



Medição da vazão em um túnel de vento com placa de orifício utilizando visão computacional

Discentes:
Danielle Nogueira Bernartt
Vinicius Bubiak
Vinicius Prestes de Oliveira
Vitoria Regina de Oliveira

Docente: Guilherme de Oliveira Kunz

Cronograma

- Fundamentação
- Objetivos
- Componentes
- Metodologia
- Desenvolvimento
- Resultados



Figura 1: Conceito de operação do sistema de medição

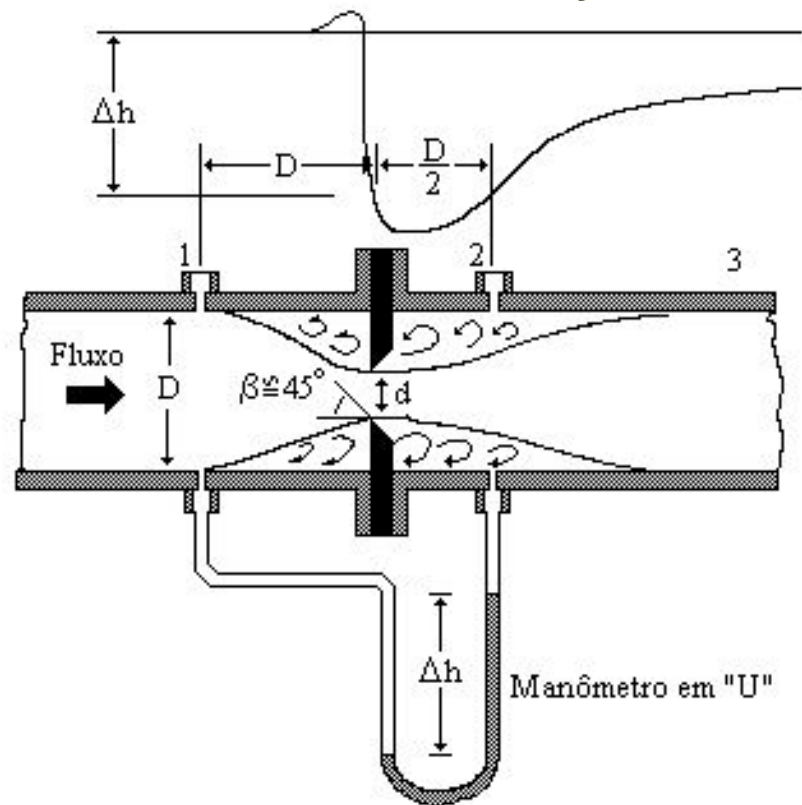
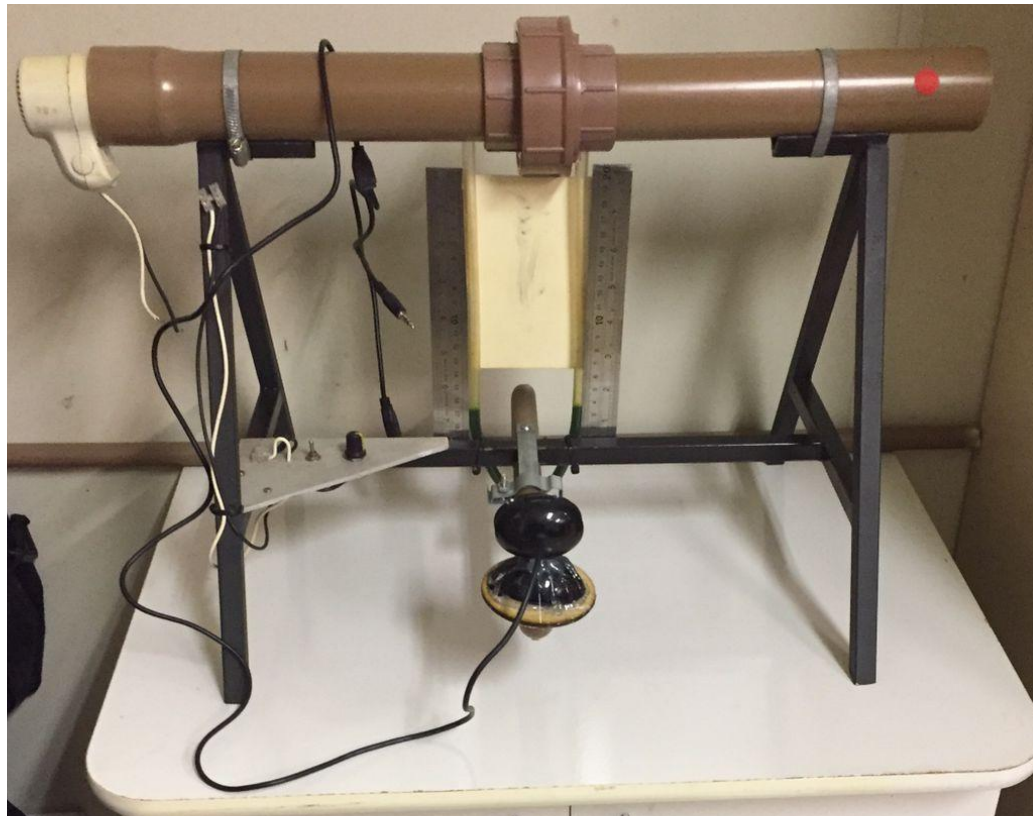




Figura 2: Bancada



Fonte: Autores, 2024.

Objetivo

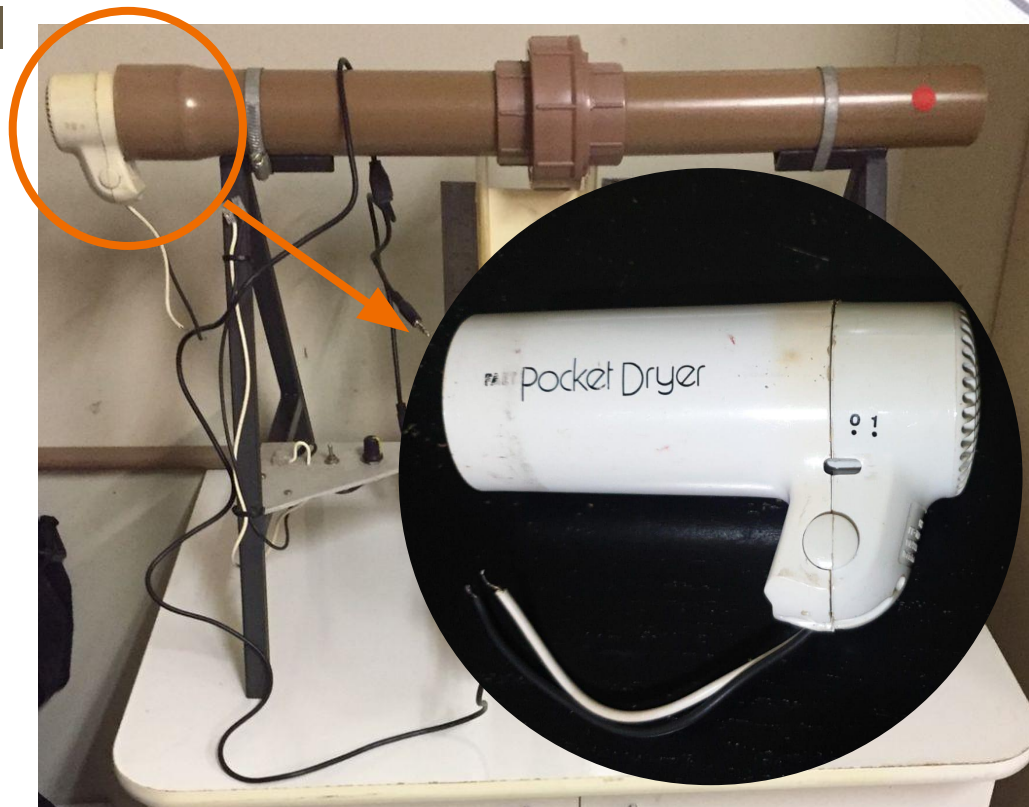


- Realizar a implementação e calibração de sistema de medição de vazão em um tubo com placa de orifício, utilizando visão computacional.

Componentes

Ventilador Portátil

- Alimentação 12V

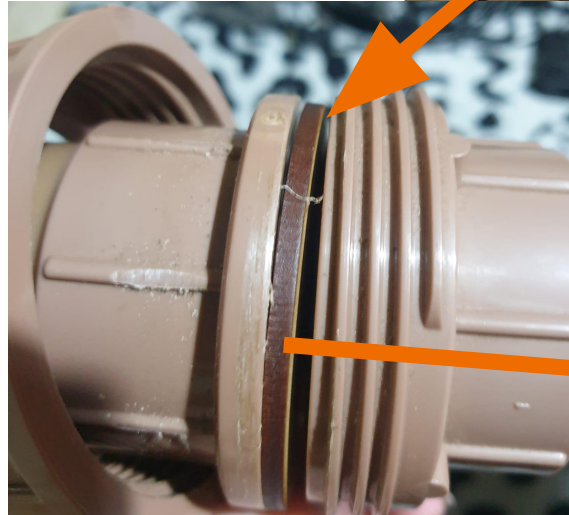
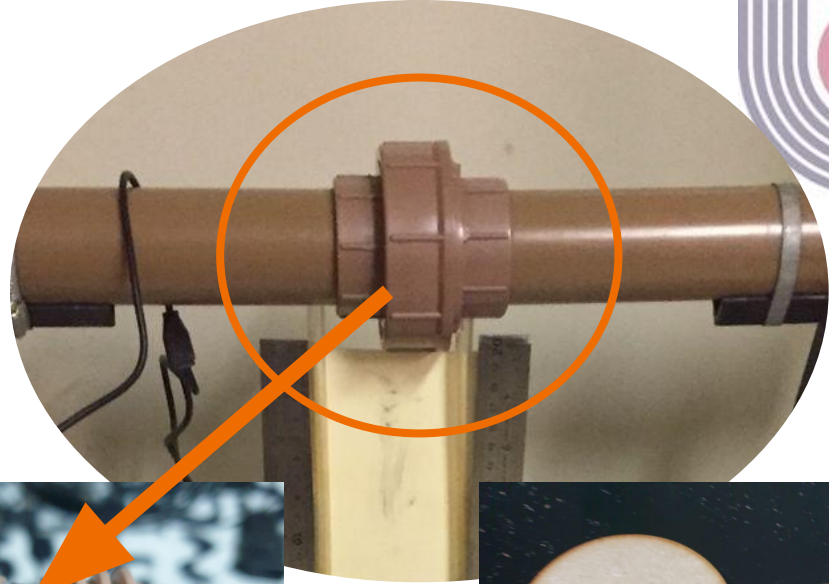


Fonte: Autores, 2024.

Componentes

Placa de orifício

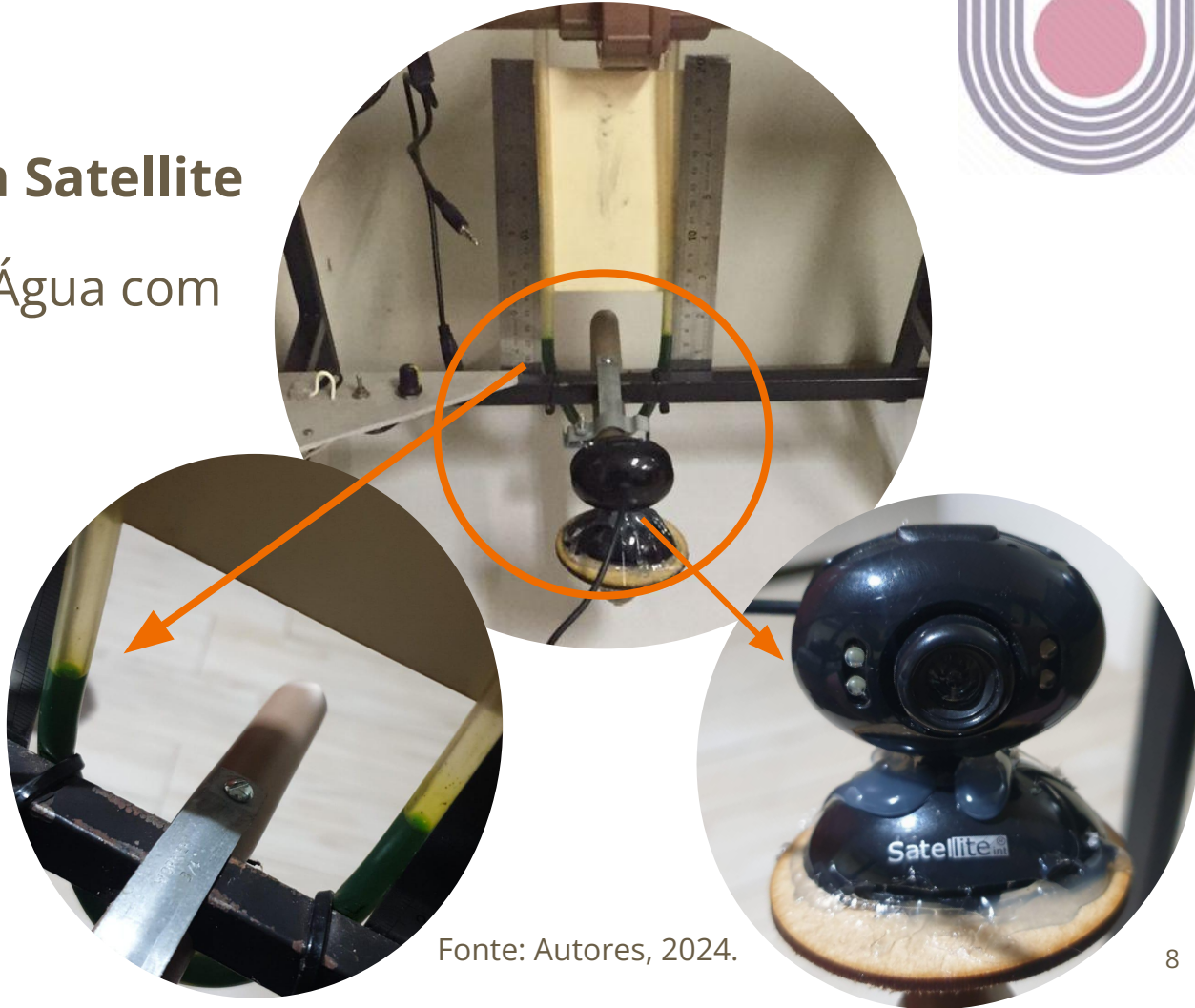
- 3 Placas em MDF
- Diâmetros internos:
8, 15 e 22 mm.



Componentes

Tubo em U + Webcam Satellite

- Fluido manométrico: Água com corante verde
- Webcam 30 fps



Fonte: Autores, 2024.

Metodologia



1

**Readequação
do sistema**



2

**Implementação
em Python**



3

**Calibração
do sistema**



4

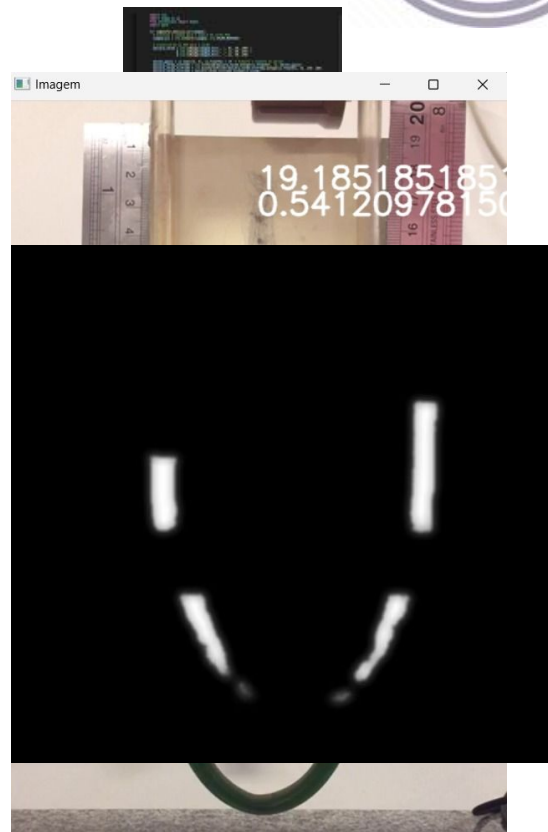
**Análise dos
resultados**

Desenvolvimento

- Processamento de imagem em Python
 - Conversão de pixel para milímetros
 - Conversão de altura em vazão
 - Cálculo do Coeficiente de Descarga
-

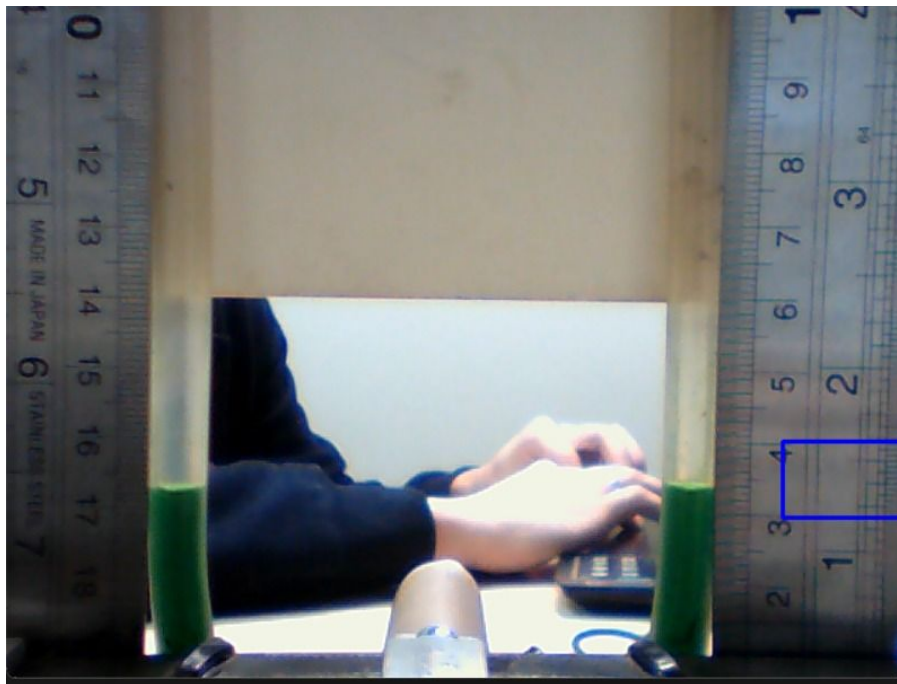
Processamento de imagem

- Bibliotecas opencv e numpy
- Foram desenvolvidas funções para:
 - Segmentação do fluido na imagem da câmera
 - Identificar os pontos máximos
 - Calcular a diferença de altura entre os pontos
 - Média móvel das medições



Conversão pixel para altura

- Retângulo de 54 px
- 10mm ou 1cm na régua



Fonte: Autores, 2024.

Procedimentos para realizar os cálculos



Razão entre o diâmetro do orifício e o diâmetro da tubulação

$$\beta = \frac{d_{orificio}}{D_{tubo}}$$

Equação de Reynolds

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

Equação da Vazão

$$Q = C_d \cdot A_t \left(\frac{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}}{1 - \beta^4} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \Delta P = \rho_{man} \cdot g \cdot h$$

Procedimentos para realizar os cálculos



Equação do coeficiente de descarga

$$C_d \cong f(\beta) + 91,71\beta^{2,5}Re_d^{-0,75} + \frac{0,09\beta^4}{1 - \beta^4}F_1 - 0,0337\beta^3F_2$$

Razão entre o diâmetro do orifício e o diâmetro da tubulação

$$f(\beta) = 0,5959 + 0,312\beta^{2,1} - 0,184\beta^8$$

Procedimentos para realizar os cálculos

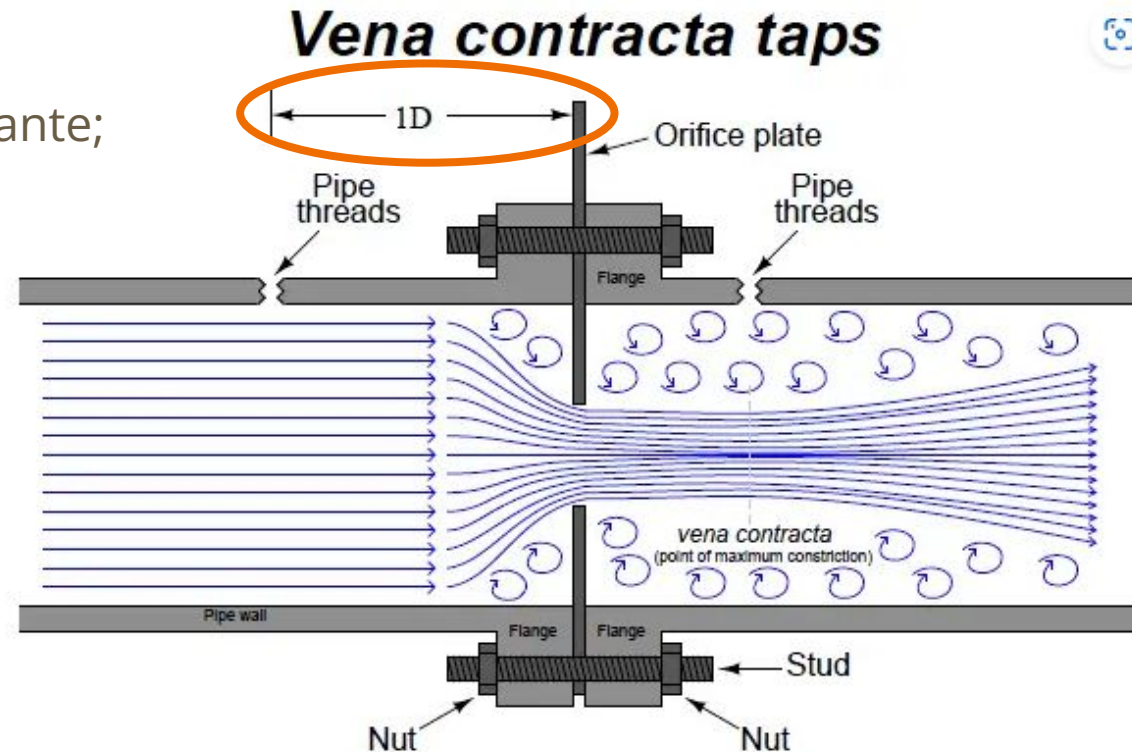


```
def taps(escolha, D):  
    """  
    Esta função calcula os valores F1 e F2 com base no tipo de "tap" (escolhida) e diâmetro.  
  
    Argumentos:  
    escolha (int): Um inteiro representando o tipo de escolha  
    d (float): O diâmetro do flange em polegadas.  
  
    Retorno:  
    Valores F1 e F2.  
  
    ler: https://instrumentationtools.com/types-of-orifice-plates-orifice-plate-tappings/  
    """  
  
    if escolha == 1: # Corner Taps  
        F_1 = 0  
        F_2 = 0  
    elif escolha == 2: # 1/2D Taps  
        F_1 = 0.4333  
        F_2 = 0.47  
    elif escolha == 3: # Flange Taps  
        Din = D / 25.4 # Converte para polegadas  
        F_2 = 1 / Din  
        if Din > 2.3:  
            F_1 = 1 / Din  
        else:  
            F_1 = 0.4333  
    else:  
        raise ValueError("Escolha incorreta. Selecione 1 para corner taps, 2 para 1/2D taps, or 3 para flange taps.")  
  
    return F_1, F_2
```


Encontrar o tipo de taps do sistema



- Um diâmetro à montante;
- Em cima da Vena à jusante;
- Se comportam de modo similar ao flange taps.



Cálculo iterativo coeficiente de descarga “Cd”



```
# Iterações para encontrar o Cd verdadeiro  
tol = 1e-6 # tolerância para a convergência  
max_iter = 100 # Número máximo de iterações
```

V (chute inicial) $\rightarrow Re_D \rightarrow \begin{matrix} * \\ * \end{matrix} \frac{\Delta h}{\beta} \rightarrow Cd \rightarrow V_{orifício} \rightarrow V$ (novo chute)

Caso	Beta [-]	V_chute [m/s]	Cd [-]
1	0.185	0.267	0.606
2	0.347	0.962	0.616
3	0.509	2.166	0.627

$$Q = V.A$$

Procedimento de obtenção de dados

- Foram aferidos 6 pontos das curvas de vazão por tensão e altura por tensão, com intervalo de 2V.
- 5 medições para cada ponto nas curvas.

PLACA COM ORIFÍCIO DE 8mm											
2V		4V		6V		8V		10V		12V	
H (mm)	Q (mm/s)	H (mm)	Q (mm/s)	H (mm)	Q (mm/s)	H (mm)	Q (mm/s)	H (mm)	Q (mm/s)	H (mm)	Q (mm/s)
1,04	0,13	2,54	0,201	5,4	0,289	9,2	0,376	13,52	0,456	16	0,494
0,96	0,121	2,4	0,194	5,54	0,289	9,6	0,384	13,56	0,458	15,98	0,494
0,92	0,124	2,38	0,193	5,6	0,289	9,4	0,38	13,64	0,458	15,96	0,494
0,88	0,119	2,4	0,194	5,38	0,289	9,56	0,383	13,74	0,459	15,96	0,494
0,96	0,125	2,38	0,193	5,6	0,289	9,52	0,381	13,84	0,461	15,94	0,493

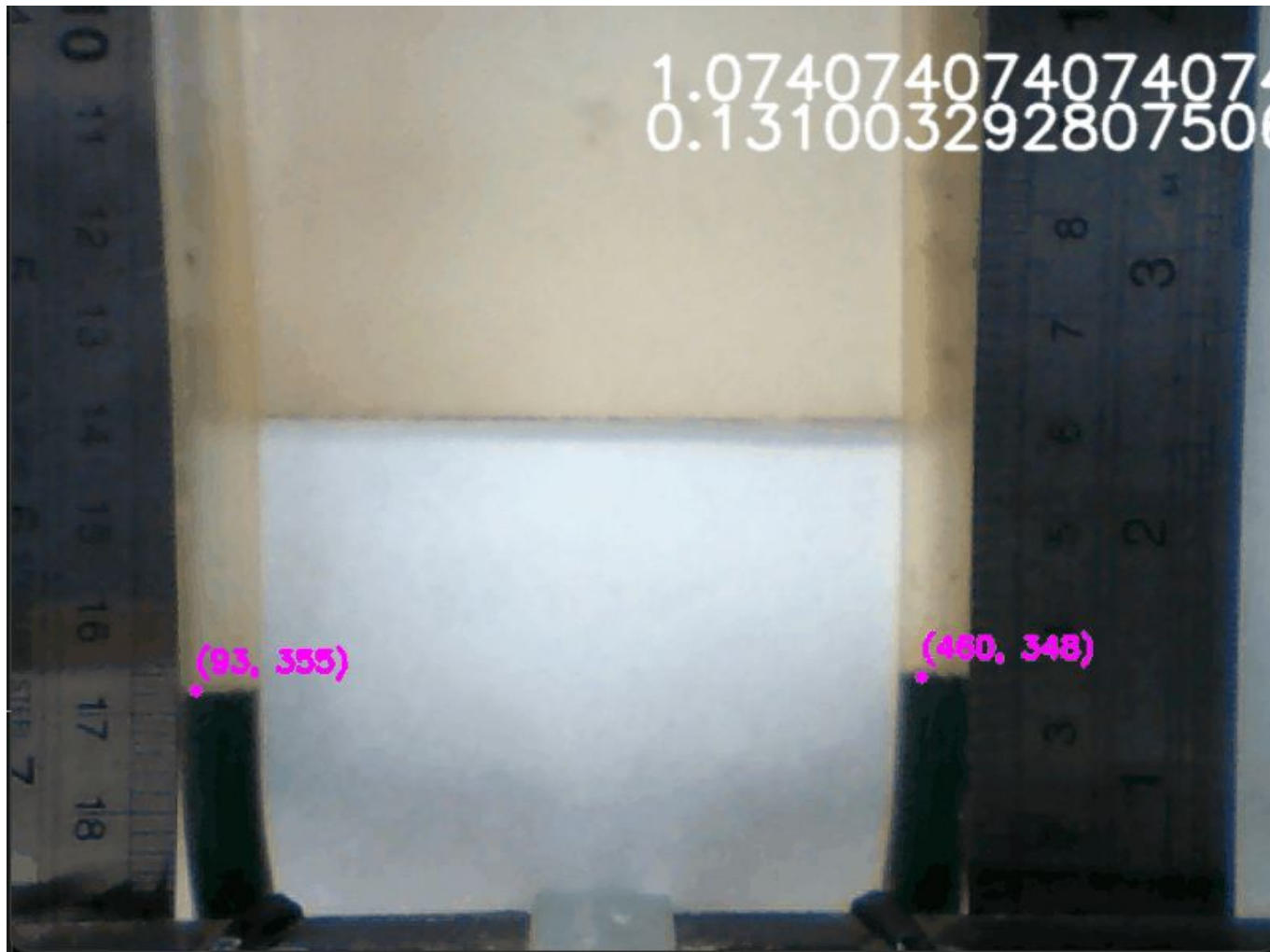
PLACA COM ORIFÍCIO DE 15mm											
2V		4V		6V		8V		10V		12V	
H (mm)	Q (mm/s)	H (mm)	Q (mm/s)	H (mm)	Q (mm/s)	H (mm)	Q (mm/s)	H (mm)	Q (mm/s)	H (mm)	Q (mm/s)
0,2	0,217	1,28	0,52	3,78	0,878	6,34	1,129	10,52	1,446	13,98	1,663
0,2	0,217	1,3	0,524	3,78	0,878	6,28	1,122	10,54	1,448	14	1,664
0,2	0,217	1,3	0,524	3,78	0,878	6,24	1,119	10,54	1,448	13,92	1,659
0,2	0,217	1,3	0,524	3,76	0,875	6,2	1,117	10,52	1,446	13,94	1,66
0,2	0,217	1,3	0,524	3,74	0,873	6,2	1,117	10,5	1,445	13,98	1,663

PLACA COM ORIFÍCIO DE 22mm											
2V		4V		6V		8V		10V		12V	
H (mm)	Q (mm/s)	H (mm)	Q (mm/s)	H (mm)	Q (mm/s)	H (mm)	Q (mm/s)	H (mm)	Q (mm/s)	H (mm)	Q (mm/s)
0,7	0,39	1,5	0,562	3,36	0,829	5,42	1,046	6,89	1,171	8,36	1,292
0,66	0,379	1,52	0,565	3,34	0,827	5,44	1,048	6,77	1,149	8,38	1,294
0,62	0,368	1,54	0,569	3,32	0,824	5,46	1,05	6,73	1,143	8,4	1,295
0,6	0,363	1,56	0,572	3,3	0,822	5,48	1,052	6,74	1,146	8,36	1,292
0,58	0,357	1,58	0,576	3,28	0,819	5,5	1,053	6,84	1,167	8,26	1,285

Resultados

- Demonstração do funcionamento
 - Curva de Altura x Tensão
 - Curva de Vazão x Tensão
 - Incerteza na medição da Vazão
 - Conclusão e trabalhos futuros
-



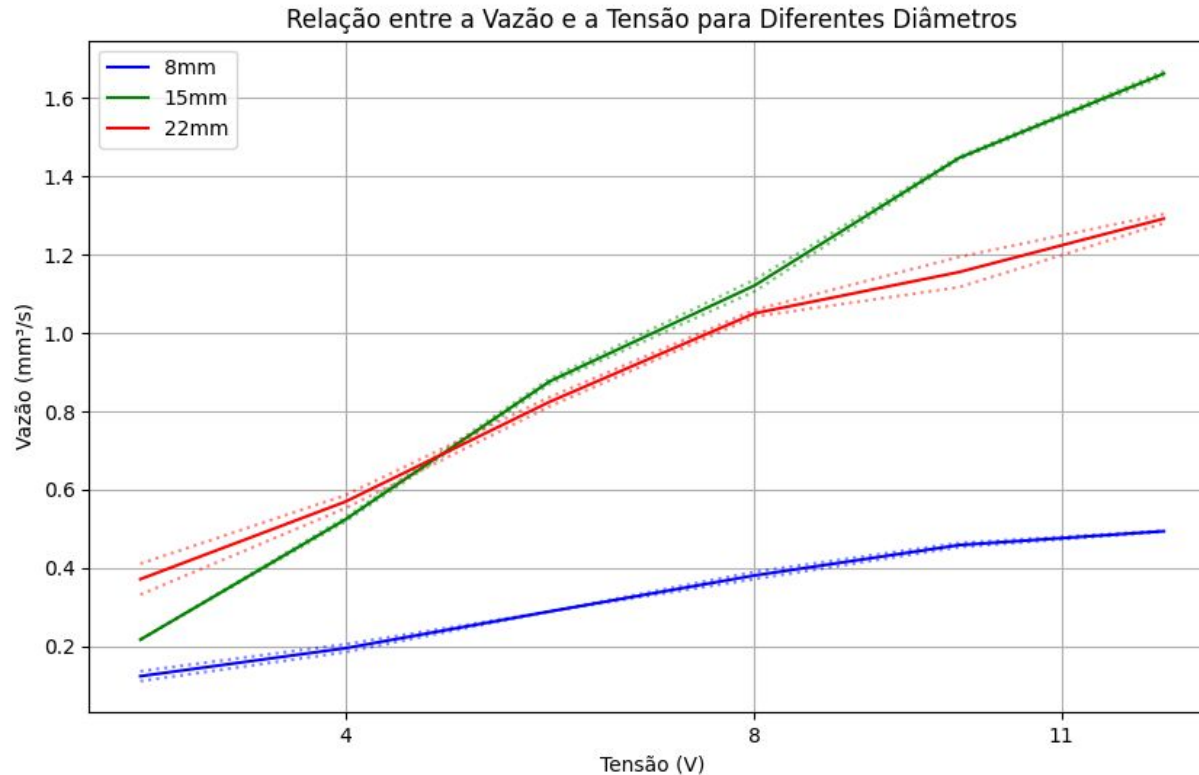


Curva de Altura por Tensão



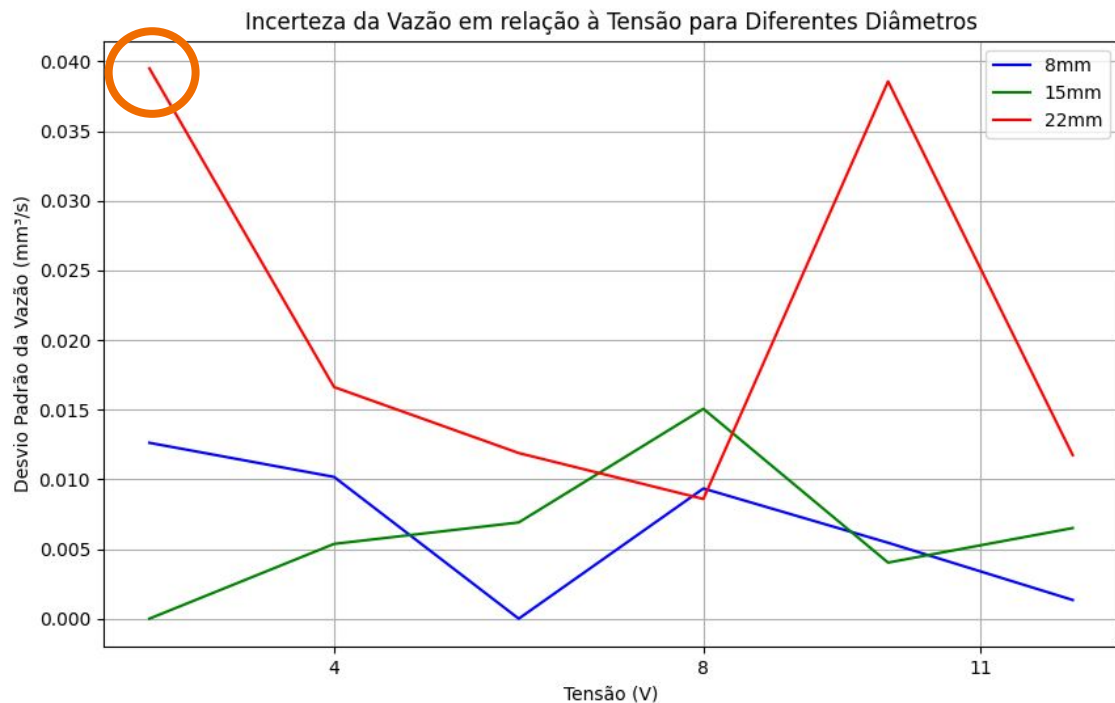
Fonte: Autores, 2024.

Curva de Vazão por Tensão



Fonte: Autores, 2024.

Incerteza na medição da Vazão



Fonte: Autores, 2024.

- O desvio padrão máximo encontrado, amplificado pelo fator de t-student para 4 GDL ($t=2,87$) foi de $\pm 0,040 \text{ mm}^3/\text{s}$



Incerteza na medição da Vazão

- A incerteza de medição da altura (pixel -> mm) foi estimada em $\pm 0,5$ mm
- Propagando a incerteza da medição da altura, obtemos uma incerteza de $\pm 0,042$ mm³/s
- Relacionando as fontes de incerteza pela equação

$$u_c = \sqrt{u_P^2 + u_R^2}$$

- Finalmente obtemos

$$U_c = \pm 0,058 \text{ mm}^3/\text{s}$$

Incerteza da medição de vazão

$$\Delta P = \rho_{man} \cdot g \cdot h$$
$$Q = C_d \cdot A_t \left(\frac{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}}{1 - \beta^4} \right)^{\frac{1}{2}}$$



Conclusão

- O processo de medição foi realizado duas vezes, apresentando uma grande variação nas medidas.
- Alta frequência de aquisição (30Hz) dificultava a coleta precisa dos dados, pois era necessário selecionar as medidas coletadas e exibidas.
- Buscou-se estimar um intervalo suficiente para cobrir a variação esperada do sistema sobre a medida real.



Trabalhos futuros

- Implementação de um sistema automatizado para aquisição das medidas
- Com uma amostra maior de dados, será possível compreender mais profundamente a magnitude da incerteza do sistema.



Referências

- Viscosity of Air, Dynamic and Kinematic: Engineers Edge. Disponível em: <https://www.engineersedge.com/physics/viscosity_of_air_dynamic_and_kinematic_14483.htm>
- Water - Density Viscosity Specific Weight Engineers Edge: Disponível em: <https://www.engineersedge.com/physics/water_density_viscosity_specific_weight_13146.htm>
- Orifice-Taps. Disponível em: <<https://instrumentationtools.com/wp-content/uploads/2018/01/Orifice-Taps.png?ezimgfmt=ng:webp/ngcb2>>
- **Documentação completa no GitHub:** <<https://github.com/prestesvinicius/CV-flowmeter>>



**Agradecemos
pela atenção!**