

# FORMAÇÃO DE ESCOAMENTO SUPERCRÍTICOS EM CORRENTES DE TURBIDEZ E O ESTUDO DO LIMIAR DE DECLIVIDADE



Pâmela Elis Correa

Orientador: Rafael Manica

NECOD – Núcleo de Estudos em Correntes de Densidade- IPH / UFRGS



## INTRODUÇÃO

As correntes de turbidez (CTs) são escoamentos que ocorrem devido a sua diferença de densidade com o fluido ambiente (meio circundante) e são provocados pelo excesso de sedimentos presentes em suspensão. Esses escoamentos apresentam um comportamento diferenciado em relação aos escoamentos a superfície livre (canais), que são governados pela gravidade. No escoamento em canais, quando a declividade do leito é acrescida, o escoamento tende a alterar seu regime de subcrítico para supercrítico. O mesmo processo ocorre para correntes de turbidez, entretanto pela diferença no comportamento hidrodinâmico entre os dois fluxos, o limiar de inclinação de passagem de um regime a outro é diferente. A modelagem experimental se mostra importante no estudo da hidrodinâmica das CTs e na identificação da transição dos seus regimes do escoamento, assim como sua comparação com escoamentos à superfície livre que funciona na linha decorrente junto a pressão atmosférica. Com isto, as características dos parâmetros do fluxo podem ser usadas para intervir na profundidade e velocidade do fluxo e, portanto, o número de Froude (eq. 1).

## OBJETIVOS

Esse estudo compreenderá na modelagem física de escoamentos à superfície livre e de correntes de turbidez e posterior análise dos seguintes itens:

- variação da velocidade dos escoamentos em função da alteração da inclinação do canal;
- determinação do limiar de declividade no qual os escoamentos passando regime subcrítico para o supercrítico e;
- identificação das diferenças encontradas entre os dois tipos de escoamento.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos com as correntes de turbidez e os escoamentos à superfície livre foram realizados em um canal experimental de acrílico de 140 cm de comprimento e seção transversal de 7 x 20 cm. Esse modelo foi inserido em um tanque maior, sendo testado em 11 diferentes inclinações, entre 0 e 2°, em intervalos de 0,2°.

Ambos os tipos de correntes foram injetadas para partir de um tanque de 80 L de capacidade localizado em uma cota superior em relação ao tanque. em uma cota superior em relação ao tanque.

Figura 1. Modelo Experimental



### Escoamento à superfície livre

No escoamento à superfície livre foi inserido somente água pura no reservatório, que escoava por intermédio do tubo até o canal de experimento, por ação da gravidade. As espessuras (H) médias das correntes foram medidas a partir do emprego de uma ponta linimétrica, localizada a 120 cm da entrada do canal. Para velocidades (U), no final do canal, foi posicionada uma badeja para coletar a quantidade de água que entrava a medida que o tempo passava e assim, calculava-se a vazão e a velocidade do escoamento.

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{g \cdot H}}$$

Eq. 1

### Correntes de turbidez

As correntes de turbidez foram preparadas a partir das misturas de água e microesfera de vidro ( $d_{50} = 45 \text{ mm}$  e  $\rho_s = 2544,4 \text{ kg m}^{-3}$ ), com massa específica ( $\rho_{mist}$ ) de  $1062,5 \text{ kg m}^{-3}$ . As velocidades (U) e espessuras (H) médias das correntes foram medidas a partir do emprego de um sensor ultrassônico, localizado a 120 cm da entrada do canal. Nesse mesmo ponto, foram instalados 3 sifões dispostos verticalmente (1 cm, 2 cm e 4 cm), com os quais foram realizadas coletas de amostras e o posterior cálculo da concentração média de sedimentos (C).

Para estas correntes, o número de Froude é modificado, e se chama Froude densimétrico ( $Fr_d$ ) apresentado na equação 2. A alteração é feita no cálculo da gravidade (g), que passa a levar em conta a densidade do fluido, sendo chamada de gravidade reduzida ( $g'$ ). Quando a declividade do fundo aumenta, o fluxo tende a passar de regime subcrítico ( $Fr < 1$  a corrente é subcrítica) para supercrítico ( $Fr > 1$  a corrente é supercrítica).

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{\left(\frac{\rho_{mist} - \rho_{h2O}}{\rho_{h2O}}\right) g \cdot H}}$$

Eq.2

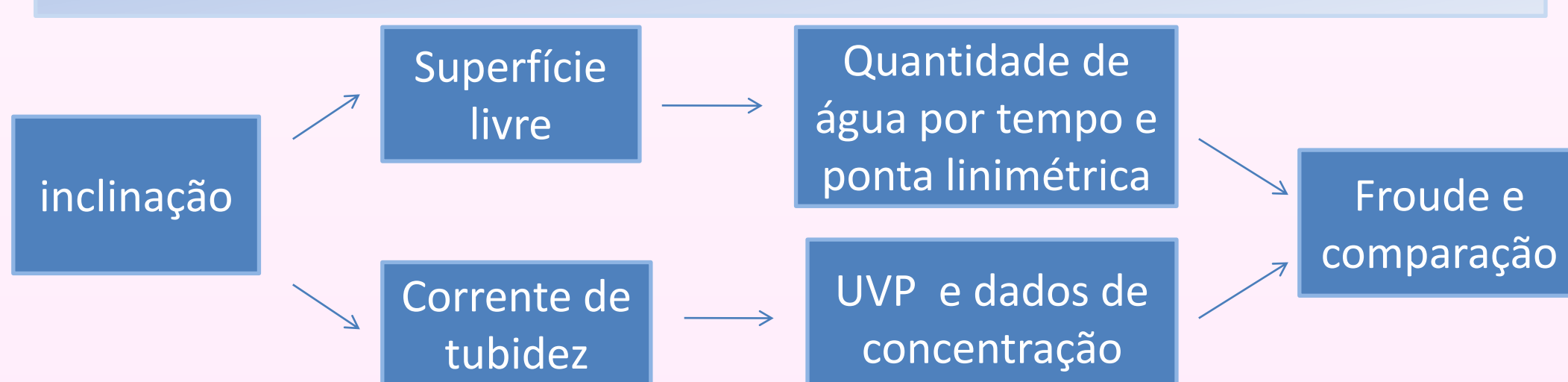


Figura 1 – fluxograma de processo de ensaios

## RESULTADOS

Com a relação às características das inclinações, foi realizada 11 ensaios para análise das velocidades e os números de Froude, que aumenta partir do aumento da sua declividade, mostrada na tabela 1.

A partir dos dados obtidos nos ensaios experimentais (figura 1 e tabela 1), pode-se observar diferenças de comportamento dos fluxos de superfície Livre e CT, como era de se esperar e indica um valor de transição para a situação analisada (Entre 0 e 0,2°)

Figura 1. Modelo Experimental. Superfície Livre (esquerda) e TC (direita)

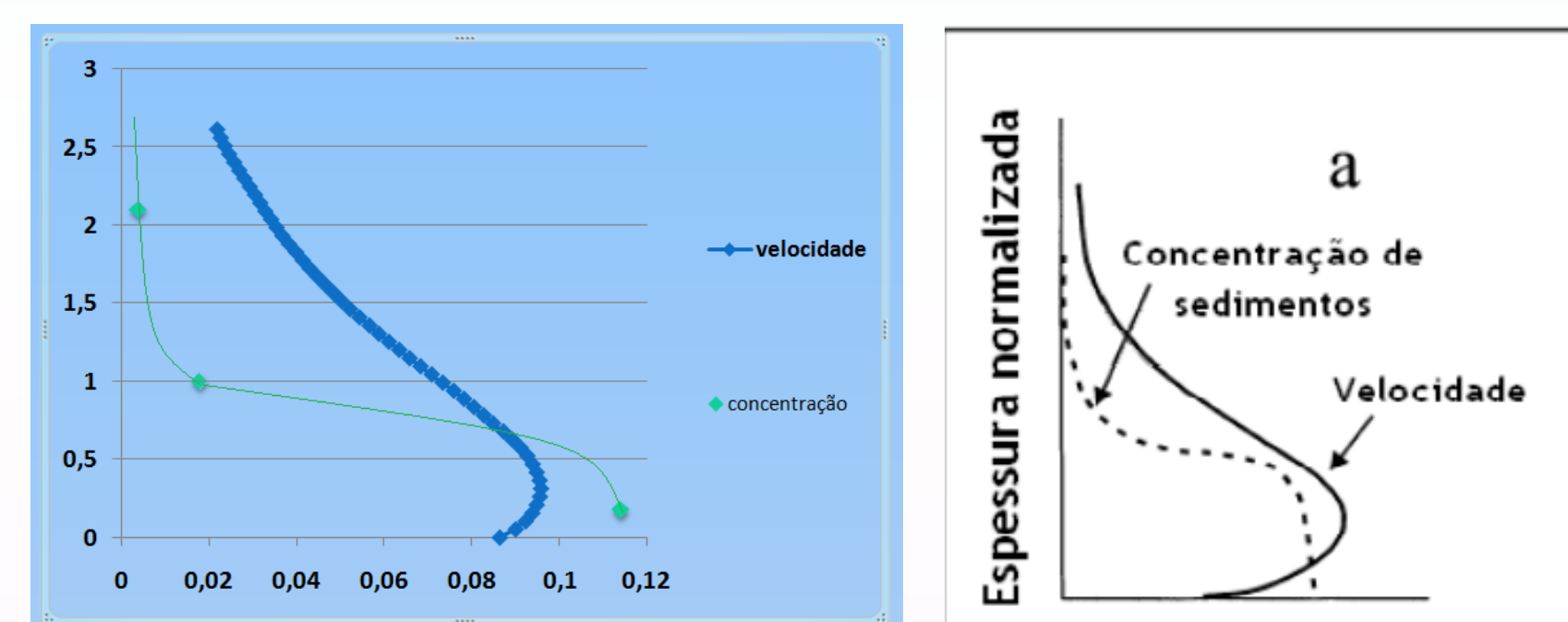


Tabela 1.

Inclinação	U m/s		H (m)		Fr/Frd	
	Água	água+sedimento	água	água+sedimento	água	água+sedimento
0°	0,0959	0,040	0,0064	0,018	0,38	0,96
0,2°	0,1143	0,052	0,0076	0,020	0,41	1,40
0,4°	0,1179	0,070	0,0067	0,020	0,46	1,88
0,6°	0,2081	0,070	0,0050	0,020	0,93	1,94
0,8°	0,2649	0,060	0,0043	0,030	1,29	1,56
1°	0,2998	0,080	0,0040	0,020	1,51	2,24
1,2°	0,3358	0,090	0,0039	0,020	1,71	2,55
1,4°	0,3638	0,080	0,0040	0,030	1,79	1,64
1,6°	0,3737	0,080	0,0042	0,040	1,88	1,70
1,8°	0,4361	0,070	0,0037	0,040	2,28	1,94
2°	0,4594	0,100	0,0038	0,040	2,37	2,44

Ainda, o perfil de concentrações normalizado característico resultante de estudos em laboratório Figura 2 apresenta comportamentos similar aos dos autores Kneller & Buckee, 2000. A concentração da CTs é mais espessa do que a velocidade de transporte do grão.

Figura 2. Perfis verticais de velocidade e concentração da correntes de turbidez obtidos e perfis verticais esperado



## CONCLUSÕES

Com relação as metodologias desenvolvidas para a avaliação dos resultados pode-se destacar que:

- O escoamento superfície livre seguiu um padrão, a medida que a inclinação aumenta, a velocidade, espessura da corrente e o número de Froude também aumentam;
- A corrente de turbidez não seguiu esse padrão, a velocidade são maiores comparado a superfície livre, porém a medida que a inclinação aumentava variava a sua espessura e velocidade, e com isto o valor de número de Froude era diferente a cada inclinação. Contudo, observamos que somente o primeiro ensaio da corrente é subcrítica;

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS