 2). Este tipo com depósitos permite uma espessura máxima de sedimentos no fundo de coletores de diâmetros maiores, desde que não afete significativamente o movimento hidráulico (segundo SAFARI, MOHAMMADI, & AB. GHANI, 2018; MONTES, BERARDI, KAPELAN, & SALDARRIAGA, 2020; SAFARI, MOHAMMADI, GILANIZADEHDIZAJ, & SEYYEDI, 2017; AB. GHANI, 1993; MAY, 1993 e VONGVISESSOMJAI, TINGSANCHALI, & BABEL, 2010).

Tabela 1: Dados modelados para critérios de autolimpeza tipo não deposição de sedimentos sem depósitos no fundo

Pesquisadores	Ano	Dados
Ab. Ghani	1993	110
May	1993	27
Mayerle	1988	211
Montes <i>et al.</i>	2020	44
Safari <i>et al.</i>	2017	12
Vongvisessomjai et al.	2010	27

Tabela 2: Dados modelados para critérios de autolimpeza tipo não deposição de sedimentos com depósitos no fundo

Pesquisadores	Ano	Dados
Ab. Ghani	1993	26
El-Zaemey	1991	290
May	1993	67
Perrusquía	1992	10
Perrusquía	1993	5

Esses dados foram inseridos nos principais modelos existentes e nos novos modelos propostos de autolimpeza em condutos, que utilizam parâmetros adimensionais para prever transporte de sedimentos, ao calcular o número adimensional de Froude do movimento da partícula do sedimento (F_r^*), conforme Equação 1, e,



depois, a velocidade de autolimpeza (v_n) ou a tensão trativa mínima (τ_n), de acordo com a Equação 2 e a Equação 3, respectivamente. Adicionalmente, têm-se as equações para o número de Reynolds do sedimento (Equação 4), o tamanho adimensional do sedimento (Equação 5), o fator de forma hidráulica (Equação 6) e o coeficiente de atrito (Equação 7) no conduto (EBTEHAJ, BONAKDARI, & SHARIFI, 2016; SAFARI, MOHAMMADI, & AB. GHANI, 2018; e MONTES, BERARDI, KAPELAN, & SALDARRIAGA, 2020).

$$F_r^* = c_0(R_e^*)^{c_1} C_v^{c_2} D_{gr}^{c_3} (d/D)^{c_4} (d/R)^{c_5} (D^2/A)^{c_6} (B/R)^{c_7} (y/P)^{c_8} (y/D)^{c_9} (d/y)^{c_{10}} (t_s/y)^{c_{11}} (t_s/d)^{c_{12}} (W_b/y)^{c_{13}} \beta^{c_{14}} f^{c_{15}} S^{c_{16}}$$

Equação 1

Sendo:

$$F_r^* = v_n [gd(s-1)]^{-0,5} \rightarrow v_n = F_r^* [gd(s-1)]^{0,5}$$

Equação 2

$$\tau_n = v_n^2 \rho$$

Equação 3

$$R_e^* = v_n d \nu^{-1}$$

Equação 4

$$D_{gr} = [gd^3(s-1)v^{-2}]^{1/3}$$

Equação 5

$$\beta = (P/B)^{0,5} [1,31(B/Y)^{-0,49}]^{-1}$$

Equação 6

$$f = 8gn^2 R^{-1/3}$$

Equação 7

Os coeficientes c_0 a c_{16} são geralmente obtidos experimentalmente ou em modelos computacionais. Neste trabalho, os coeficientes foram ajustados em modelos de algoritmo genético ou de regressão linear múltipla ou de regressão não linear.

RESULTADOS OBTIDOS OU ESPERADOS

Os resultados estatísticos dos parâmetros utilizados para estabelecer novos critérios de autolimpeza de coletores, bem como as novas equações propostas, têm as abrangências apresentadas na Tabela 3, na Tabela 4 e na Tabela 5.

Tabela 3: Dados e resultados amostrais dos experimentos realizados pelos pesquisadores

Par. Est.	D mm	d mm	s -	S %	C _v ppm	Y mm	R mm	v _n ms ⁻¹	t _s mm	W _b mm	A m ²	P m	B m	n=n _s m ^{-1/3} s	σ N/m ²
Mínimo	100	0,15	2,49	0,04	1	0,63	11,2	0,24	5	45	0,000	0,025	0,000	0,004	0,26
1º Quartil	242	0,73	2,56	0,18	70	59,0	42,0	0,54	47	220	0,010	0,265	0,152	0,010	0,91
2º Quartil	305	2,00	2,59	0,25	160	82,0	55,0	0,63	77	265	0,018	0,363	0,279	0,011	1,28
3º Quartil	312	4,20	2,63	0,38	326	125,0	71,0	0,75	95	298	0,030	0,538	0,312	0,013	1,80
Máximo	462	8,74	2,79	1,00	7.211	450,0	136	1,33	130	407	0,159	1,414	0,462	0,031	9,35
Mediana	305	2,00	2,59	0,25	160	82,0	55,0	0,63	77	265	0,018	0,363	0,279	0,011	1,28
Média	304	2,79	2,59	0,29	271	106,4	58,7	0,65	76	265	0,029	0,408	0,273	0,011	1,47

Tabela 4: Abrangência dos parâmetros adimensionais relativos ao fluido, calculados a partir dos dados amostrais

Estad. Par.	D ² /A	B/R	y/P	y/D	d/R	d/y	t _s /y	W _b /y	β
Mínimo	1,27	0,00	0,025	0,003	0,004	0,001	0,000	0,000	0,00
1º Quartil	2,56	4,05	0,216	0,210	0,012	0,008	0,000	0,000	1,51
2º Quartil	4,36	4,92	0,265	0,318	0,036	0,028	0,000	0,000	1,72
3º Quartil	7,20	5,49	0,318	0,498	0,086	0,065	0,606	2,157	1,92
Máximo	5.679,79	28,09	0,361	1,000	0,416	0,616	3,000	7,450	5,62
Mediana	4,36	4,92	0,265	0,318	0,036	0,028	0,000	0,000	1,72
Média	85,13	4,94	0,245	0,344	0,059	0,068	0,361	1,253	1,87

Tabela 5: Abrangência dos parâmetros adimensionais relativos aos sedimentos e ao conduto, calculados a partir dos dados amostrais

Estat. Par.	s	d/D	C_v	D_{gr}	t_s/d	f	S	Re^*	F_r^*
Mínimo	2,49	0,0005	0,000001	3,46	0,000	0,003	0,00041	47,4	1,26
1° Quartil	2,56	0,0020	0,000070	16,85	0,000	0,018	0,00183	514,7	2,46
2° Quartil	2,59	0,0066	0,000160	45,21	0,000	0,024	0,00251	1.162,2	3,72
3° Quartil	2,63	0,0168	0,000326	95,76	26,552	0,033	0,00380	2.632,0	5,61
Máximo	2,79	0,0575	0,007211	197,56	226,415	0,193	0,01000	10.001,5	13,53
Mediana	2,59	0,0066	0,000160	45,21	0,000	0,024	0,00251	1.162,2	3,72
Média	2,59	0,0110	0,000271	63,71	27,489	0,027	0,00286	1.844,9	4,33

Os valores de velocidades mínimas de autolimpeza (v_n) e suas respectivas tensões trativas mínimas de autolimpeza ($\sigma = \tau_n$) estão apresentados adiante (Figura 3, Figura 4 e Figura 5), identificados por tipo de material do coletor ensaiado (acrílico, PVC ou concreto), pela forma (circular, trapezoidal ou retangular) e pelo diâmetro (100 a 450mm) ou largura da base (300 a 462,3mm) do coletor.

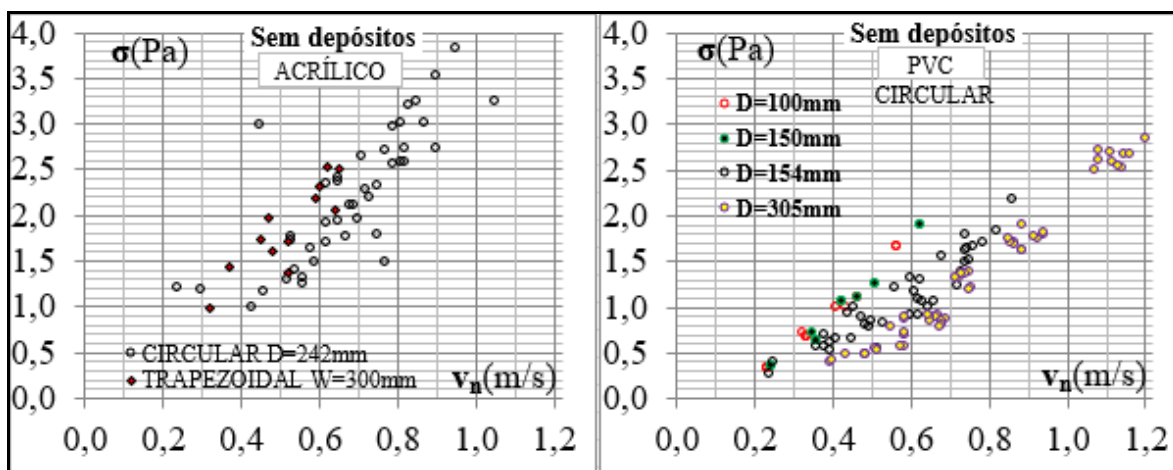


Figura 3: Velocidades mínimas de autolimpeza e respectivas tensões trativas para coletores de acrílico e PVC, considerando a não deposição de sedimentos tipo sem depósitos no fundo do conduto

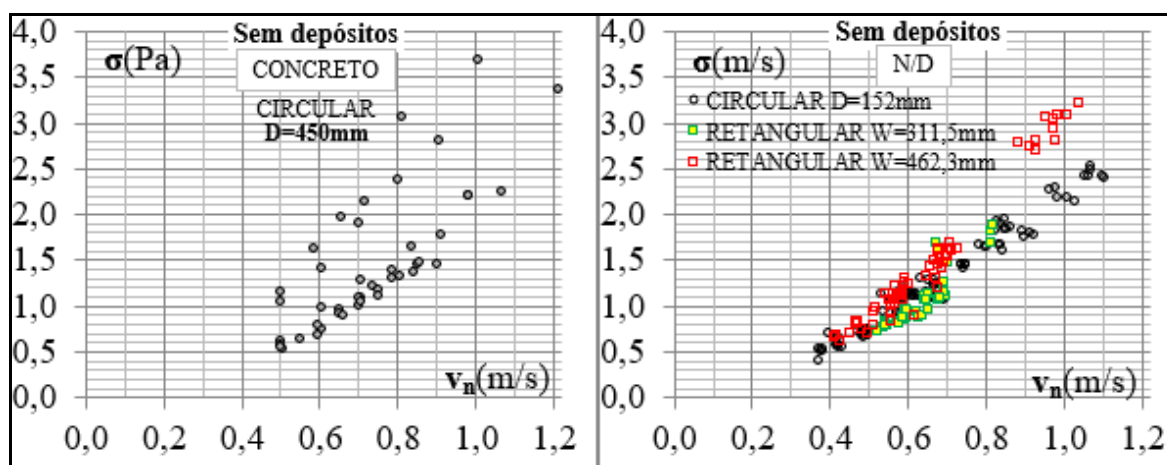


Figura 4: Velocidades mínimas de autolimpeza e respectivas tensões trativas para coletores de concreto e em geral (N/D), considerando a não deposição de sedimentos tipo sem depósitos no fundo do conduto

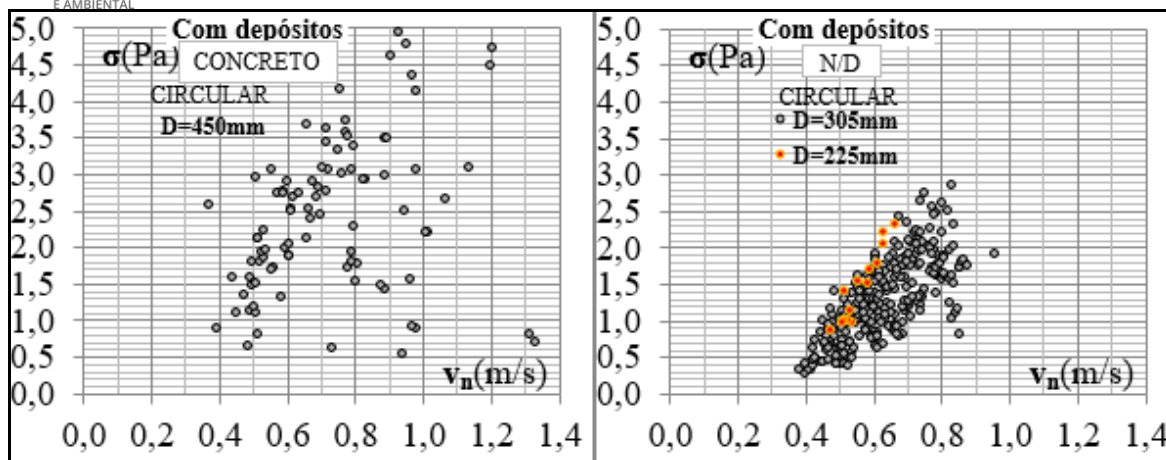


Figura 5: Velocidades mínimas de autolimpeza e respectivas tensões trativas para coletores de concreto e em geral (N/D), considerando a não deposição de sedimentos tipo com depósitos no fundo do conduto

Com relação aos resultados do número de Froude do sedimento (F_r^*), este varia diretamente proporcional com o número de Reynolds do sedimento (Re^*) e com a velocidade de autolimpeza (v_n) no coletor de esgotos. No entanto, o número de Froude (F_r^*) diminui exponencialmente com o diâmetro do sedimento (d) presente nos esgotos. A Figura 6 ilustra esses comportamentos.

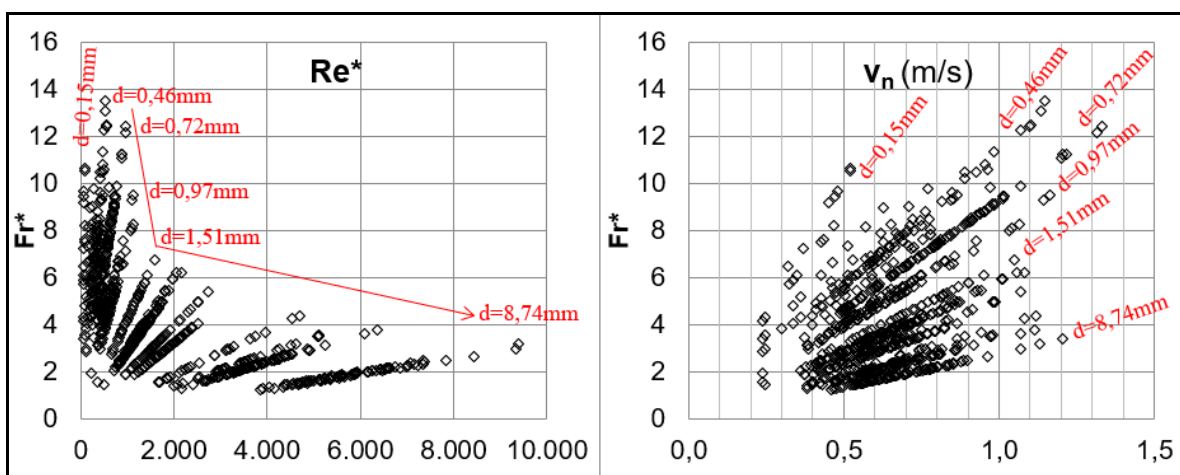


Figura 6: Comportamento do número de Froude do sedimento (F_r^*) com o número de Reynolds do sedimento (Re^*) e com a velocidade mínima de autolimpeza (v_n) do coletor

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

No Brasil, as normas ABNT NBR 14486, 9649 e 12207 (ABNT, 1986; 2000; 2016) fixam valores mínimos de tensão trativa 0,6Pa (coletores em PVC), 1,0Pa (coletores em geral) e 1,5Pa (coletores em tempo seco ou interceptores em tempo seco, ou, ainda, unitário).

De acordo com a Figura 3, para transporte de sedimentos sem depósitos no fundo, os coletores de materiais considerados internamente lisos (acrílico, que é para testes laboratoriais, e PVC), em sua grande maioria, apresentaram tensões trativas acima de 0,6Pa. Enquanto os coletores em concreto (e em geral) tiveram tensões trativas de autolimpeza bem acima de 1,0Pa e acima 1,5Pa, na maioria dos ensaios, conforme a Figura 4.

Já nos ensaios considerando uma camada de sedimentos depositados no fundo do coletor, os valores foram maiores do que 1,5Pa para coletores em concreto, em sua enorme maioria, e entre 0,5 e 3,0Pa para coletores em geral (vide Figura 5). Na prática, os valores chegaram a exceder 2,0Pa, principalmente em tubos de maiores diâmetros.

Após inserir os dados no algoritmo genético gerado pelo programa **GeneXproTools** (GEP SOFT, 2024), obteve-se o modelo 845 (Equação 8) para o número de Froude do sedimento (Fr^*), sendo utilizado 553 dados para treinamento do modelo e 276 dados para validação do modelo, que atingiu a maior precisão ($R^2=0,97$ e $RMSE=705$, vide validação da equação na Figura 7).

Essa equação **geral** (Equação 8) proposta pelo autor deste trabalho utilizou os parâmetros adimensionais d/R , f e S e é válida para transporte de sedimentos tipo não deposição de sedimentos, com movimento **sem** depósitos no fundo ou **com** depósitos no fundo do coletor de esgotos. A partir desta equação, calculam-se a velocidade mínima de autolimpeza (v_n) e a tensão trativa mínima de autolimpeza (τ_n), conforme fórmulas apresentadas anteriormente.

$$Fr^* = [1 + 2305,2Sf^{-1}(d/R)^{-1}]^{1,5} + [0,079Sf^{-1}(d/R)^{-1}]^{5,3} + e^{(2(d/R)-f)} + (d/R)^{1,5} \ln(S)$$

Equação 8

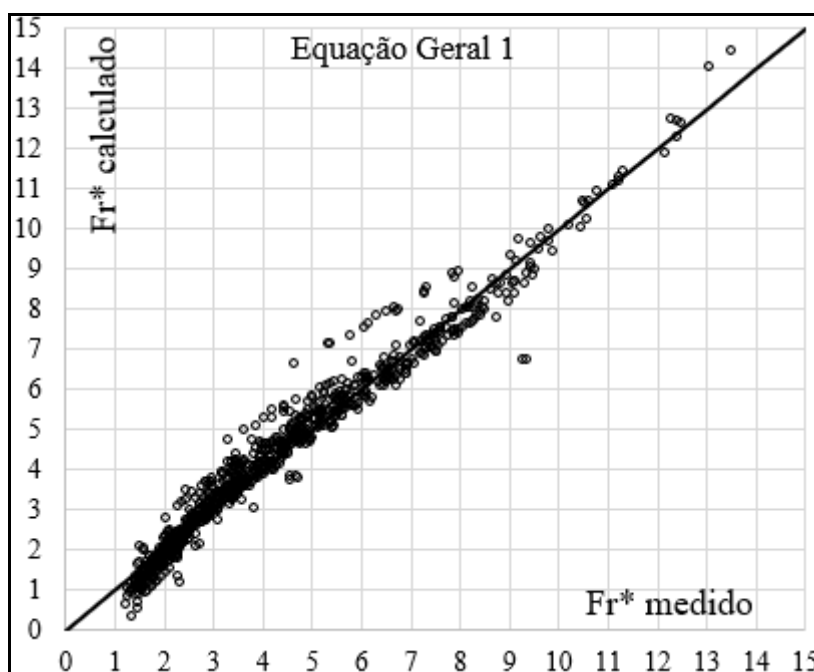


Figura 7: Validação da Equação Geral 1 do número de Froude do sedimento (Fr^*) com os dados de autolimpeza medidos nos experimentos estudados

CONCLUSÕES / RECOMENDAÇÕES

De acordo com os resultados aqui apresentados, observa-se que os critérios de valores mínimos normalizados no Brasil apresentam deficiências, principalmente quando se utilizam tubos coletores com menores rugosidades, tal qual o PVC. Infere-se, então, que não cobrem as situações reais operacionais, considerando os ensaios de campo, em laboratório e em escala piloto estudados.

Portanto, a norma ABNT NBR 14486 **não deve** ser utilizada para dimensionamento de coletores em PVC no tocante a tensão trativa mínima de 0,6Pa, pois os valores devem ser no mínimo 1,0Pa, para rede tipo separador, conforme a norma ABNT NBR 9649.

Por outro lado, quando existir captações/interceptações em tempo seco contribuindo para o coletor ou interceptor, o dimensionamento destes deve considerar no mínimo 1,5Pa de tensão trativa, de acordo com a norma de interceptores NBR ABNT 12207, porque tem maiores quantidades de sedimentos transportados e com maiores dimensões, em relação aos sedimentos transportados em sistemas separadores.



Esse valor mínimo de 1,5Pa valerá principalmente para dimensionamento de coletores em tempo seco, muito utilizados no Brasil atualmente, e para **qualquer diâmetro** (ou dimensões).

Já para sistemas unitários (e pluviais) ou com depósitos no fundo do coletor, que possuem maiores aportes de sedimentos, os valores de tensões trativas devem ser acima de 2,0Pa. Nesse caso, para diâmetros DN 400mm ou superior pode-se utilizar o princípio de uma camada fixa de depósitos de sedimentos, ocupando no máximo 1% da seção transversal (conforme sugerido por COELHO e AZEVEDO, 2022).

Todavia, se considerar essa metodologia de critérios fixos, o ideal seria adotar tensões trativas mínimas de 2,0Pa para os sistemas de esgotos, independentemente do tipo, material e diâmetro.

Como os critérios são na prática variáveis, de acordo com os resultados obtidos nos ensaios dos pesquisadores, propõe-se uma nova equação para qualquer tipo de sistema (pluvial, unitário, separador e com captações de tempo seco), baseada no número de Froude do sedimento, apresentada pelo autor deste artigo (Equação 8), para definição do transporte de sedimentos e, assim, calcular sua velocidade mínima (Equação 2) e tensão trativa de autolimpeza (Equação 3), considerando os parâmetros apresentados no presente trabalho.

Contudo, espera-se um projeto próximo das condições reais operacionais e mais sustentáveis dos coletores de esgotos, inclusive interceptores e **coletores de tempo seco**, presentes nos contratos de concessão de saneamento de diversos municípios do Brasil. Assim, evitam-se rotineiros entupimentos e extravasamentos dos coletores subdimensionados pelos critérios atuais para, então, reduzir a poluição dos corpos hídricos e os custos operacionais inerentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT. NBR 9649 - *Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário*, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1986.
2. ABNT. NBR 14486 - *Sistemas enterrados para condução de esgoto sanitário - Projeto de redes coletoras com tubos de PVC*, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2000.
3. ABNT. NBR 12207 - *Projeto de interceptores de esgoto sanitário*, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2016.
4. AB. GHANI, A. *Sediment Transport in Sewers*, 362p. Newcastle Upon Tyne, UK: PhD thesis. Univ. of Newcastle Upon Tyne, 1993.
5. AB. GHANI, A., & AZAMATHULLA, H. *Gene-Expression Programming for Sediment Transport in Sewer Pipe Systems*. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 2 (3), pp.102–106, 2011.
6. AZAMATHULLA, H., AB. GHANI, A., & FEI, S. *ANFIS-based approach for predicting sediment transport in clean sewer*. *Applied Soft Computing*, 12 (3), pp.1227–1230, 2012.
7. BSI. BS EN 752:08 - *Drain and sewer systems outside buildings*. British Standards Institution. UK, 2013.
8. CAMP, T. *Design of Sewers to Facilitate Flow*. *Sewage Works Journal*, 18 (1), pp.3-16, 1946.
9. COELHO, F. M. *Coletor Sanitário: Nova Metodologia de Dimensionamento de Coletores de Esgoto*. São Paulo: Editora Dialética, 332p, 2022.
10. COELHO, F. M., & AZEVEDO, J. P. S. de. *Design Criteria for Roughness Values under Real Sewer System Operating Conditions*. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 13 (3), [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)PS.1949-1204.0000654](https://doi.org/10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000654), 2022.
11. EBTEHAJ, I., & BONAKDARI, H. *Evaluation of Sediment Transport in Sewer using Artificial Neural Network*. *Eng. Applic. of Comput. Fluid Mechanics*, 7 (3), pp.382–392, 2013.
12. EBTEHAJ, I., BONAKDARI, H., & SHARIFI, A. *Bed Load Sediment Transport in Sewers at Limit of Deposition*. *Scientia Iranica, Transactions A: Civil Engineering*, 23 (3), pp.907-917, 2016.
13. GAY, J., PRUS-CHACINSKI, M., NOVAK, P., & NALLURI, C. *Discussion of Sewer design for no-sediment deposition*. *Proc. of the Institution of Civil Engineers*, 67-Part2(1), pp.251-252, 1979.
14. GEPSOFT. *GeneXproTools*. <https://genexprotools.com>, 2024.
15. GUIMARÃES, C. *Cr terios Convencionais de Projetos*. CC. 2/75: *Redes de Esgotos Sanit rios*. CETESB/ABES/BNH, 1975.
16. MAY, R. *Sediment transport in pipes and sewers with deposited beds*. UK: Report SR320. HR Wallingford Limited, 1993.



SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO
DE ENGENHARIA SANITÁRIA
E AMBIENTAL



17. MONTES, C., BERARDI, L., KAPELAN, Z., & SALDARRIAGA, J. *Predicting bedload sediment transport of noncohesive material in sewer pipes using evolutionary polynomial regression – multi-objective genetic algorithm strategy*. *Urban Water Journal*, 2020.
18. SAFARI, M. J., AKSOY, H., UNAL, N. E., & MOHAMMADI, M. *Non-deposition self-cleansing design criteria for drainage systems*. *Journal of Hydro-environment Research*, 14 (1), pp. 76-84, 2017.
19. SAFARI, M. J., MOHAMMADI, M., & AB. GHANI, A. *Experimental Studies of Self-Cleansing Drainage System Design: A Review*. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 9 (4), 2018.
20. SAFARI, M. J., MOHAMMADI, M., GILANIZADEHDIZA J, G., & SEYYEDI, H. *A General Self-Cleansing Model for Drainage System Design*. Pipelines 2017. Phoenix, USA, 2017.
21. VONGVISESSOMJAI, N., TINGSANCHALI, T., & BABEL, M. S. *Non-deposition design criteria for sewers with part full flow*. *Urban Water Journal*, 7 (1), pp.61-77, 2010.