

## ANÁLISE DE PERDA DE CARGA EM UMA TUBULAÇÃO DE PVC: SIMULAÇÃO VIA COMPUTACIONAL E EXPERIMENTAL

Anderson Civeiro (1)

Rodrigo Nardi (2)

Wilson Pereira (3)

Evandro Balestrin (4)

### Resumo

A fluidodinâmica computacional é uma ciência aplicada a empregar que utiliza métodos numéricos e algoritmos computacionais para simular e analisar o comportamento de fluidos em movimento. Já no estudo do escoamento de fluidos, as perdas de carga desempenham um papel fundamental e representam a energia dissipada devido ao atrito e às resistências existentes pelas superfícies e obstruções no sistema. Essas perdas impactam negativamente na eficiência de sistemas hidráulicos bem como influenciar os custos operacionais. A perda de carga em um tubo de PVC liso com diâmetro fixo, bem como velocidade e vazão do fluido incompressível foi realizada experimental e após simulada computacionalmente via software ANSYS. A análise do sistema empregado experimentalmente não apresentou correlação com a simulação apresentando uma divergência de 40%. Fatores como rugosidade da tubulação e ausência de uma malha com maior refinamento devido a limitação da versão do software podem estar como causas. É imprescindível a tomada de dados experimentais de forma mais aprofundada e utilização de técnicas mais potentes para correlação com os dados obtidos experimental e validação dos modelos matemáticos empregados.

Palavras-chaves: Fluidodinâmica computacional, perda de carga, tubulação lisa PVC, CFD

### 1 INTRODUÇÃO

Dentro do estudo do escoamento de fluidos, as perdas de carga desempenham um papel fundamental representando a energia dissipada devido ao atrito e às resistências impostas pelas superfícies e obstruções no sistema. Essas perdas impactam diretamente a eficiência de sistemas hidráulicos e pneumáticos, o dimensionamento de bombas, ventiladores e tubulações, além de influenciar os custos operacionais. A análise precisa das perdas de carga é essencial para projetar sistemas otimizados (BIRD, 2014).

A análise CFD - fluidodinâmica computacional é uma técnica computacional que emprega modelagem numérica de sistemas envolvendo fluxos de fluidos, transferência de calor, transferência de massa, reações química (cinética) utilizando técnicas computacionais e softwares para modelar e simular os dados obtidos experimentalmente. Com o uso de usa equações matemáticas e algoritmos numéricos para analisar o comportamento dos fluidos e suas interações com outras estruturas ou fluidos é possível obter resultados como a velocidade, pressão e temperatura do escoamento de um fluido e ainda identificar regiões de alta perda de carga em um sistema. (FRANCO NETO, 2017).

Bochio (2019) afirma que o CFD vem ganhando força nos últimos anos em estudos e pesquisas acadêmicas, uma vez que este permite um ampla análise do fenômeno a um custo menor que a análise experimental, bem como a ampla aplicação visto a melhorias frequentes na análise complexas numéricas.

Alguns trabalhos como o de Charles e Redberger (1962) analisou o escoamento laminar multifásico de óleo-água em uma tubulação cilíndrica, onde demonstrou que o escoamento multifásico tinha perda de carga menor que um escoamento unifásico de óleo. Isto ocasionou uma revolução nos estudos com fluidodinâmica, sendo concentrado em trabalhos que avaliassem escoamentos tanto multifásicos, como monofásicos.

Os autores conseguiram correlacionar os dados experimentais com a simulação utilizando técnicas computacionais mais avançadas, como o VOF ("Volume of Fluid") bem como a computação de modelos de turbulência,

efeito de ondulações nas interfaces do tubo, bem como rugosidades para permitir uma simulação precisa (BOCHIO, 2019).

Em face a isso, o objetivo deste estudo foi avaliar e comparar a perda de carga em uma tubulação de PVC lisa frente aos dados experimentais e a simulação computacional fluidodinâmica buscando a correlação entre os dados obtidos e a validação do modelo matemática empregado.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 - MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo inicial baseou-se na realização de um experimento prático em laboratório para coleta de dados experimentais e com base nestes foi realizada uma simulação utilizando um software de Computational Fluid Dynamics (CFD) - pacote ANSYS Workbench Student.

#### 2.1.1 - Determinação Experimental da Perda de Carga

O sistema utilizado consistia em tubulações de PVC com um comprimento fixo de 1,23 m, diâmetro médio de 3/4", a área de seção transversal do tubo obtido por cálculo é de  $2,85 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ , projetado para avaliar o comportamento do fluxo de água em condições controladas.

A pressão de entrada e saída foi medida por meio de um manômetro de coluna de líquido, um equipamento que utiliza a altura do fluido em tubos transparentes verticais para indicar a pressão hidrostática em cada ponto. Para determinar a vazão, foi utilizado um tanque graduado com régua embutida para medir o volume acumulado de água. O tempo necessário para encher o tanque até uma marca definida foi registrado com o auxílio de um cronômetro. A vazão foi calculada pela razão entre o volume medido no tanque e o tempo registrado. Os dados obtidos foram coletados em triplicata e para os cálculos foram utilizados as médias desses valores.

As dimensões do sistema, incluindo o comprimento das tubulações, foram medidas para serem utilizadas como parâmetros de entrada na etapa de simulação.

### 2.1.2 - Determinação da Perda de Carga via Simulação Fluidodinâmica Computacional

A simulação fluidinamica aconteceu no software Fluent com análises dos dados de pós processamento no software CFD-Post. Com isso, foi possível obter os dados de perda de carga do modelo.

Foi realizada a modelagem tridimensional do sistema de tubulações, representando geometricamente a infraestrutura experimental considerando o comprimento e o diâmetro da tubulação definido no experimento.

A malha computacional foi gerada com refinamento suficiente para garantir a estabilidade e a precisão do cálculo, com o número de elementos próximo a 430.000. utilizando uma malha tetraédrica e refinamento especialmente nas regiões próximas às paredes da tubulação, onde ocorre o maior gradiente de velocidade.

As condições de contorno aplicadas na simulação incluíram o valor de velocidade do fluido determinado experimentalmente (2,36 m/s), além da vazão média calculada experimentalmente (0,000673 m<sup>3</sup>/s), o regime sendo determinado como estacionário e as condições de viscosidade e densidade do fluido conforme configurada para o elemento água no Fluent.

O modelo numérico foi configurado para resolver as equações de Navier-Stokes em segunda ordem, que descrevem o movimento de fluidos. Adicionalmente, foi considerado um regime de escoamento permanente e incompressível, condizente com a natureza do experimento.

Os valores simulados foram comparados aos resultados experimentais.

## 2.2 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.2.1 - Perda de Carga e Parametros Obtidos Experimental

A partir dos dados obtidos na análise do processo de escoamento na tubulação modelo 3/4" foram calculados os seguintes dados: velocidade do fluido no tubo, vazão volumetrica, área de escoamento do tubo, variação de volume e numero de Reynolds para definição do regime de escoamento.

Baseando na equação da vazão relacionando velocidade com a área, obtém-se a velocidade do fluido de 2,36 m/s. Importante citar que o perfil

laminar do fluido ocasiona um perfil parabólico de velocidade e no centro tem-se o valor máximo (BIRD,2014).

A determinação de perda de carga ocorreu pela medida do diferencial de pressão em cm H<sub>2</sub>O, cuja a diferença apresentou o valor de 196,67 cm H<sub>2</sub>O. Realizando a conversão para a unidade determinado no SI, temos como perda de carga direta nesta tubulação 1928,08 Pa. Conforme Azevedo Neto (1998) estabelece em seu estudo, a perda de carga bem como demais parametros são constantes em um tubo liso de secção constante.

Para auxiliar nas configurações do software, decidiu-se complementar os cálculos com o número de Reynolds, a fim de determinar o regime de turbulência. Após cálculo, conclui-se que o regime de escoamento é laminar pois apresentou-se coeficiente de Reynolds em 672,6, onde valores abaixo de 2300 em uma tubulação reta cilíndrica indica este tipo de regime (ÇENGEL,2015)

#### 2.2.2 - Perda de Carga via Simulação Fluidodinâmica Computacional

A simulação numérica foi realizada em um modelo de segunda ordem, considerando o regime laminar, com uma análise de interações de 10000 e convergência após resíduo inferior a 10<sup>-3</sup>. Com isso, o software executou a análise em 20 minutos com número de interações de 1270, apresentando a convergência (Figura 4).

A Figura 5 e a Figura 6 mostram a pressão na entrada (1184,38 Pa) e na saída (28,9456 Pa), respectivamente, do tubo de 3/4" na simulação. Os valor de perda de carga pela simulação apresentou um valor de 1155,4344 Pa.

Realizando a análise de variação do valor obtido experimentalmente versus o valor obtido via simulação, obtem um redução da perda de carga via simulação de 40,07%.

O fluido na tubulação sofre influência das paredes e do atrito com estas, bem como das rugosidades existentes sendo continuas em tubos que não contem conexões ou pertubações (AMARAL, AMARAL, 2016).

Dentre este fator o fato da malha não permitir o refinamento mais próximo influenciou negativamente na determinação da perda de carga via

simulação, visto que o fator de rugosidade não foi tal qual a condição experimental neste estudo. A rugosidade é de difícil mensuração a campo e de maior incerteza nos projetos hidráulicos (KUN et al., 2015)

A validação do modelo matemático não pode ser validada dada as limitações do software na versão Student para refinamento da malha numérica, bem como o conhecimento de parâmetros de rugosidade da tubulação para adicionar perdas de cargas adicionais que foram obtidas experimentalmente e que estão divergindo na simulação.

A NBR 12218:1994 (ABNT,1994) informa que a melhor forma de determinação da perda de carga de um fluido em uma tubulação deve ser pela equação de Darcy-Weisbach, correlacionando a rugosidade, sendo que há algumas divergências ainda em estabelecer a melhor forma de padronizar esta medição (KELLNER et al, 2016).

A simulação reproduziu tendências consistentes com os dados obtidos no laboratório, embora com discrepâncias atribuídas a fatores como:

- Margem de erro nos instrumentos laboratoriais, como o cronômetro e o manômetro.
- Simplificações do modelo computacional, que não considerou fenômenos secundários, como perdas localizadas ou variações na viscosidade do fluido.

Essas diferenças reforçam a importância da validação cruzada entre métodos experimentais e computacionais, destacando o potencial do CFD como uma ferramenta para análise de sistemas hidráulicos com maior detalhamento e precisão.

### 3 CONCLUSÃO

A determinação de perda de carga em uma tubulação é de grande importância para o conhecimento dos parâmetros de projeto e escoamento de fluidos. Durante o estudo, foi possível observar que mesmo sob regime de escoamento laminar e em uma tubulação de rugosidade baixa e velocidade constante, há perdas de cargas a serem consideradas no projeto.

A utilização de técnicas computacionais via softwares promovendo a simulação fluidodinamica pode facilitar e permitir expor condições extremas não possíveis a realidade sem baixos custos. Porém, torna-se imprescindível compreender as equações governantes e equações constitutivas fundamentais para a parametrização da simulação, bem como as condições de contorno para aprimorar a convergência da solução mais próxima a realidade experimental.

Neste estudo não foi possível obter uma validação do modelo matemático em virtude de ausência de aprimoramento na malha numérica, bem como falta de configuração exata de parâmetros da simulação (velocidade, equação de turbulência laminar e rugosidade da tubulação) ocorrendo uma discrepância aproximada em 40% entre o dado experimental e o dado simulado.

Faz-se necessário o aprimoramento do estudo das condições da tubulação, bem como melhoria na malha numérica computacional em softwares mais avançados para melhor correlação com os dados obtidos em situações práticas.

### REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.218: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

AMARAL, E. R.; AMARAL, T. R. Análise dos fatores que influenciam nas perdas de carga em tubulações e acessórios hidráulicos. Anais... Seminário de Iniciação Científica (SIC), v. 5, Montes Claros, 2016.

AZEVEDO NETTO, J. M. de. Manual de hidráulica. 8. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998. 669 p.

BIRD, R. Byron; STEWART, Warren E.; LIGHTFOOT, Edwin N. Fenômenos de transporte. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

BOCHIO, Gustavo. Estudo experimental e numérico do escoamento estratificado óleo-viscoso/água. 2019. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019. Disponível em:

<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18147/tde-11112021-111526/>.  
DOI: <https://doi.org/10.11606/T.18.2019.tde-11112021-111526>.

ÇENGEL, Yunus A.; CIMBALA, John M. Mecânica dos fluidos: fundamentos e aplicações. Porto Alegre: Grupo A, 2015. ISBN 9788580554915.

KELLNER, Erich; AKUTSU, Jorge; REIS, Luisa Fernanda Ribeiro. Avaliação da rugosidade relativa dos tubos de PVC com vistas ao dimensionamento das redes de distribuição de água. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 21, n. 1, p. 159-168, 2016. DOI: 10.1590/S1413-41522016141081.

KUN, D.; TIAN-YU, L.; JUN-HUI, W.; JIN-SONG, G. Inversion model of water distribution systems for nodal demand calibration. Journal of Water Resources Planning and Management, v. 141, n. 9, p. 737-745, 2015.

NETO, Antonio Augusto Franco. Análise de escoamento laminar disperso água-óleo em tubo horizontal. 2017. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017.

Sobre o(s) autor(es)

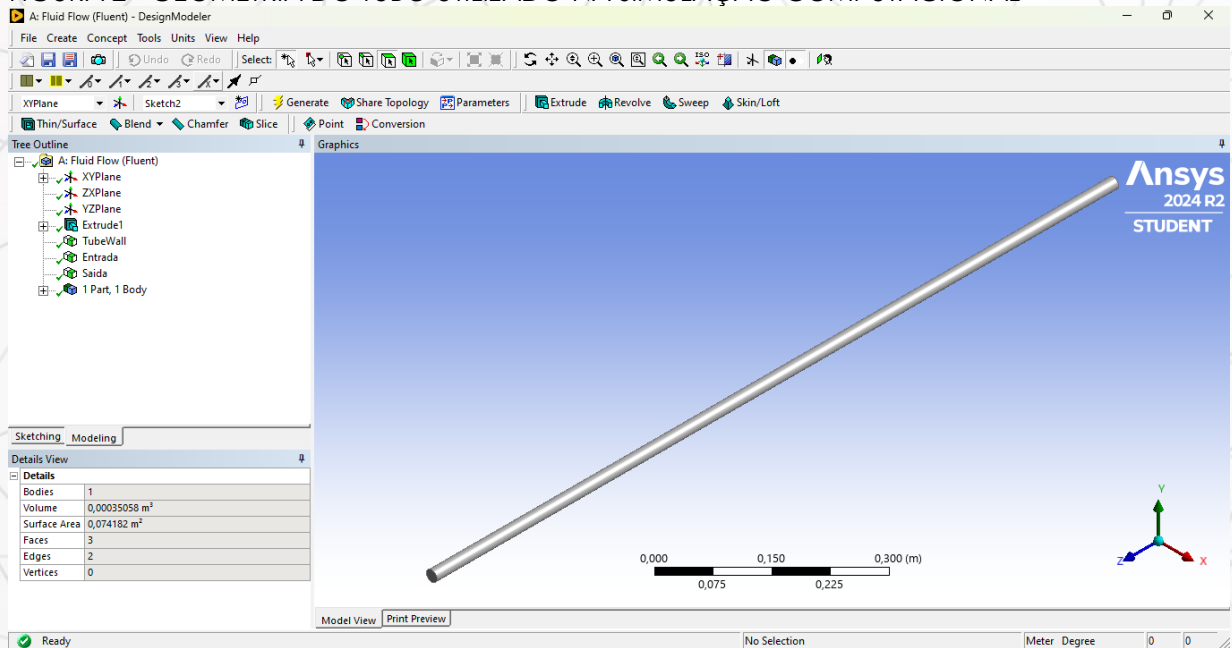
- (1) Aluno do curso de graduação em Engenharia Química, UNOESC Videira, [comercial@isofibra.com.br](mailto:comercial@isofibra.com.br);
- (2) Aluno do Curso de graduação em Engenharia Química, UNOESC Videira [nardi.rodrigo@hotmail.com](mailto:nardi.rodrigo@hotmail.com);
- (3) Aluno do curso de graduação em Engenharia Química, UNOESC Videira, [wilson140503@gmail.com](mailto:wilson140503@gmail.com);
- (4) Docente do curso de graduação em Engenharia Química, UNOESC Videira, [evandro.balestrin@unoesc.edu.br](mailto:evandro.balestrin@unoesc.edu.br);

FIGURA 1 - BANCADA EXPERIMENTAL USADA NA DETERMINAÇÃO DE PERDA DE CARGA



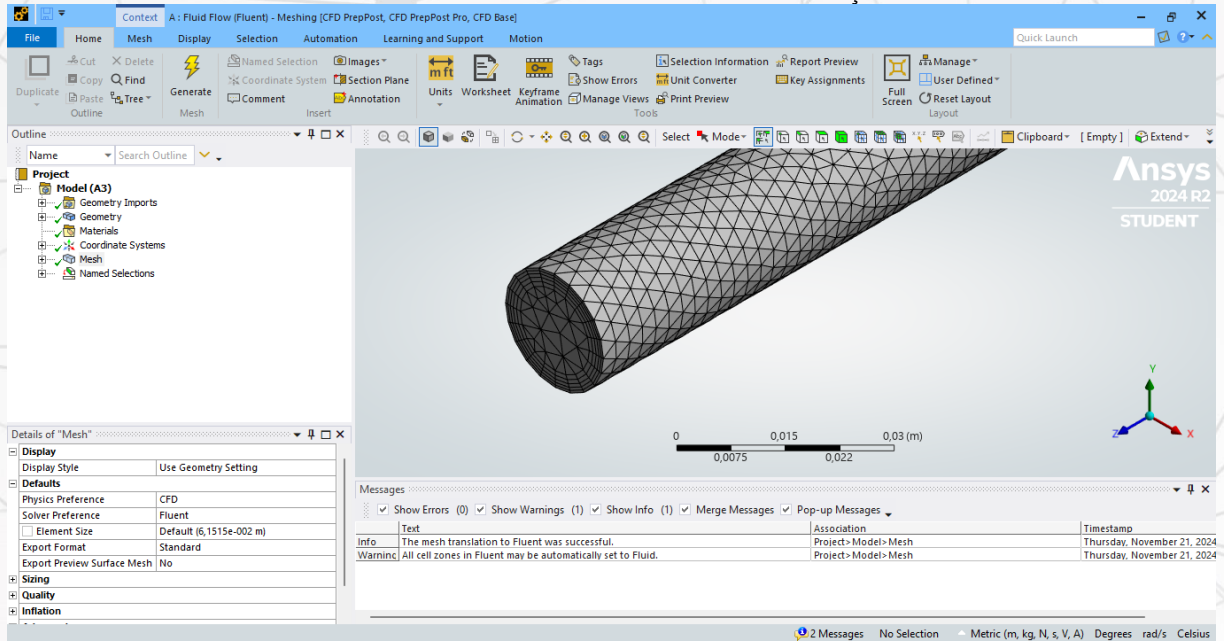
Fonte: Os Autores, 2024

FIGURA 2 - GEOMETRIA DO TUBO UTILIZADO NA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL



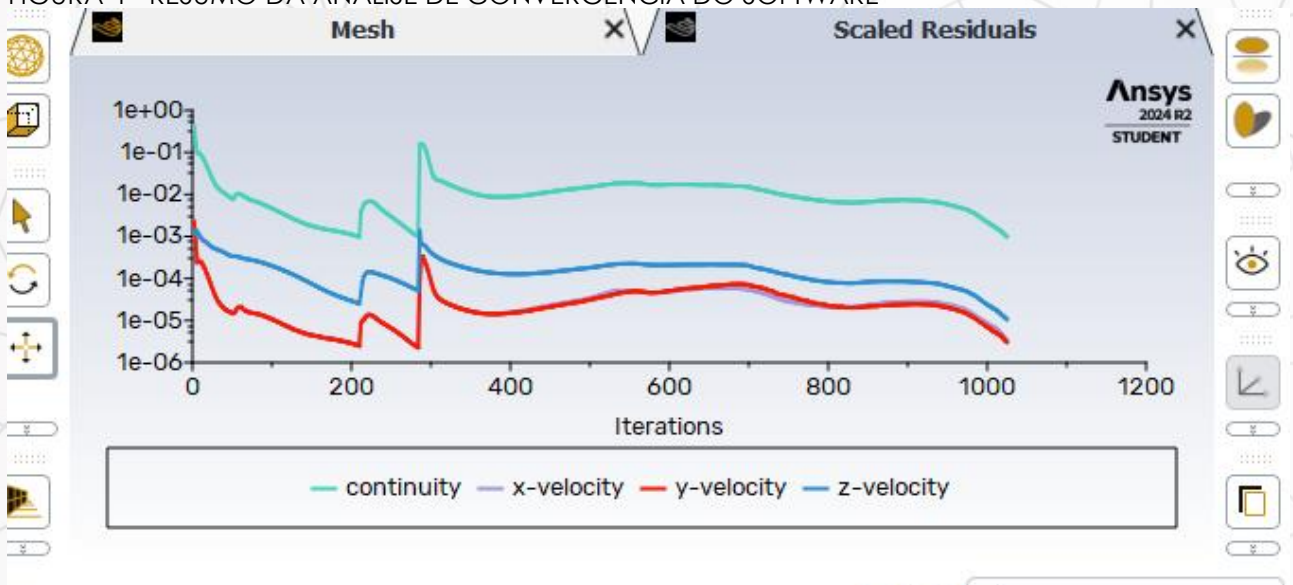
Fonte: Os Autores, 2024

FIGURA 3 - MODELO DA MALHA ESTRUTURADA USADA NA SIMULAÇÃO



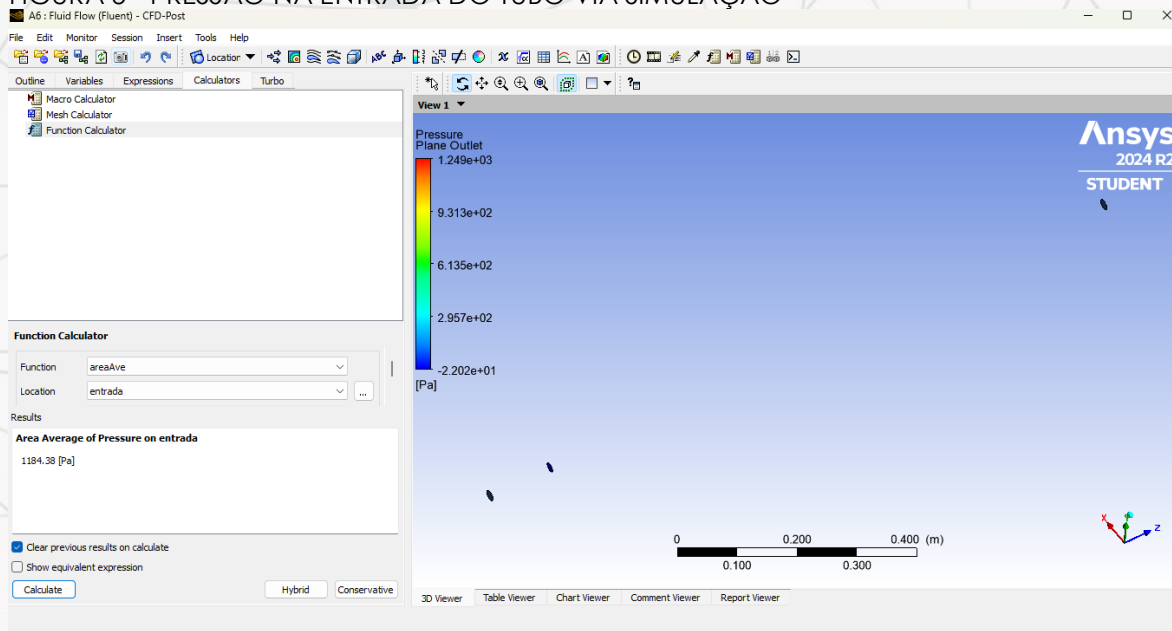
Fonte: Os Autores, 2024

FIGURA 4 - RESUMO DA ANÁLISE DE CONVERGÊNCIA DO SOFTWARE



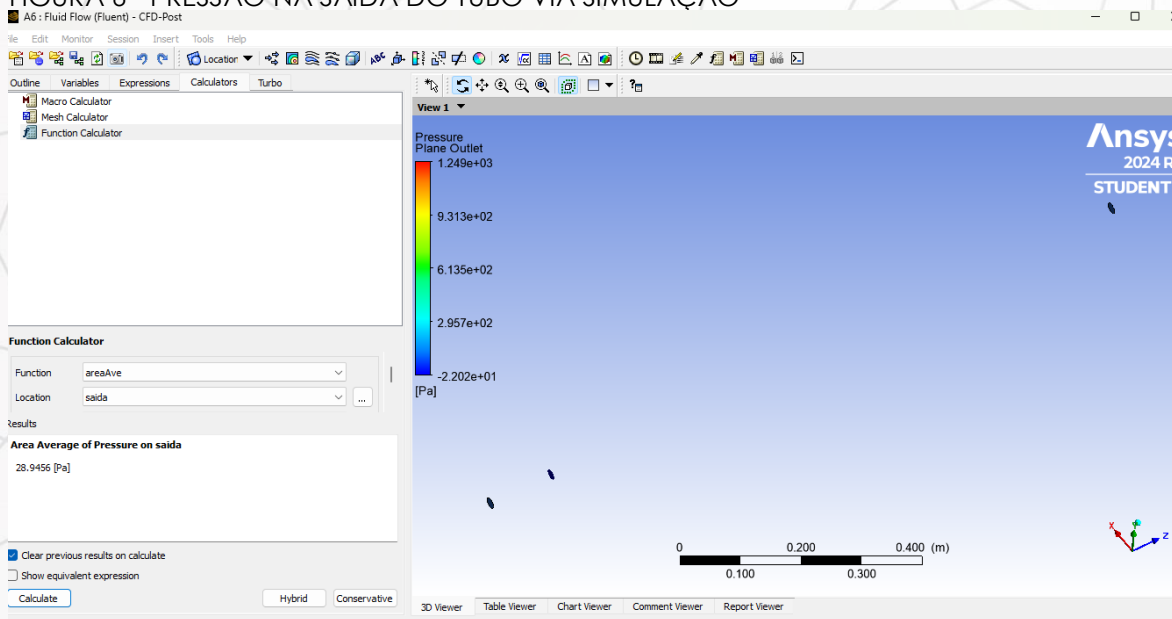
Fonte: Os Autores, 2024

FIGURA 5 - PRESSÃO NA ENTRADA DO TUBO VIA SIMULAÇÃO



Fonte: Os Autores, 2024

FIGURA 6 - PRESSÃO NA SAÍDA DO TUBO VIA SIMULAÇÃO



Fonte: Os Autores, 2024