Encontro Nacional do Programa de Formação de Recursos Humanos da ANP - 2026

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS ESTRUTURAS DE VÓRTICES NA SUSPENSÃO DE PARTÍCULAS EM ESCOAMENTOS DE FLUIDOS NÃO NEWTONIANOS EM JATOS VERTICAIS

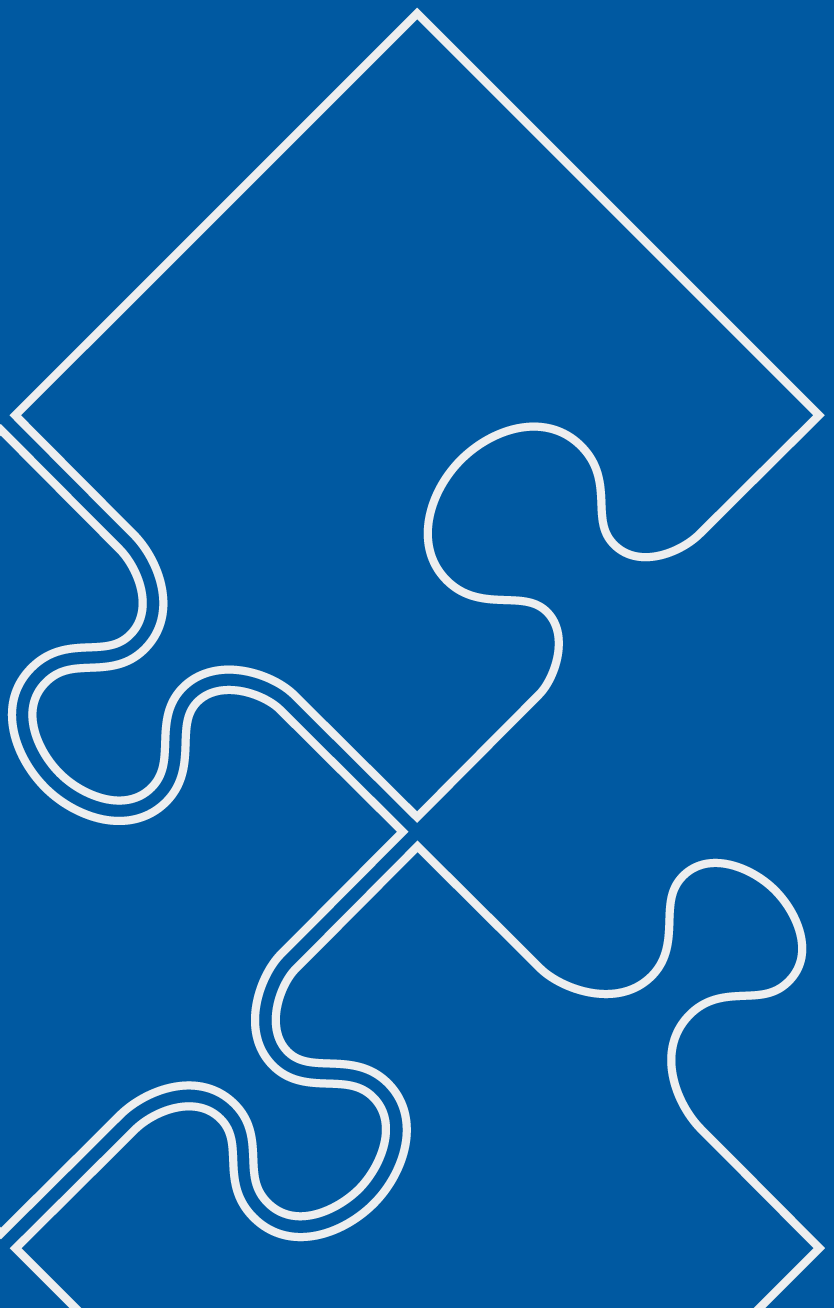
Victor Emanuel Santana
Orientador: Prof. Dr. Eduardo Germer
Coorientador: Prof. Dr. Admilson Franco

PRH 21

Tipo de bolsa: Mestrado

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Gestão:



1

INTRODUÇÃO

INTRODUÇÃO

Método de Perfuração Rotativa

Usado em operações *onshore* e *offshore*, o processo de perfuração é realizado por uma broca acoplada a uma coluna de perfuração, combinando rotação e força descendente, gerando cascalhos.

Leitos estáticos:

- Obstruem o escoamento;
- Aumentam a queda de pressão;
- Levam a falhas operacionais.

Fluidos de Perfuração:

- Lubrificar e resfriar a broca de perfuração;
- Estabilizar as paredes do poço;
- Transportar cascalhos para a superfície.

Figura 1 – Cascalhos



Fonte: Autor (2026)

OBJETIVOS

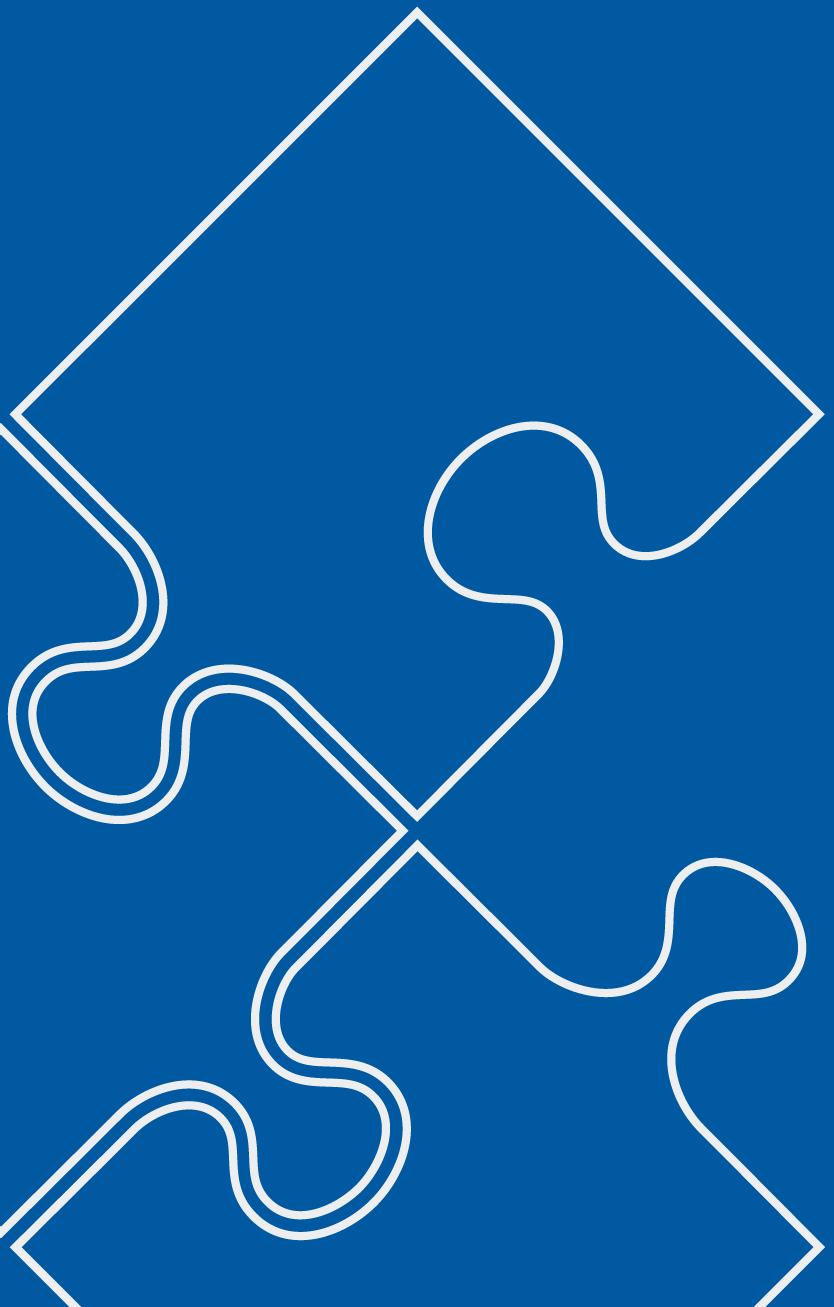
1 Objetivo Geral

Analisar a influência das estruturas de vórtices na suspensão de partículas.

→ Compreender os mecanismos que governam a interação entre os padrões de vórtices e comportamento das partículas em diferentes condições reológicas.

2 Objetivos Específicos

- Consolidar a metodologia experimental utilizando FN;
- Realizar testes com FNN;
- Comparar resultados para diferentes vazões;



2

METODOLOGIA

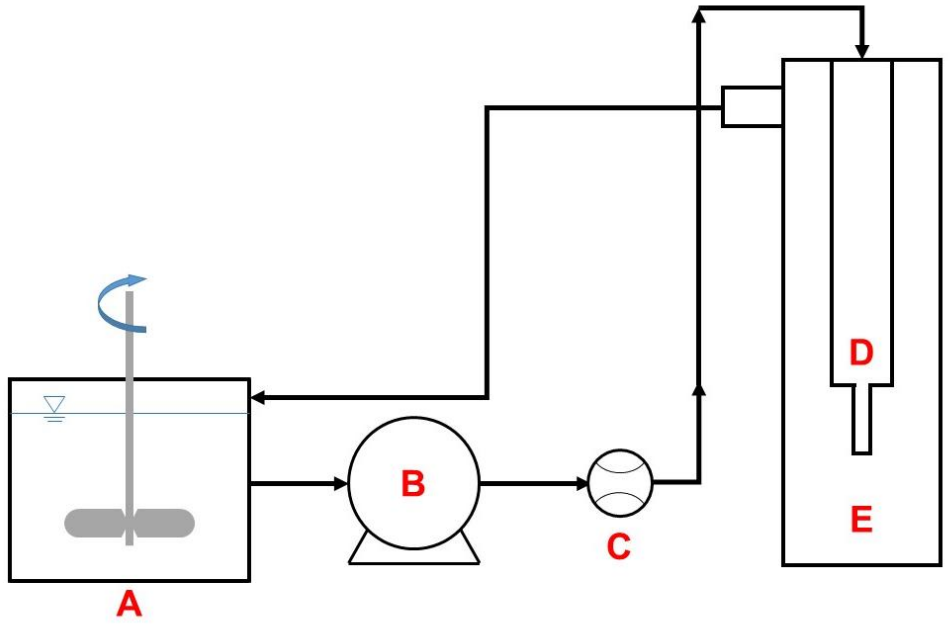
METODOLOGIA

- Simula condições reais de transporte de partículas;
- Diâmetros definidos com base em dados de Queirós e Feijó et al. (2022);
- Fabricada na escala de 1:4,6;
- Contração adicionada no final do tubo interno e a 120 mm da superfície de impacto para simular a **perda de carga** dos bocais da broca;
- Caixa de visualização.

Componentes do circuito:

A: Tanque de armazenamento;
B: Bomba;
C: Medidor de vazão Coriolis;
D: Tubo interno;
E: Tubo externo;
F: Filtro de partículas.

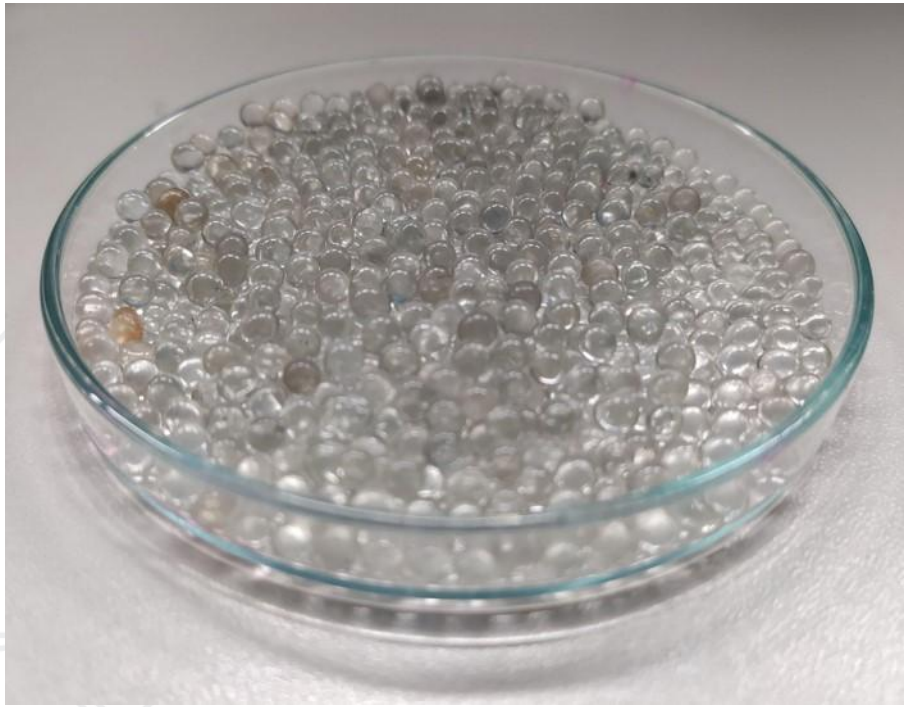
Figura 2 – Diagrama esquemático



Fonte: Autor (2026)

METODOLOGIA

Figura 3 – Esferas de vidro



Fonte: Autor (2026)

Leito de partículas:

- O leito foi composto por 4000 g;
- Para cada novo teste foi rearranjado de modo que sua superfície fique o mais uniforme e plana;

Tabela 1 – Propriedade das partículas

Propriedades	
Material	Vidro
Diâmetro médio	4mm ±0,5mm
Massa específica	2450 kg/m³

Fonte: Autor (2026)

METODOLOGIA

Fluidos:

- Foram utilizados três fluidos distintos, sendo dois newtonianos e um não newtoniano;
- Fluidos N2 e P1 foram formulados para apresentarem a mesma viscosidade aparente na taxa de cisalhamento característica do escoamento;

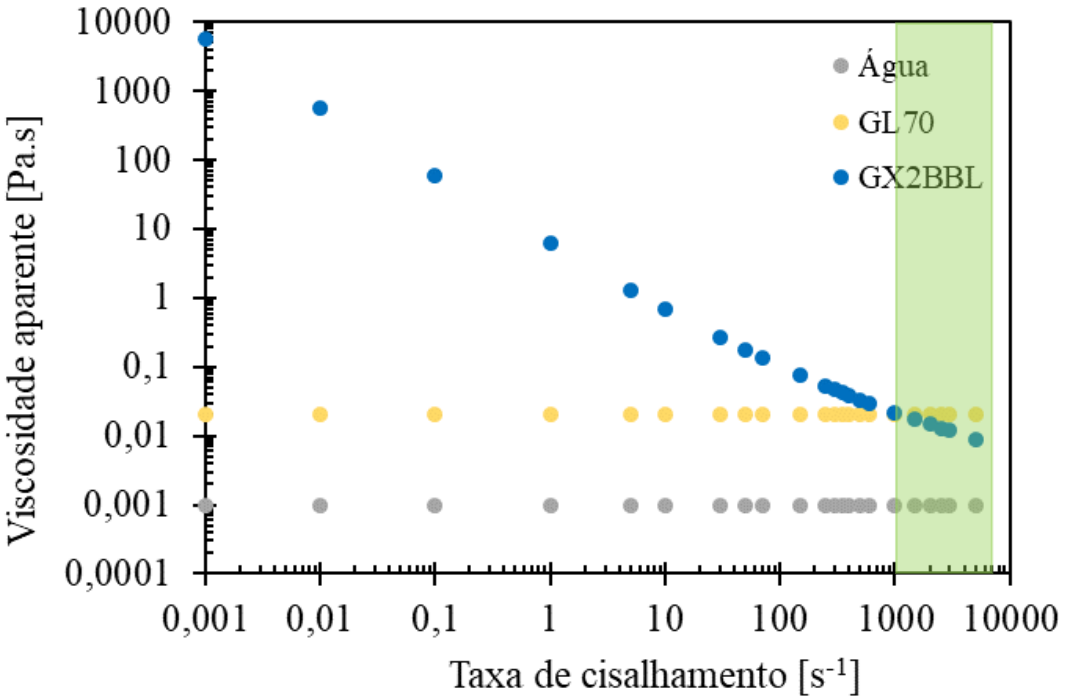
$$\dot{\gamma}_c = \frac{8V}{d_j}$$

Tabela 2 – Propriedade

Fluido	Composição	Massa específica	Viscosidade	Coeficient de consistênci		
		ρ_f [kg/m³]	μ [Pa.s]	m		
N1	Água	998	0,001	-		
N2	Glicerina 70 wt%	1172	0,005	-	-	
P1	Goma Xantana 0,57 wt.%	1007	-	0,35996	0,5511	5,7095

Fonte: Autor (2026)

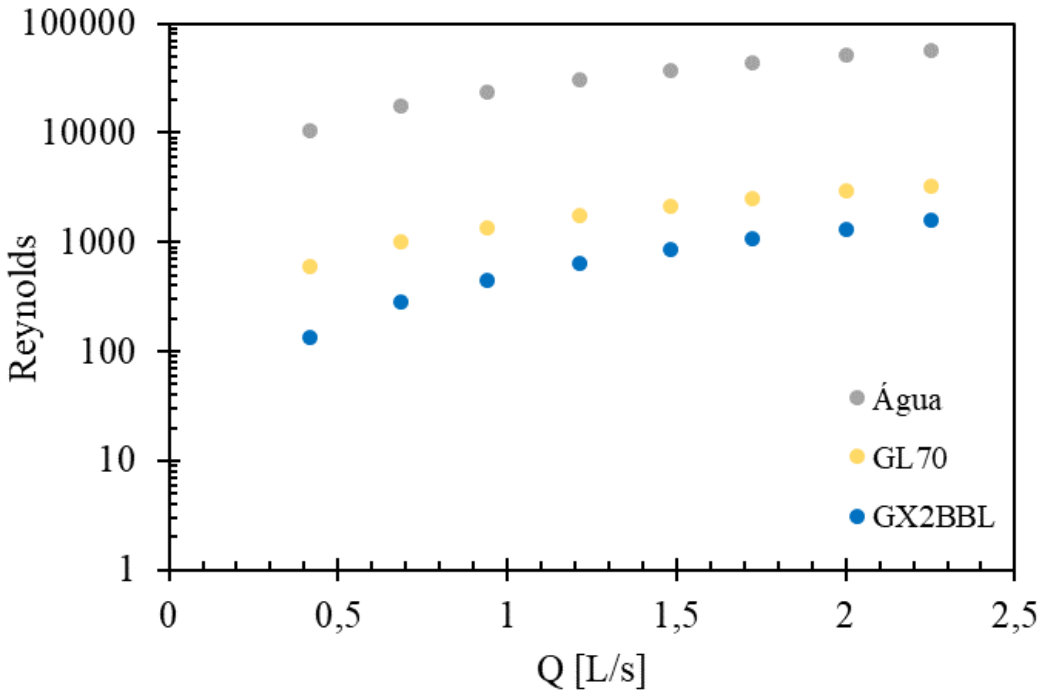
Figura 4 – Curvas de escoamento



Fonte: Autor (2026)

METODOLOGIA

Figura 5 – Número de Reynolds



Fonte: Autor (2026)

Condições de escoamento:

- Vazões de 0,42 até 3,20 L/s;
- Opção pela vazão não pelo Reynolds como parametrização;

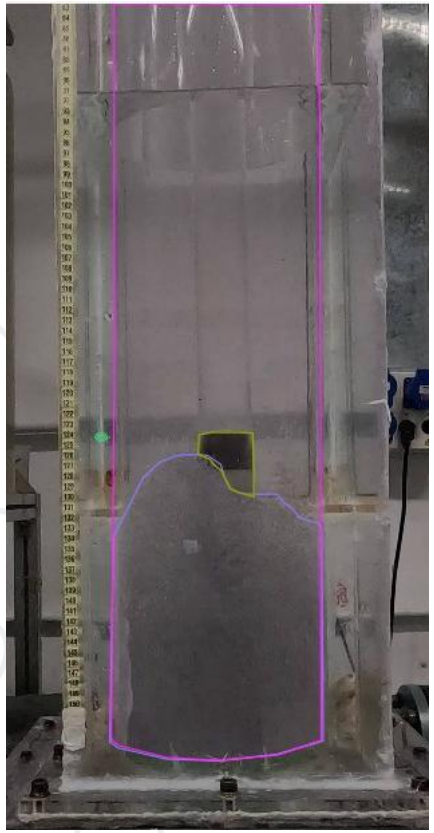
Tabela 3 – Número de Reynolds

Descrição	Equação	Aplicação
Reynolds para escoamento em tubos	$Re_D = \frac{\rho_f V D}{\mu}$	FN
Reynolds para escoamento em tubos modificado por Malin	$Re_{D_{Malin}} = \frac{\rho_f V^{2-n} D^n}{K(0.75 + 0.25/n)^n \, 8^{n-1}}$	FNN

Fonte: Autor (2026)

METODOLOGIA

Figura 6 – Anotação para treinamento

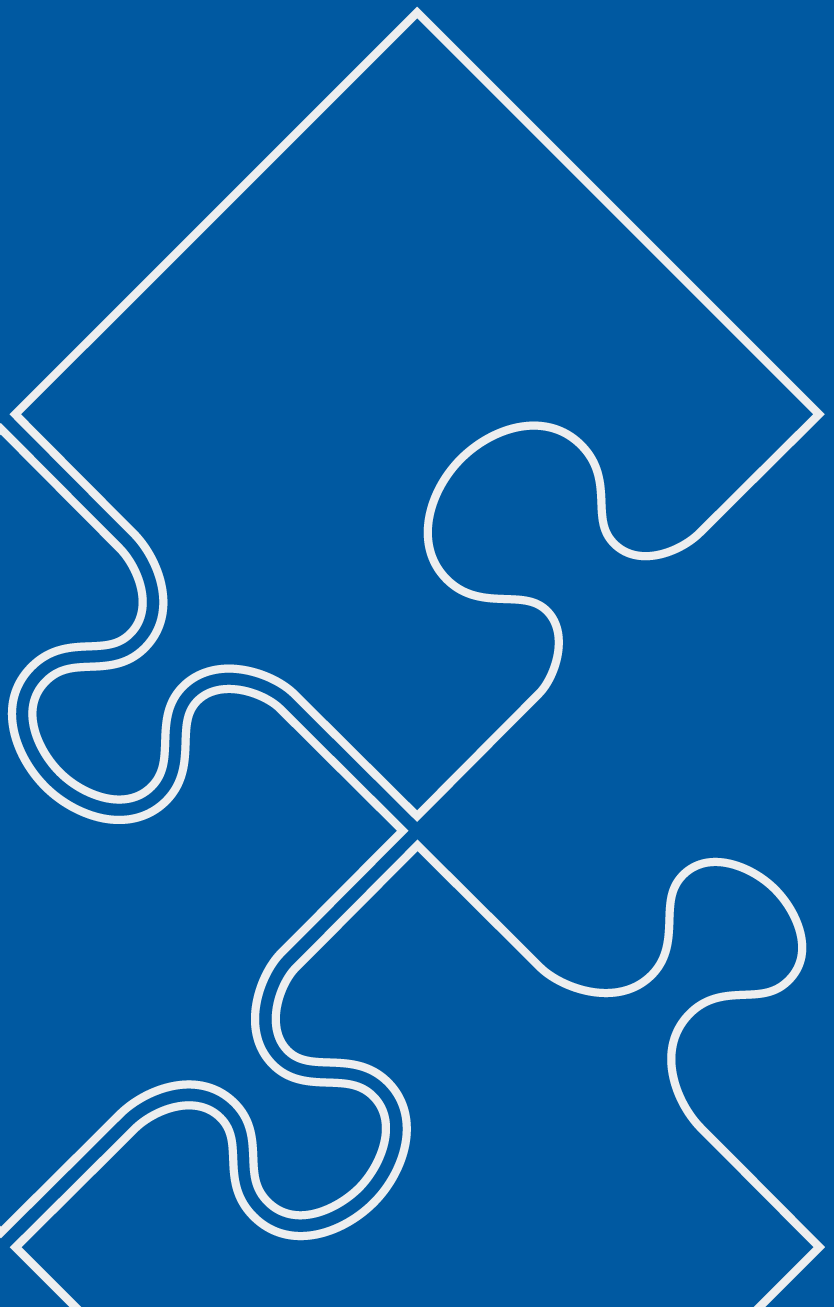


Fonte: Autor (2026)

Tratamento dos dados:

- Modelo de visão computacional:
  - *Yolo Segmentation*;
    - Anotação do leito, coluna e contração;
    - Treinamento com 108 imagens por fluido;

- Resultados:
  - Superfície do leito: h(x,t)
    - Altura máxima
    - Altura média
    - Frequência do perfil

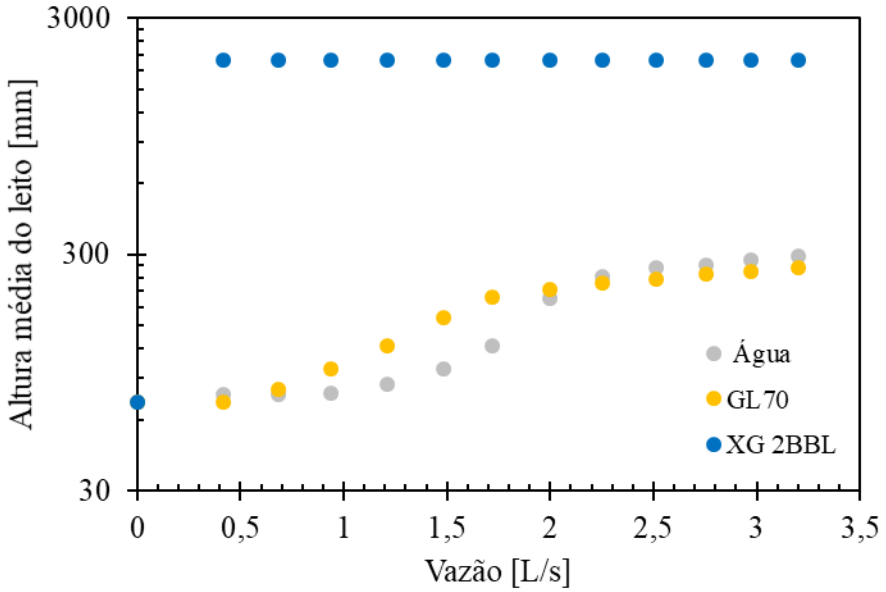


3

RESULTADOS

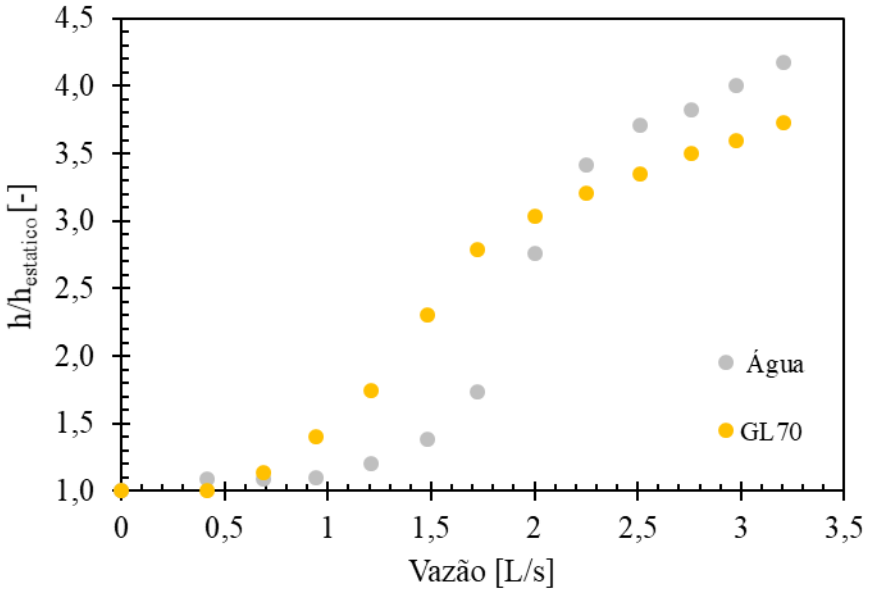
RESULTADOS

Figura 7 – Altura média do leito



Fonte: Autor (2026)

Figura 8 – Razão de suspensão

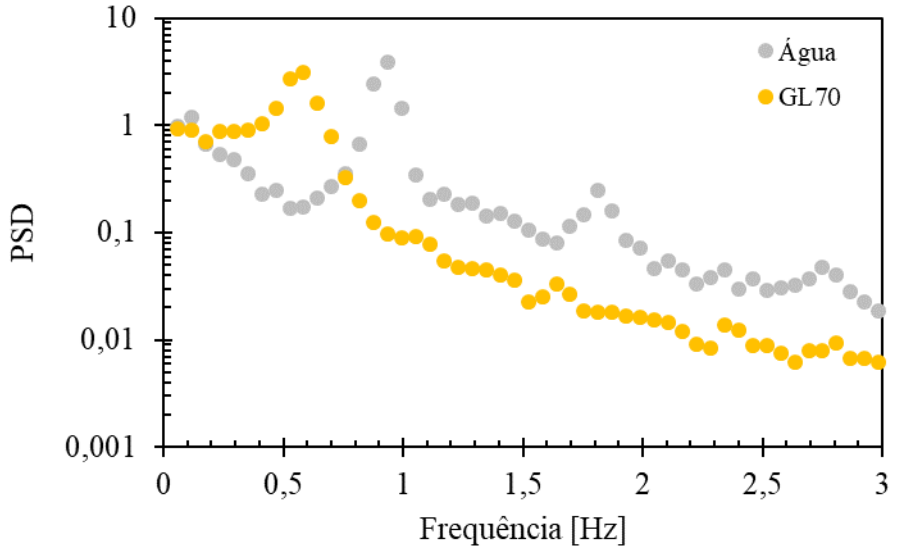


Fonte: Autor (2026)

- Aumento da vazão promove expansão do leito em ambos os fluidos.
- GL70 apresenta maior expansão relativa nas vazões intermediárias, principalmente entre ~0,7 e 2,0 L/s.
- Acima de ~2,0 L/s ocorre uma inversão, com a água apresentando maior expansão e chegando a $h/h_{estático}$~4,2, contra ~3,7 para o GL70.

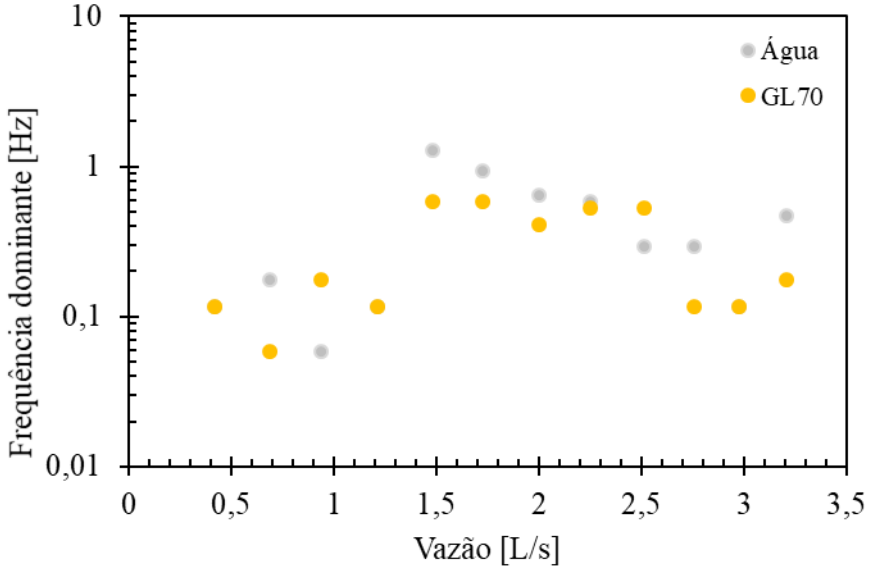
RESULTADOS

Figura 9 – PSD – Q6



Fonte: Autor (2026)

Figura 10 – Frequências dominantes

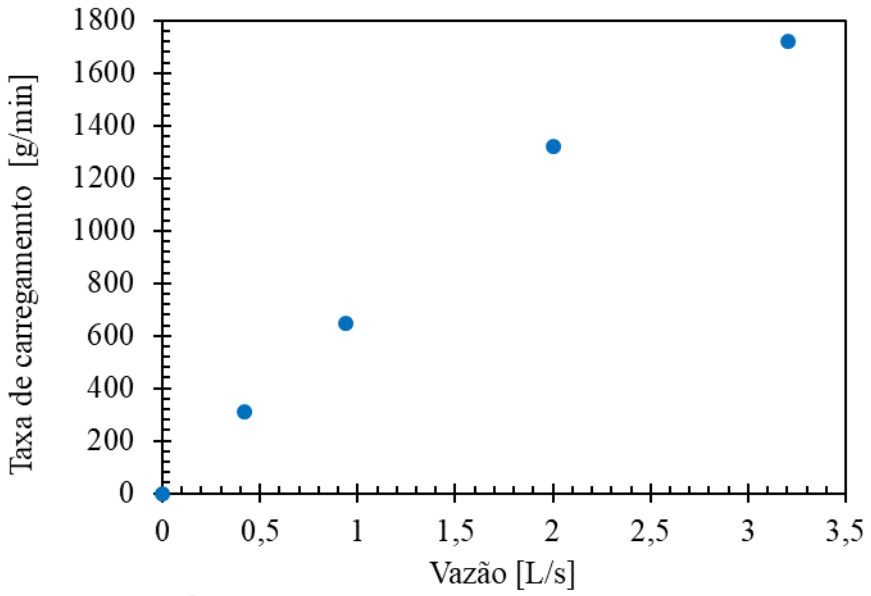


Fonte: Autor (2026)

- • PSD de $h_m(t)$identifica frequências características da oscilação do leito.
  - • Em Q6: $f_{dom} = 0{,}94$ Hz (Água) e 0,59 Hz (GL70).
- • A frequência característica depende das condições de escoamento e da reologia.
  - • Próxima etapa: correlação com estruturas de vórtices via PIV/DMD.

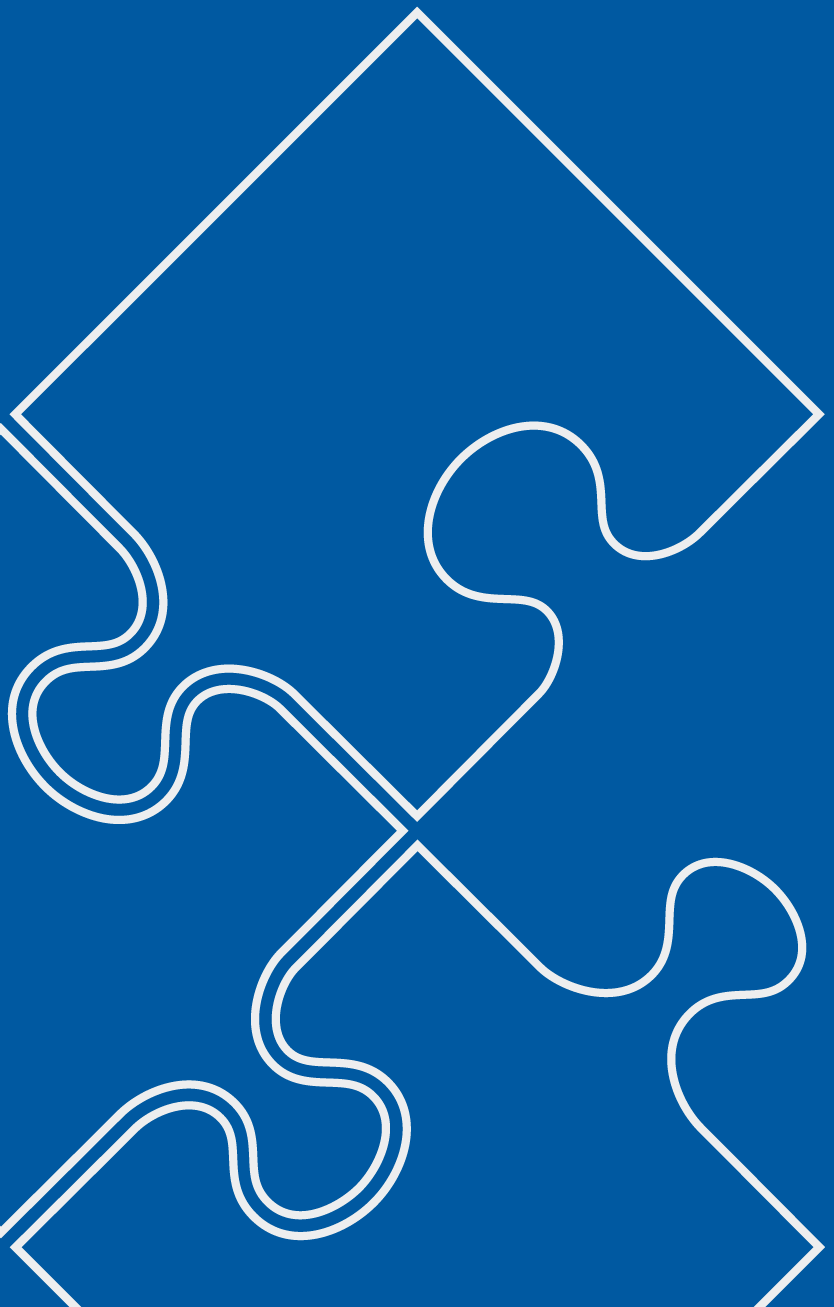
RESULTADOS

Figura 11 – Taxa de carregamento



Fonte: Autor (2026)

- A taxa de carregamento aumenta fortemente com a vazão.
- O aumento da vazão de aproximadamente 0,4 para 3,2 L/s eleva a taxa de carregamento de cerca de 300 para 1700 g/min.
- A vazão apresenta forte influência sobre a capacidade de transporte do sistema, evidenciando a transição para condições de maior carreamento.



3

CONCLUSÕES

CONCLUSÕES

- **A metodologia baseada na segmentação da interface permitiu quantificar a expansão do leito sob diferentes condições de vazão e de** fluidos.

- **A resposta do leito depende das propriedades do fluido**: o GL70 apresenta maior expansão em vazões intermediárias, enquanto a água supera o GL70 em vazões mais altas.

- **A capacidade de transporte aumenta com a vazão**, como evidenciado pelo aumento da taxa de carregamento das partículas.

- **As oscilações da interface apresentam frequências características** que variam com a vazão e o fluido. Essas frequências podem estar associadas à atuação de estruturas de vórtice no escoamento, hipótese a ser investigada por meio da correlação entre f_{dom}, vorticidade e estruturas obtidas por PIV/DMD.



Victor Emanuel Santana

Dados para contato

E-mail: victors.1999@alunos.utfpr.edu.br

LinkedIn: https://www.linkedin.com/in/victor-emanuel-santana-644671181/


prh anp


anp
Gestão:
FAPESP