



# 1º Seminário em Engenharia de Sistemas em Processos

## Campina Grande - PB

18 a 21 de dezembro de 2024

## REDES NEURAIS ARTIFICIAIS RECORRENTES APLICADAS A MODELOS DINÂMICOS DE SISTEMAS DE COMPRESSÃO DE GÁS NATURAL.

Guilherme S. Freire <sup>1,2</sup>, Matheus M. Bezerra <sup>1</sup>, Rodrigo L. Meira <sup>1</sup>, Leonardo S. de Souza <sup>1</sup>, Márcio A. F. Martins <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Recursos Humanos para Monitoramento Inteligente, Controle Avançado e Otimização Econômica para Campos de Petróleo e Gás - PRH 35.1, Universidade Federal da Bahia, Salvador-BA, 40210-630, Brasil

<sup>2</sup>guilhermefreire@ufba.br

## INTRODUÇÃO

As Redes Neurais Artificiais (RNA) são ferramentas eficazes para prever futuros estados em processos industriais, exigindo apenas uma coleta de dados consistente (NASCIMENTO; GIUDICI; GUARDANI, 2000). Neste trabalho, foi desenvolvida uma RNA para prever futuros estados de um sistema de compressão de gás natural, que apresenta comportamento oscilatório.

## PROCESSO

Utilizou-se uma arquitetura de RNA recorrente para otimizar o tempo de cálculo e reduzir o custo operacional. Os resultados foram comparados com um método numérico baseado na modelagem fenomenológica do sistema, utilizando a biblioteca open-source CasADI.

## MODELAGEM DO SISTEMA

O sistema de compressão descrito é composto por um compressor centrífugo, um duto e um plenum. As equações comumente adotadas na literatura para esse sistema (MEIRA et al., 2022), baseado no momento angular axial, no balanço de momento do duto e a combinação do balanço de massa e energia do plenum são representadas a seguir:

$$\frac{d\dot{m}}{dt} = \frac{A_1}{L_C} (\phi(N(t), \dot{m}) P_1 - P_P(t))$$

$$\frac{dP_P}{dt} = \frac{C_1^2}{v_p} (\dot{m}(t) - \alpha(t) K_v \sqrt{P_P - P_{out}})$$

A Equação 1 é o balanço de momentum e a Equação 2 o balanço politrópico. Onde,  $\dot{m}$  é a vazão do compressor,  $P_P$  é a pressão do plenum,  $\phi$  é a razão entre as pressões de entrada e saída do compressor, descrita por uma função de  $\dot{m}$  e a velocidade rotacional do compressor ( $N$ ),  $P_1$  é a pressão de entrada do compressor,  $P_{out}$  é a pressão de saída da válvula,  $\alpha$  é a abertura da válvula,  $K_v$  é o coeficiente da válvula,  $A_C$  é a área do duto,  $L_C$  é o comprimento do duto,  $v_p$  é o volume do plenum e  $C_1$  é a velocidade do som no gás de entrada.

## REDE NEURAL ARTIFICIAL

A RNA utilizada é composta por uma camada de normalização dos dados, uma camada recorrente, duas camadas densas e uma última camada de desnormalização. Seguindo a Figura 1:

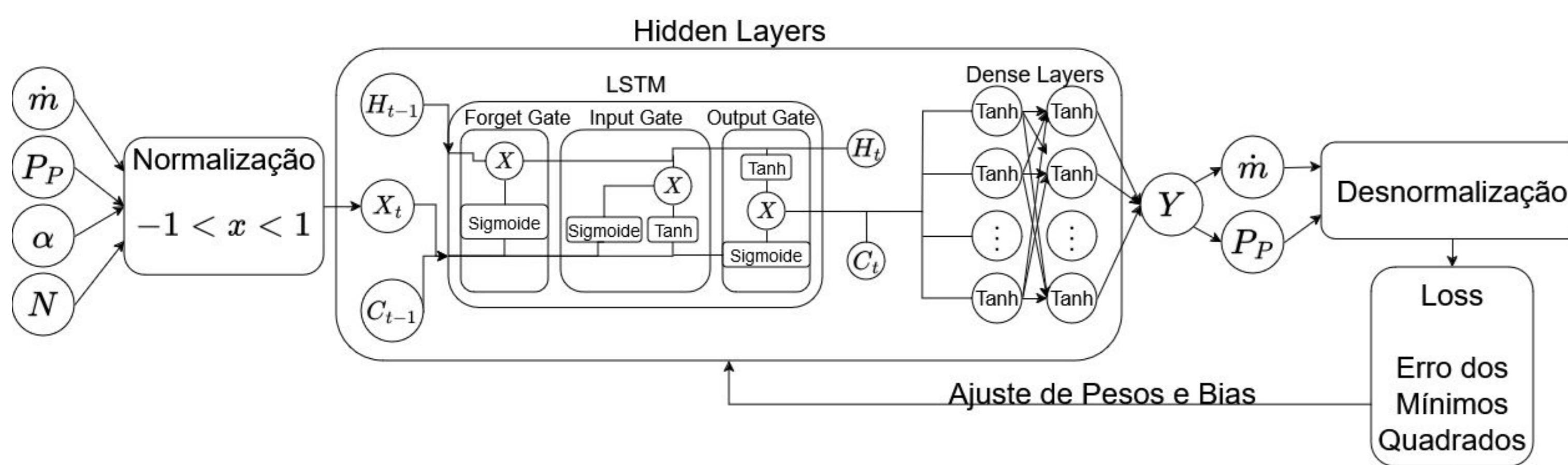


Figura 1 - Diagrama RNA

A RNA tem 60 neurônios em cada camada densa. O treinamento foi executado com 5000 epochs, foi utilizado o otimizador Adam com o learning rate de  $10^{-6}$  obtendo a loss mínima de 0,016. Sendo as entradas a vazão, pressão do plenum, abertura da válvula e velocidade de rotação do compressor, respectivamente representados na Tabela 1:

	Vazão / Kg/s	Pressão / MPa	Abertura / %	Velocidade / hz
Mínimo	3,58	5,27	0,35	27000
Máximo	12,0	10,33	0,65	50000
Ruídos	-	-	$\pm 10^{-4}$	$\pm 50$

Tabela 1 - Domínio das variáveis de entrada

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de Abertura da válvula e Velocidade de rotação do compressor eram alterados aleatoriamente dentro do domínio a cada 60 segundos de simulação, sendo considerados como perturbações, o que resulta nos gráficos abaixo:

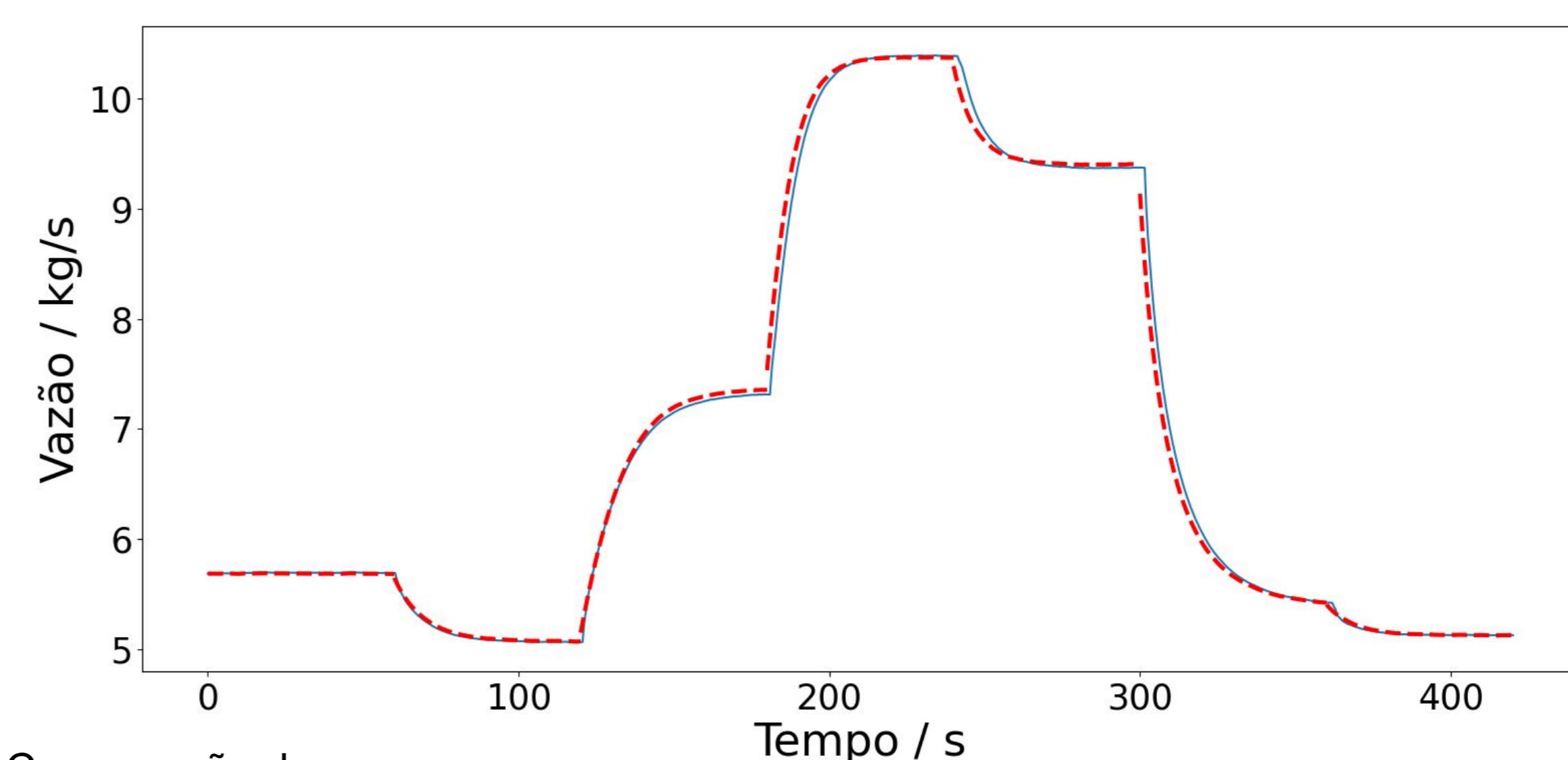


Figura 2 - Comparação de saída da vazão  
— Vazão prevista pela RNA — Previsão CasADI

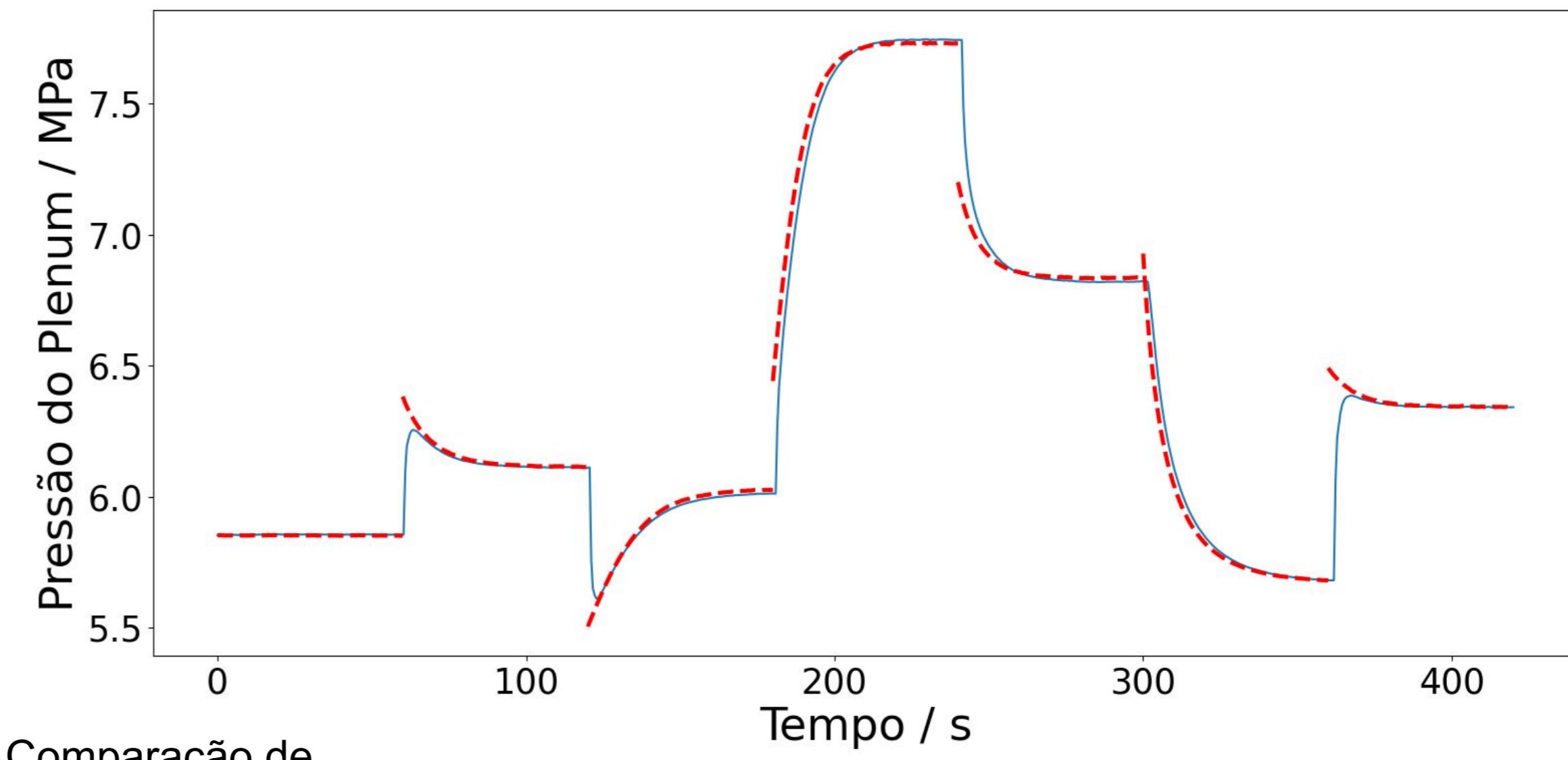


Figura 3 - Comparação de saída da pressão  
— Pressão prevista pela RNA — Previsão CasADI

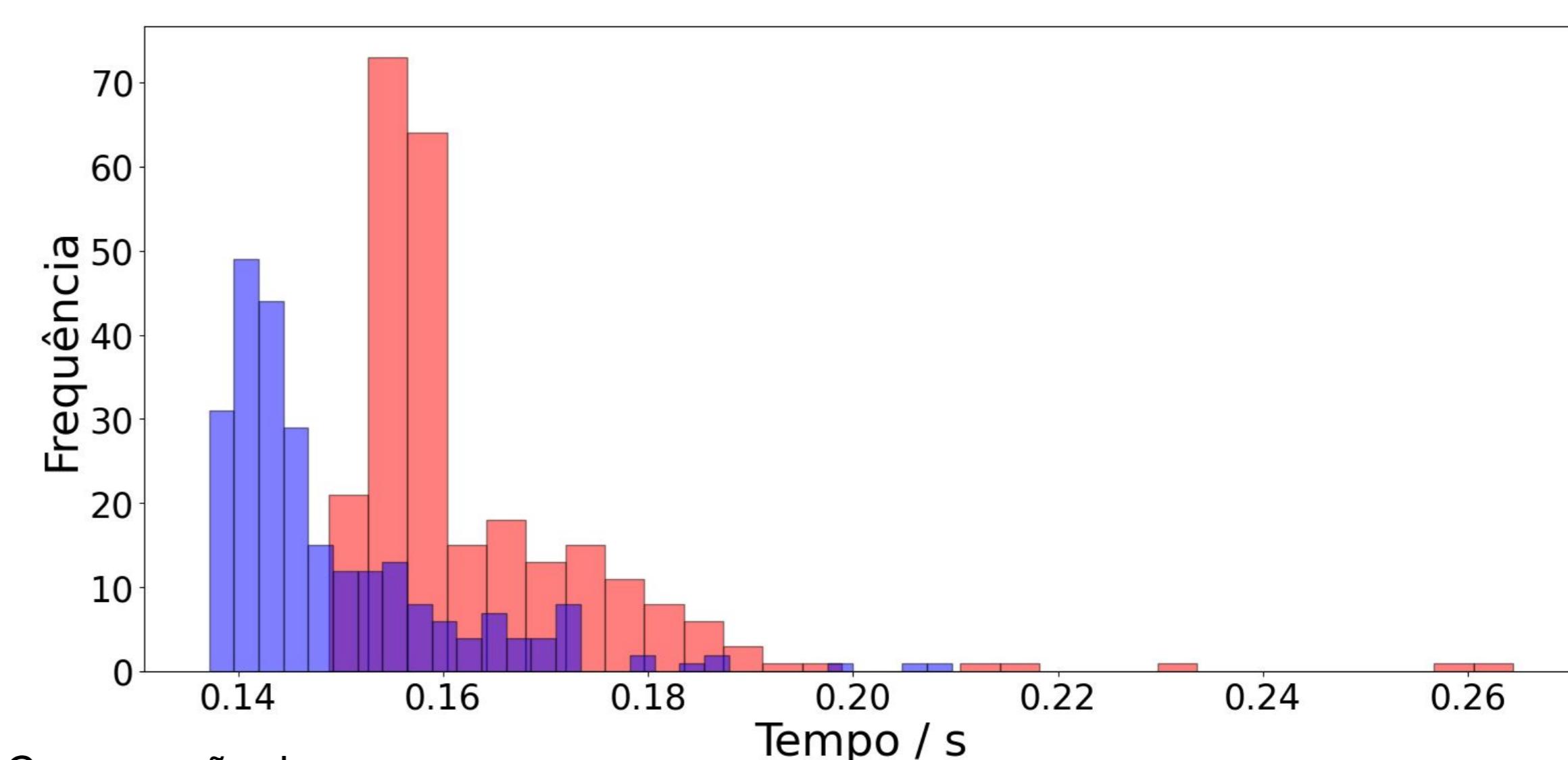


Figura 4 - Comparação de velocidade de solução  
■ Modelo CasADI ■ RNA

## CONCLUSÃO

- O modelo da RNA foi, em média, 10% mais rápido em comparação ao modelo de integração numérica comum;
- O modelo da RNA utilizou menos recursos;
- O uso de RNA's é vantajoso, principalmente quando os modelos fenomenológicos ainda não foram criados ou há alta dimensionalidade no problema.

## REFERÊNCIAS

- MEIRA, R. L. et al. Implementable mpc-based surge avoidance nonlinear control strategies for non-ideally modeled natural gas compression systems.  
NASCIMENTO, C. A. O.; GIUDICI, R.; GUARDANI, R. Neural network based approach for optimization of industrial chemical processes.

## AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer o suporte financeiro da ANP no âmbito do PRH 35.1.