

# Determinação do coeficiente de descarga para orifícios de parede delgada considerando números de Reynolds reduzidos

*Determination of the discharge coefficient for thin wall orifices at low Reynolds numbers*

- **Data de entrada:**  
05/01/2016
- **Data de aprovação:**  
16/05/2017

Antonia Samylla Oliveira Almeida\*/Manoel do Vale Sales/Marlon Vieira de Lima/José Capelo Neto

DOI: 10.4322/dae.2018.004

## Resumo

O estudo do comportamento de fluidos (em especial a água) escoando através de orifícios tem sido muito útil para a descrição do funcionamento e projeto de importantes estruturas hidráulicas, como reservatórios e unidades de tratamento internas às Estações de Tratamento de Água (ETAs). O presente trabalho descreve a metodologia utilizada para determinação experimental do coeficiente de descarga ( $C_d$ ) para orifícios localizados em placas, utilizadas para promover gradiente de velocidade em um floculador de placas. Discute os resultados produzidos à luz daqueles sugeridos pela literatura especializada e fornece subsídio para o dimensionamento desta unidade de floculação.

**Palavras-chave:** Orifícios hidráulicos. Coeficiente de descarga. Floculador de placas.

## Abstract

*The study of the behavior of fluids (especially water) flowing through orifices has been very useful to describe function and to design important hydraulic structures, such as reservoirs and Water Treatment Plants (WTPs). The present work describes the methodology used to determine the experimental discharge coefficient ( $C_d$ ) in orifices located in plates used to promote velocity gradient in a plate flocculator. Finally, it discusses the results obtained from specialized literature and provides subsidy for dimensioning this flocculation unit.*

**Keywords:** Hydraulic orifices. Discharge coefficient. Plate flocculator.

**Antonia Samylla Oliveira Almeida** – Graduada em Tecnologia em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará. Mestre em Engenharia Civil (Recursos Hídricos) pela Universidade Federal do Ceará. Doutoranda em Engenharia Civil (Recursos Hídricos) pela Universidade Federal do Ceará.

**Manoel do Vale Sales** – Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Ceará. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Campina Grande. Doutor em Engenharia Civil (Recursos Hídricos) pela Universidade Federal do Ceará.

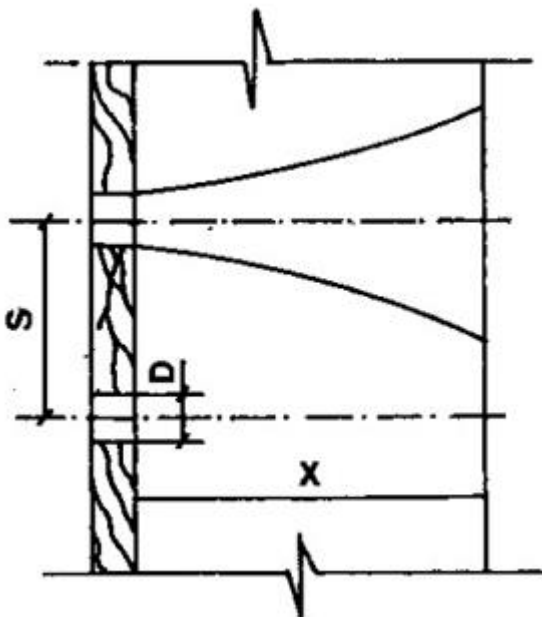
**Marlon Vieira de Lima** – Licenciado em Química pela Universidade Federal do Ceará. Mestre em Tecnologia em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará. Professor do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará. Químico da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece).

**José Capelo Neto** – Engenheiro Químico com Mestrado e Doutorado em Recursos Hídricos/Saneamento Ambiental na Universidade Federal do Ceará e na Universidade do Texas. Pós-Doutorado no Australian Water Quality Centre (University of South Australia).

\***Endereço para correspondência:** Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Seção Laboratorial de Qualidade de Água. Av. Mister Hull, s/n, Campus do Pici, Fortaleza - CE, CEP 60440-970. E-mail: samylla\_17@hotmail.com.

## 1 INTRODUÇÃO

Muitas são as aplicações dos orifícios em projetos hidráulicos, tais como em sistemas de irrigação, estações de tratamento de água (cortinas de distribuição de água em decantadores, aplicação de produtos químicos na mistura rápida, etc), medição de vazões em tanques e canalizações, dentre outras. Um orifício hidráulico consiste em uma abertura de perímetro fechado, de forma geométrica definida, realizada na parede ou fundo de um reservatório ou na parede de um canal ou conduto forçado, pela qual o líquido em repouso ou movimento escoa em virtude da energia que possui (PORTO, 2006). A Figura 1 ilustra um jato formado quando da passagem de um líquido pelo orifício.



**Figura 1** - Jato de um orifício circular.  
Fonte: VIANNA (2002, p. 340).

Com o intuito de efetuar correções nos parâmetros hidráulicos, são adotados diversos coeficientes nas equações que descrevem a vazão através de orifícios, a saber: coeficientes de velocidade, contração e descarga ou vazão.

### 1.1 Coeficiente de velocidade

A razão entre a velocidade real ( $V_r$ ) e a velocidade teórica ( $V_t$ ) denomina-se coeficiente de velocidade ( $C_v$ ), apresentado na Equação 1.

$$C_v = \frac{V_r}{V_t} \quad (1)$$

A velocidade real dos jatos é menor que a velocidade teórica calculada a partir da fórmula de Torricelli:

$$v_t = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (2)$$

Sendo:

$v_t$ : velocidade teórica ( $m \cdot s^{-1}$ );

$g$ : aceleração da gravidade ( $m \cdot s^{-2}$ );

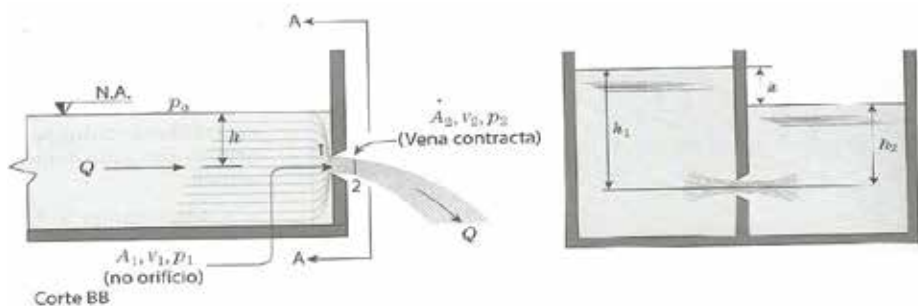
$h$ : perda de carga (m).

A diferença entre os valores de velocidade real e velocidade teórica é ocasionada, dentre outros motivos, pelas perdas de carga devidas à viscosidade do líquido e à rugosidade do material em que o orifício foi executado. O coeficiente de velocidade pode ser determinado experimentalmente por meio da medida das coordenadas que representam a trajetória apresentada pelo jato. Segundo Azevedo Netto (2015), o valor médio de  $C_v$  é 0,985.

### 1.2 Coeficiente de contração

O coeficiente de contração é definido como a relação entre a área da seção contraída ( $A_2$ ) e a área do orifício ( $A_1$ ), conforme indicações da Figura 2, de acordo com a Equação 3.

$$C_c = \frac{A_2}{A_1} \quad (3)$$



**Figura 2** - Representação da vena contracta.

Fonte: AZEVEDO NETTO, 2015.

Experimentalmente, constata-se que os filetes líquidos tocam as bordas do orifício e continuam a convergir, depois de passarem pelo mesmo, até uma seção  $A_2$ , na qual o jato tem área sensivelmente menor que a do orifício (AZEVEDO NETTO, 2015). Para orifícios circulares de parede fina, a literatura especializada reporta o valor médio usual para a relação  $A_2/A_1$  da ordem de 0,62.

De acordo com Porto (2006):

Na secção em que as trajetórias das partículas são sensivelmente paralelas entre si, a distribuição de velocidade é uniforme, com área transversal igual a aproximadamente 60% da área geométrica do orifício, e na qual a pressão é praticamente uniforme em todos os pontos e igual à pressão exterior da região em que a descarga está se dando.

### 1.3 Coeficiente de descarga ou de vazão

O coeficiente de descarga ou de vazão ( $C_d$ ) é igual ao produto dos coeficientes de velocidade e contração. Outra forma de determinar o  $C_d$  é utilizando a fórmula geral de determinação de vazão, apresentada na Equação 4.

$$Q = C_d \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (4)$$

Onde:

Q: Vazão ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ );

$C_d$ : coeficiente de descarga do orifício;

A: Área do orifício ( $\text{m}^2$ );

g: aceleração da gravidade ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ );

h: perda de carga imposta pelo orifício (m).

Assim, o cálculo da vazão real considera, além da perda de carga, a contração da veia líquida, fenômeno que ocorre a jusante do orifício. Neves (1977) afirma que o coeficiente de vazão, como os de velocidade e contração, depende da forma e das condições do orifício, e de sua posição e situação em relação à superfície da água.

Para o orifício padrão, que é o orifício de bordos agudos, afastados da superfície da água, das paredes e do fundo, o valor de 0,61 ou 0,62 é utilizado como coeficiente de descarga ou vazão, valor amplamente apresentado na literatura (NEVES, 1977; PORTO, 2006; AZEVEDO NETTO, 2015). Na Tabela 1 são apresentados os valores de coeficiente de descarga para orifícios circulares, verticais de parede delgada em condições hidráulicas variadas (AZEVEDO NETTO, 2015).

**Tabela 1** - Valores do coeficiente de descarga para orifícios circulares, verticais de parede delgada.

Carga H (m)	Diâmetro do orifício (cm)				
	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
0,20	0,653	0,632	0,609	0,607	0,607
0,40	0,651	0,625	0,610	0,607	0,607
0,60	0,648	0,625	0,610	0,607	0,608
0,80	0,645	0,623	0,610	0,607	0,608
1,00	0,642	0,622	0,610	0,607	0,608
1,50	0,638	0,622	0,610	0,607	0,608
2,00	0,634	0,622	0,610	0,607	0,608
3,00	0,634	0,621	0,611	0,607	0,608
5,00	0,634	0,621	0,611	0,607	0,608
10,00	0,634	0,621	0,611	0,607	0,609

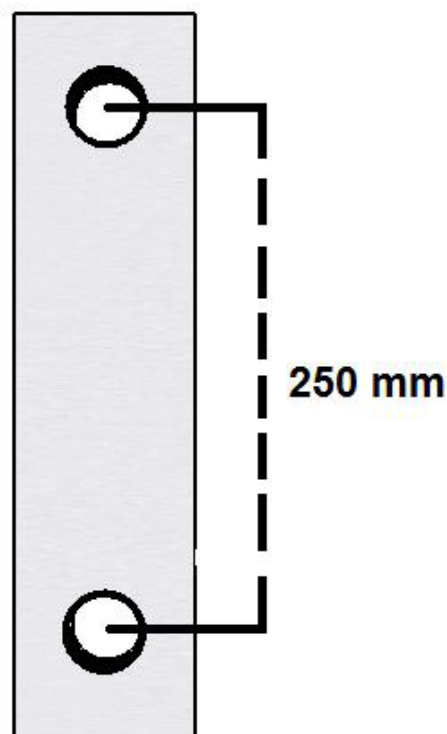
Fonte: AZEVEDO NETTO, 2015.

Pesquisa recente, realizada por Chaves et al. (2015), utilizando um floco-flotador por ar dissolvido (FFAD) – equipamento composto por um floculador de placas verticais (contendo orifícios), que subdividem a unidade em câmaras, nas quais ocorrem simultaneamente os processos de floculação e flotação – apresentou resultados de gradientes de velocidade abaixo do esperado em testes de eficiência visando o tratamento de água de lavagem de filtros de uma ETA de filtração direta. Sendo o coeficiente de descarga um dos fatores que podem interferir nos resultados do gradiente de velocidade, optou-se por realizar uma verificação experimental desse parâmetro sob a influência de baixos números de Reynolds, tendo em vista que pesquisa atual realizada por Vianna et al. (2015) sugere valores para  $C_d$  distintos do valor 0,61, amplamente relatado na literatura.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A fase experimental consistiu na realização de ensaios em um floculador de placas. Para tanto, foram utilizadas cinco placas confeccionadas em acrílico transparente, com dimensões de 400 (altura), 100 (largura) e 3 mm (espessura). Cada placa possuía dois orifícios, distanciados entre si

em 250 mm (Figura 3), com os seguintes diâmetros: 9,4, 12,2, 16, 17,5 e 19 mm, os quais foram submetidos às vazões de 200, 300, 400 e 500 L.  $h^{-1}$ , possibilitando verificar diversas condições hidráulicas.



**Figura 3** - Placa de orifícios utilizada para a determinação da perda de carga.

Para determinação do Cd foram realizadas medidas das cargas hidráulicas (coluna de água) a montante dos orifícios, tendo como referência (zero) o centro do orifício. As medidas dos níveis da água a montante das placas (cargas sobre os orifícios) foram rea-

lizadas com um paquímetro (marca Mitutoyo) e as vazões de alimentação do equipamento foram ajustadas utilizando um rotâmetro instalado a montante do floculador de placas. O equipamento utilizado no experimento encontra-se ilustrado na Figura 4.



Figura 4 - Aparato instrumental para a determinação da perda de carga.

Foram testadas várias combinações de área dos orifícios e vazão, somando um total de vinte condições hidráulicas, para as quais foram efetuadas medidas em triplicata da carga. Visando realizar a medida da carga em cada condição hidráulica proveniente de cada orifício individualmente para os diversos diâmetros e vazões, um dos orifícios foi vedado.

Posteriormente, os dados experimentais foram utilizados para o cálculo do coeficiente de descarga nos orifícios superior (leituras  $C_{d1-3}$ ) e inferior (leituras  $C_{d4-6}$ ), utilizando a Equação 4, apresentada anteriormente.

Convém salientar que as medidas efetuadas visando à determinação do Cd foram executadas com os orifícios não afogados, divergindo da condição real de funcionamento do floculador, na qual os mesmos encontram-se submersos. Entretanto, a modificação mencionada não deve afetar os resultados de modo significativo, pois, de acordo com Porto (2006), os valores de coeficiente de vazão em descarga livre são praticamente os mesmos para orifícios afogados.

Na fase de determinação do coeficiente de descarga, observaram-se dificuldades na estabilização do sistema para realização das medidas de nível/carga, entre elas a variação da vazão nominal no rotâmetro de alimentação do floculador de placas e oscilações na coluna d'água a montante da placa com orifícios. No intuito de minimizar os erros nas leituras das cargas, foi realizado um estudo prévio para determinação do intervalo de tempo necessário para a estabilização do fluxo e da coluna d'água após cada alteração de vazão. As leituras das alturas foram realizadas para a vazão de  $500 \text{ L.h}^{-1}$ , utilizando a placa com orifícios de 9,4 mm de diâmetro em intervalos de 5 minutos entre cada leitura.

Após o cálculo dos coeficientes de descarga, os dados obtidos foram submetidos ao teste estatístico *z score*, para diagnosticar a presença de *outliers*. Foi realizado o cálculo da média populacional bem como do seu intervalo de confiança. Por último, foi estabelecida uma correlação para obtenção do coeficiente de descarga em função do número de Reynolds.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Determinação do tempo para realização das leituras das cargas hidráulicas

As leituras das alturas das cargas obtidas nesta etapa encontram-se apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 2** - Determinação do tempo de estabilização da carga.

Tempo (min)	Carga (mm)
5,0	406,5
10,0	417,6
15,0	423,5
20,0	431,8
25,0	429,5
30,0	435,9
35,0	451,9
40,0	445,5
45,0	443,5
50,0	443,5
55,0	444,0
60,0	443,5

Assim, com base nos dados levantados experimentalmente, foi escolhido o intervalo de tempo de 45 minutos para a realização da primeira leitura de perda de carga para cada vazão e intervalos de 5 minutos entre as triplicatas, posto que não foram verificadas alterações significativas nos tempos posteriores.

#### 3.2 Determinação do coeficiente de descarga

As diversas combinações das variáveis vazão e área dos orifícios e, por conseguinte, o número de Reynolds, propiciaram vinte condições hidráulicas para as quais foram efetuadas medidas em triplicata do coeficiente de descarga nos orifícios superior (leituras Cd 1-3) e inferior (leituras Cd 4-6). Os valores obtidos são apresentados na Tabela 3.

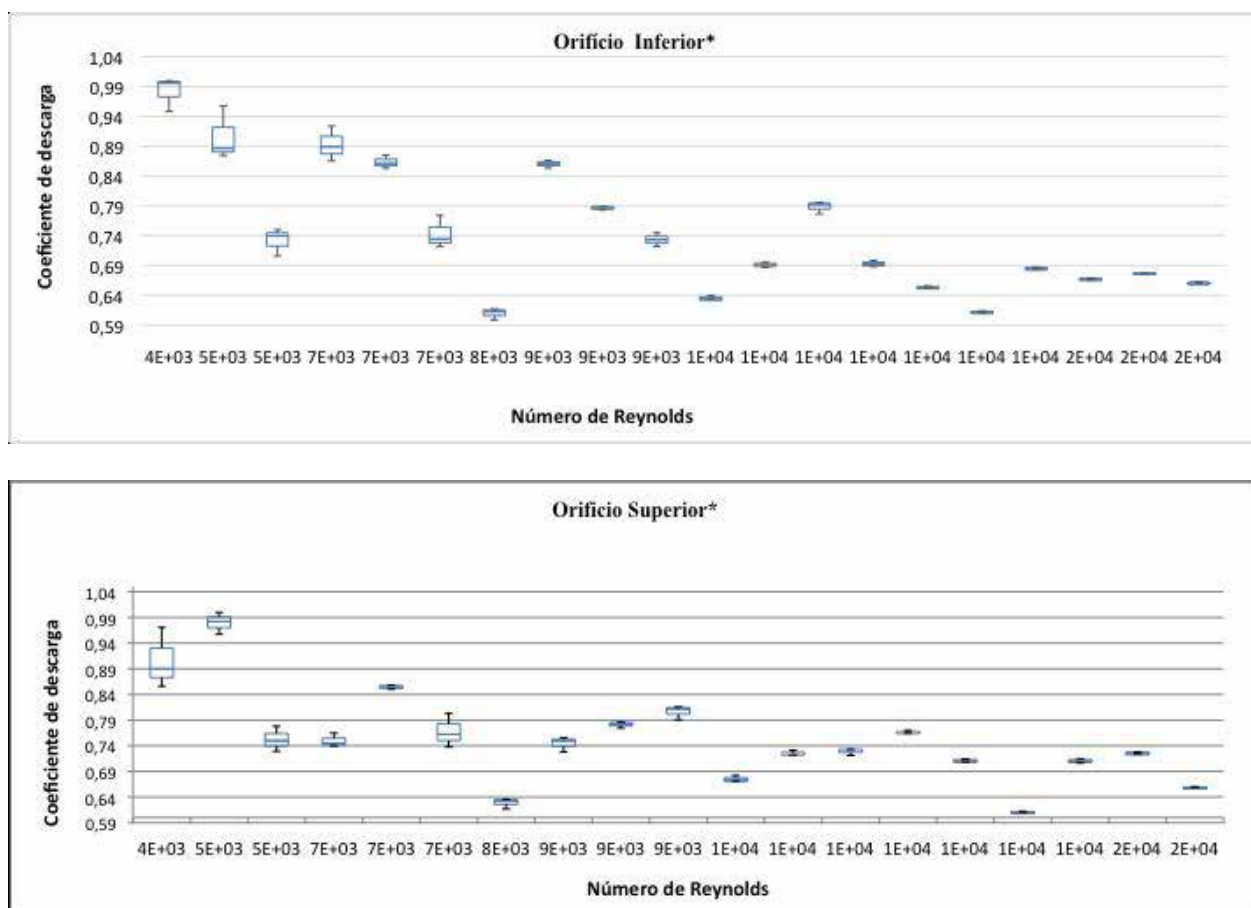
**Tabela 3** - Condições hidráulicas e coeficientes de descargas obtidos no estudo.

Condições hidráulicas	Vazão (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	Área do orifício (m <sup>2</sup> )	Re	Coeficiente de descarga					
				Orifício Superior			Orifício Inferior		
				Cd 1	Cd 2	Cd 3	Cd 4	Cd 5	Cd 6
1	0,00006	0,00028	4477,26	0,9706	0,8896	0,8560	0,9996	0,9971	0,9483
2	0,00006	0,00024	4861,02	0,9573	0,9998	0,9821	0,8739	0,9573	0,8863
3	0,00006	0,00020	5316,74	0,7497	0,7780	0,7292	0,7392	0,7497	0,7057
4	0,00008	0,00028	6575,55	0,7397	0,7445	0,7646	0,8653	0,8890	0,9239
5	0,00006	0,00012	6972,78	0,8502	0,8583	0,8556	0,8529	0,8751	0,8610
6	0,00008	0,00024	7139,17	0,7376	0,8028	0,7625	0,7212	0,7739	0,7342
7	0,00008	0,00020	7808,47	0,6357	0,6342	0,6169	0,5984	0,6128	0,6169
8	0,00011	0,00028	8671,62	0,7556	0,7281	0,7498	0,8530	0,8615	0,8658
9	0,00006	0,00007	9045,17	0,7745	0,7831	0,7860	0,7875	0,7890	0,7831
10	0,00011	0,00024	9414,91	0,7906	0,8131	0,8157	0,7217	0,7329	0,7446
11	0,00008	0,00012	10240,62	0,6818	0,6713	0,6738	0,6343	0,6333	0,6394
12	0,00011	0,00020	10297,55	0,7222	0,7222	0,7313	0,6867	0,6911	0,6956
13	0,00013	0,00028	10767,69	0,7330	0,7330	0,7212	0,7929	0,7951	0,7761
14	0,00013	0,00024	11690,64	0,7646	0,7646	0,7703	0,6921	0,6984	0,6879
15	0,00013	0,00020	12786,64	0,7111	0,7143	0,7088	0,6528	0,6534	0,6553
16	0,00008	0,00007	13284,25	0,6110	0,6104	0,6120	0,6096	0,6136	0,6120
17	0,00011	0,00012	13504,99	0,7146	0,7109	0,7064	0,6870	0,6833	0,6852
18	0,00013	0,00012	16769,36	0,7263	0,7281	0,7238	0,6675	0,6688	0,6655
19	0,00011	0,00007	17518,82	0,6590	0,6599	0,6592	0,6774	0,6775	0,6770
20	0,00013	0,00007	21753,40				0,6616	0,6610	0,6606

Os resultados da tabela 3 são condizentes com o comportamento previsto pela Equação 4 para determinação do coeficiente de descarga, segundo a qual o  $C_d$  varia em função da vazão, carga e área do orifício. O comportamento observado é confirmado por Porto (2006), que afirma que o coeficiente  $C_d$  em geral não é constante para um

dado orifício, variando com a carga, as condições de fluxo e a viscosidade do líquido.

A partir dos valores de  $C_d$ , apresentados na Tabela 3, foram gerados os gráficos boxplot, que correlacionam o coeficiente de descarga com o número de Reynolds para o orifício inferior e superior, ilustrados na Figura 5.



**Figura 5** - Gráficos boxplot do coeficiente de descarga em função do número de Reynolds para: (a) o orifício inferior e (b) o orifício superior.

\* Os valores representados em cada condição hidráulica correspondem às triplicatas realizadas nos orifícios superior (Cd1-3) e inferior (Cd4-6), apresentadas na tabela 3.



Uma análise dos gráficos apresentados na Figura 5 permite inferir que, quando comparadas entre si, as respectivas condições hidráulicas evidenciam um comportamento semelhante. Conforme detalhado a seguir, observa-se também que na primeira metade dos gráficos, onde os números de Reynolds variaram entre 4.477 e 9.414, 30% das medidas foram originadas na placa cujos orifícios possuem área de  $2,83385 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$  e vazões de  $5,6 \cdot 10^{-5} \text{ (200 L.h}^{-1}\text{)}$ ,  $8,2 \cdot 10^{-5} \text{ (300 L.h}^{-1}\text{)}$ , e  $1,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \text{ (400 L.h}^{-1}\text{)}$ . O restante das leituras foi realizado para as demais áreas dos orifícios avaliados e, principalmente, para a vazão de  $5,6 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \text{ (200 L.h}^{-1}\text{)}$ . Na segunda metade dos dados, com números de Reynolds variando de 9.414 a 21.753, observaram-se baixas amplitudes entre os valores das triplicatas, enquanto que na primeira metade foram observadas amplitudes maiores. Esse comportamento foi observado tanto para os experimentos no orifício superior como no inferior.

Com isso, a variabilidade observada nos valores de Cd pode ter sido ocasionada por fatores como a instabilidade do sistema de alimentação do fluculador de placas, possíveis erros de mensuração, principalmente nas medidas de vazão, já que  $5,6 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \text{ (200 L.h}^{-1}\text{)}$  era o limite inferior da escala do rotâmetro usado. Outros fatores que podem ter contribuído para as diferenças observadas nas medições são a espessura da placa e do orifício, a retilneidade e planeza, fatores referentes à tolerância de forma, e também fatores referentes à microgeometria como a rugosidade (SILVA, 2007).

As variações observadas nos gráficos boxplot da Figura 5 sugerem a provável interferência de valores discrepantes ou *outliers*. Assim, aplicou-se o critério Z score (apresentado na Tabela 4), técnica que permite comparar de uma forma padronizada os desvios entre os valores obtidos e os previstos

pelo modelo proposto, visando detectar e possibilitar a retirada de medidas discrepantes do conjunto de dados.

**Tabela 4** - Análise de Z score.

Re	C <sub>d</sub> cal <sup>1</sup>	C <sub>d</sub> mod <sup>2</sup>	Erro	Z score
4477,26	0,9436	0,9441	-0,0005	0,0996
4861,02	0,9428	0,9285	0,0143	0,2815
5316,74	0,7419	0,9103	-0,1684	-1,9591
6575,55	0,8211	0,8624	-0,0412	-0,3994
6972,78	0,8588	0,8479	0,0110	0,2405
7139,17	0,7554	0,8419	-0,0865	-0,9550
7808,47	0,6191	0,8184	-0,1993	-2,3380
8671,62	0,8023	0,7895	0,0128	0,2631
9045,17	0,7839	0,7775	0,0064	0,1846
9414,91	0,7698	0,7658	0,0040	0,1547
10240,62	0,6557	0,7407	-0,0851	-0,9372
10297,55	0,7082	0,7391	-0,0309	-0,2728
10767,69	0,7586	0,7255	0,0331	0,5119
11690,64	0,7296	0,7000	0,0296	0,4690
12786,64	0,6826	0,6721	0,0105	0,2353
13284,25	0,6114	0,6602	-0,0487	-0,4914
13504,99	0,6979	0,6550	0,0429	0,6317
16769,36	0,6967	0,5906	0,1060	1,4062
17518,82	0,6683	0,5789	0,0895	1,2032
21753,40	0,6611	0,5334	0,1277	1,6716
<b>Média</b>			-0,0087	
<b>Desvio-Padrão</b>			0,0815	

**Legenda:** Cd cal<sup>1</sup>: coeficientes de descarga calculados pela equação 4; Cd mod<sup>2</sup>: coeficientes de descarga obtidos pelo modelo.

O critério aplicado na análise do Z score dos valores de Cd partiu da premissa de que quando o conjunto de dados atende à distribuição normal, desvios maiores que um determinado valor de Z score, a um dado nível de confiança, sinalizam valores atípicos. Na análise que procedemos, foram considerados *outliers* os desvios com Z score superiores a  $\pm 1,64$  ao nível de confiança de 90%. Após a retirada dos *outliers* detectados, visando à validação estatística dos dados, foi traçada uma curva (Figura 6) relacionando os valores de Cd com os respectivos números de Reynolds.



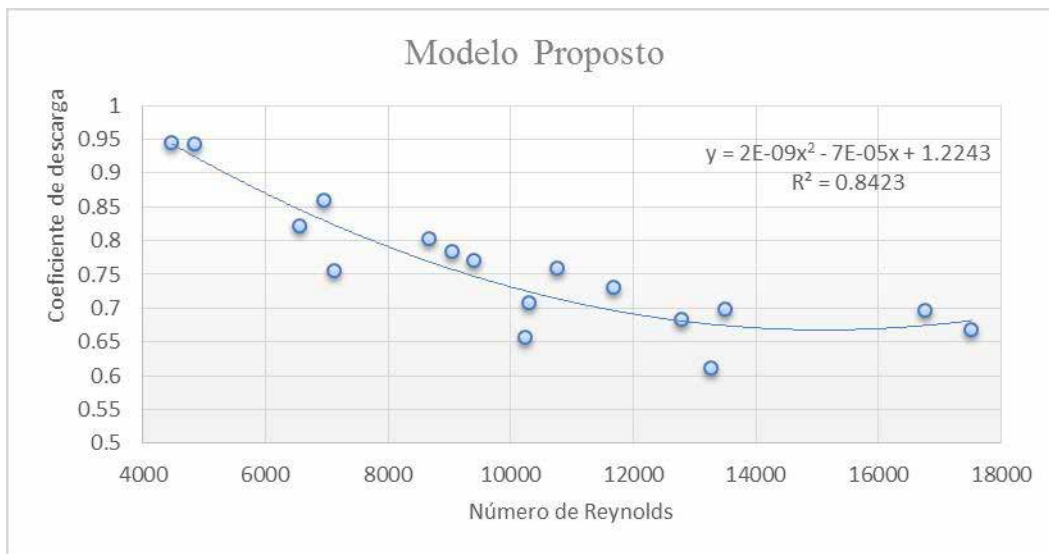


Figura 6 - Modelo proposto após a remoção de outliers.

A curva que representa o modelo proposto, apresentada na Figura 6, foi submetida a uma análise de adequação do modelo, na qual foi elaborado um gráfico de resíduos, apresentado na Figura 7.

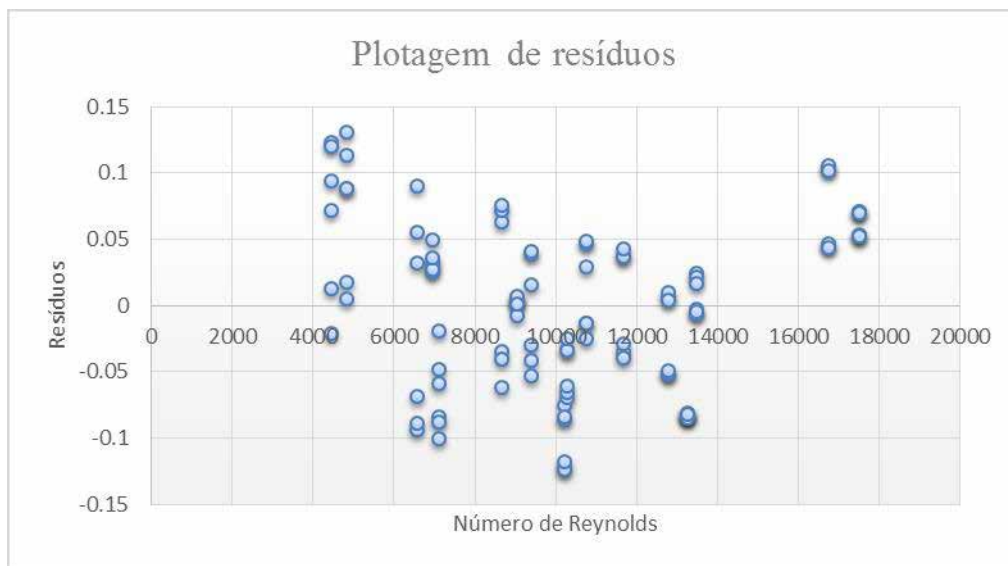


Figura 7 - Plotagem dos resíduos do modelo.

Ao avaliar o gráfico apresentado na Figura 7, observa-se que a maior parte dos resíduos se distribui aleatoriamente em torno da média, e que a média desses resíduos, de um modo geral, apresenta-se muito próxima de zero, sendo essas duas condições dois requisitos essenciais para que o modelo seja considerado adequado. Outra conclusão retirada a partir da análise realizada no gráfico de resíduos é que apesar de os dados de

Cd não apresentarem uma variância constante ao longo da faixa de número de Reynolds avaliada, esse fato não invalida o modelo obtido e ilustra a instabilidade que foi observada no sistema no decorrer do desenvolvimento dessa etapa. Em complemento à análise de resíduos, foi efetuada a plotagem de probabilidade normal, ilustrada na Figura 8, com intuito de avaliar o comportamento dos dados de Cd.

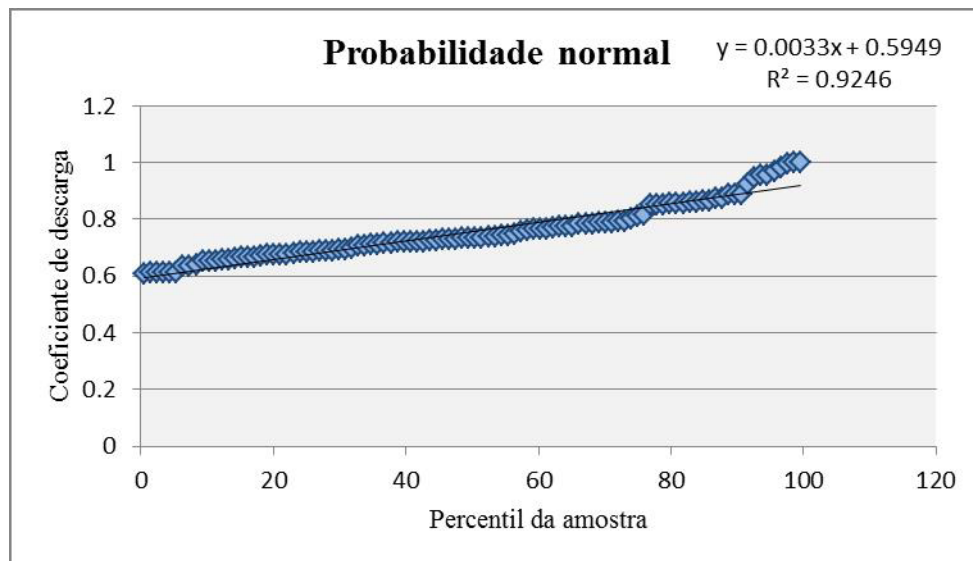


Figura 8 - Probabilidade normal.

Ao analisar o gráfico de probabilidade normal, ilustrada na Figura 8, observa-se uma tendência linear, com  $R^2$  igual a 0,9246. Com isso pode-se concluir que os resíduos apresentam distribuição normal.

Outro procedimento estatístico realizado após a retirada dos *outliers* detectados foi o cálculo da média populacional ( $\mu$ ), bem como seu intervalo de confiança, calculados com base na média amostral ( $\bar{X}$ ), aplicando-se os seguintes valores:  $N = 103$ , 102 graus de liberdade, a um nível de confiança de 95%, para o qual  $t = 1,980$ . Obteve-se com esse procedimento a seguinte estimativa para o Cd: **0,758 ± 0,019**. Corroborando os valo-

res de Cd obtidos na presente pesquisa, estudos hidráulicos realizados por Di Bernardo e Giorgetti (1980) obtiveram valores de Cd entre 0,8 e 0,90, para um intervalo de número de Reynolds compreendido entre 13.570 e 26.730.

Observa-se que o valor de Cd obtido diverge do valor de 0,61, amplamente difundido na literatura (NEVES, 1977; PORTO, 2006; AZEVEDO NETTO, 2015). Por outro lado, Vianna e Castro (2014) e Vianna et al. (2015) afirmam que o valor de 0,61 para coeficiente de descarga não se aplica às situações em que as velocidades médias e o número de Reynolds (500 a 11000) são baixos, condições semelhantes às aplicadas neste experimento.

#### 4 CONCLUSÕES

O estudo experimental reportado no presente artigo permitiu a determinação de valores para o coeficiente de descarga  $C_d$  para orifícios executados em paredes delgadas, quando submetidos a escoamentos de baixos números de Reynolds. Os resultados produzidos permitiram até mesmo a proposição de uma função do número de Reynolds para  $C_d$ . Isso representa, portanto, uma evolução no estudo da hidráulica, já que a utilização de valores inadequados de  $C_d$  pode implicar em erros na definição dos gradientes de velocidade, quando do dimensionamento dos flocladores de placas, podendo impactar na eficiência da unidade de floclação das ETAs. O estudo se restringiu, entretanto, à determinação de coeficientes de descarga para valores do número de Reynolds entre 4.000 e 18.000, sendo assim necessário ampliá-lo para abranger uma faixa mais extensa de número de Reynolds.

#### REFERÊNCIAS

- AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNÁNDEZ Y FERNÁNDEZ, M. **Manual de hidráulica**. 9º ed. São Paulo: Blucher, 2015.
- DI BERNARDO, L.; GIORGETTI, M.F. The use of perforated baffles at the inlet of settling basis. **Journal of the American Water Works Association**, v. 72, n. 9, p. 528-553, 1980.
- CHAVES, K. O, SALES, M. V., CAPELO NETO, J. **Eficiência da floclação em cortinas integrada à flotação por ar dissolvido aplicada ao tratamento de água de lavagem de filtros**. REVISTA AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica. ISSN 0718-378X, v. 8, n. 3, 312 – 327, 6 de diciembre de 2015.
- PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**. 4º ed. São Carlos: EESC-USP, 2006.
- SILVA, C.F.C. Avaliação macro e microgeométrica de dispositivos utilizados na indústria do petróleo e gás. 2007. Monografia (Curso de Engenharia de Petróleo e Metrologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - Rio Grande do Norte.
- VIANNA, M. R., CASTRO, L. V. de. **Estudo hidráulico dos orifícios dos flocladores de bandejas perfuradas superpostas de estações de tratamento de água**. Construindo, Belo Horizonte, v. 6, n. 1, 39- 41 Jan/Jun. 2014.
- VIANNA, M. R., CASTRO, L. V. de, RIBEIRO, C. de O. **Perforated Tray-Type Hydraulic Flocculator for Potable Water Treatment: Concept and State of the Art in Brazil**. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering Website: www.ijetae.com (ISSN 2250-2459, ISO 9001:2008 Certified Journal, Volume 5, Issue 3, March 2015).