



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

GUILHERME S. FREIRE

RODRIGO L. MEIRA  
LEONARDO S. DE SOUZA  
MÁRCIO A. F. MARTINS

# 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).

Modelagem da RNA:

( A )  
Modelo está  
disponível

( B )  
Modelo não está  
disponível

Otimização:

( I )  
Otimização  
convencional

( II )  
Otimização pelo  
mapeamento da função  
objetivo

# Introdução

Modelagem e otimização no  
processo de polimerização  
do nylon-6,6  
(A) - (II)

Modelo de rede neural para  
minimizar a geração de  
subprodutos em uma planta de  
produção de anidrido acético  
bruto.  
(B) - (II)

Modelagem da RNA:

( A )  
Modelo está  
disponível

( B )  
Modelo não está  
disponível

Otimização:

( I )  
Otimização  
convencional

( II )  
Otimização pelo  
mapeamento da função  
objetivo

# Introdução

Neste trabalho, é apresentado um estudo de caso onde foi desenvolvida uma RNA, a partir dos dados produzidos de um modelo fenomenológico, para prever futuros estados de um sistema de compressão de gás natural, que apresenta comportamento instável devido a perturbações.

Modelagem da RNA:

( A )  
Modelo está  
disponível

( B )  
Modelo não está  
disponível

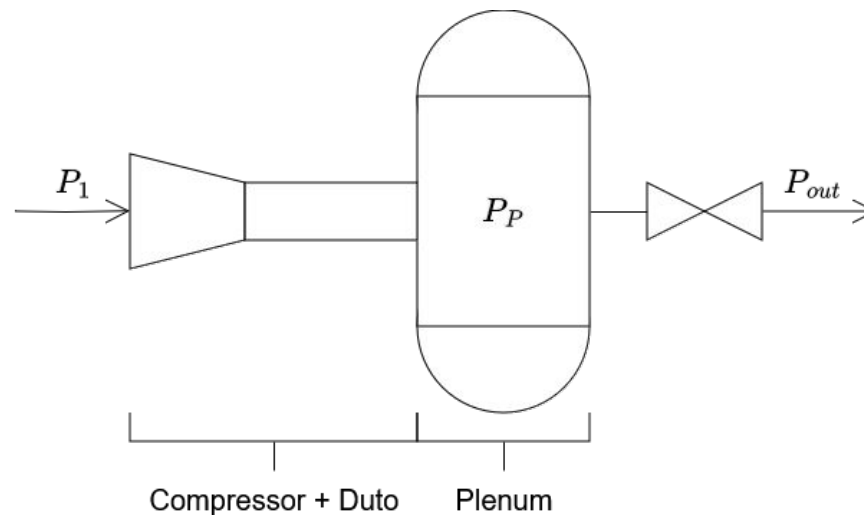
# Objetivos

- Utilizar uma arquitetura de RNA recorrente em busca da otimização do tempo de cálculo e redução do custo operacional.
- Comparar os resultados com um método numérico baseado na modelagem fenomenológica do sistema, utilizando a biblioteca open-source CasADi.
- Criar um modelo substituto a partir dos dados coletados

# Materiais e Métodos

## Sistema de compressão

O sistema de compressão descrito (MOORE; GREITZER, 1986) é composto por um compressor centrífugo, um duto e um plenum.



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

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

# Materiais e Métodos

## Sistema de compressão

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

- Balanço de Momentum

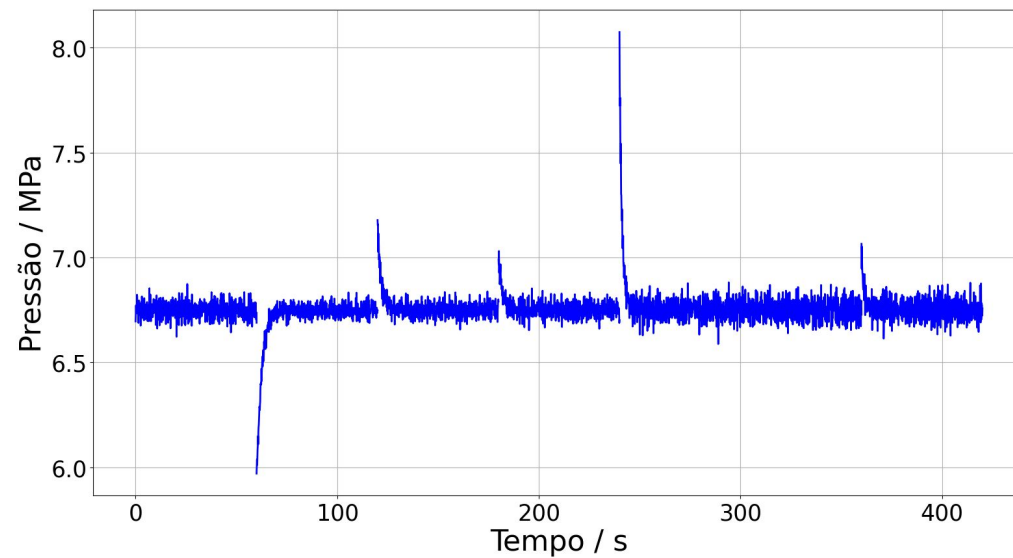
$$\frac{dP_P}{dt} = \frac{C_1^2}{\nu_P} ( \dot{m}( t ) - \alpha( t ) K_v \sqrt{P_P - P_{out}} )$$

- Balanço Politrópico

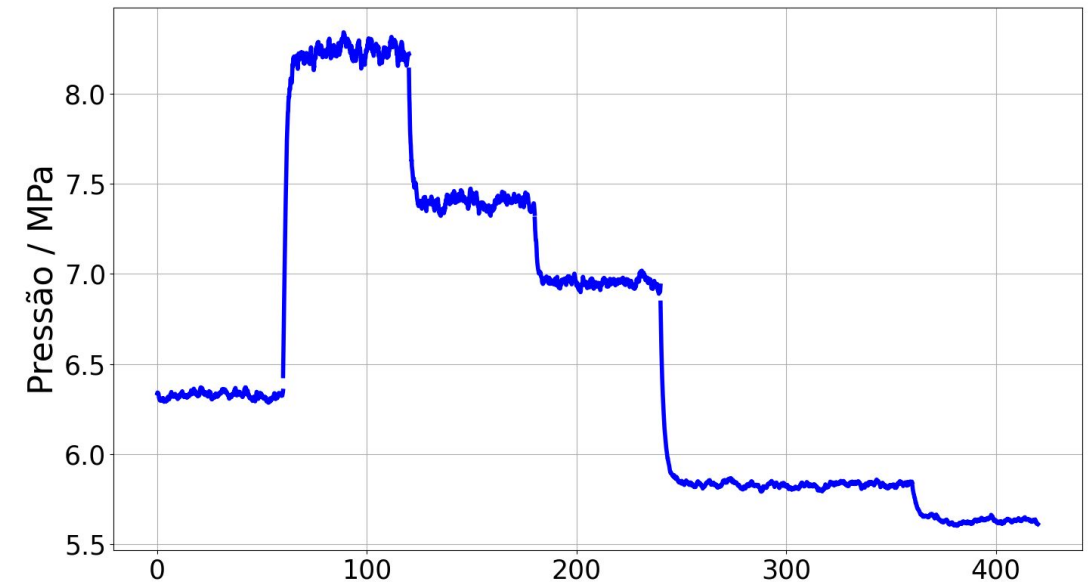
$\dot{m}$ - Vazão	Kg/s	$\alpha$ - Abertura da válvula	%
$P_P$ - Pressão do Plenum	MPa	$K_v$ - Coeficiente da válvula	kg kPa <sup>0.5</sup> /s
$\phi$ - Razão de entrada e saída do compressor	-	$A_C$ - Área do duto	m <sup>2</sup>
$P_1$ - Pressão de entrada do compressor	MPa	$L_C$ - Comprimento do duto	m
$P_{out}$ - Pressão de saída do compressor	MPa	$V_P$ - Volume do Plenum	m <sup>3</sup>
$N$ - Velocidade de rotação do compressor	rpm	$C_1$ - Velocidade do som no gás	m/s

# Materiais e Métodos

## Sistema de compressão



Mudança apenas da  
abertura da válvula

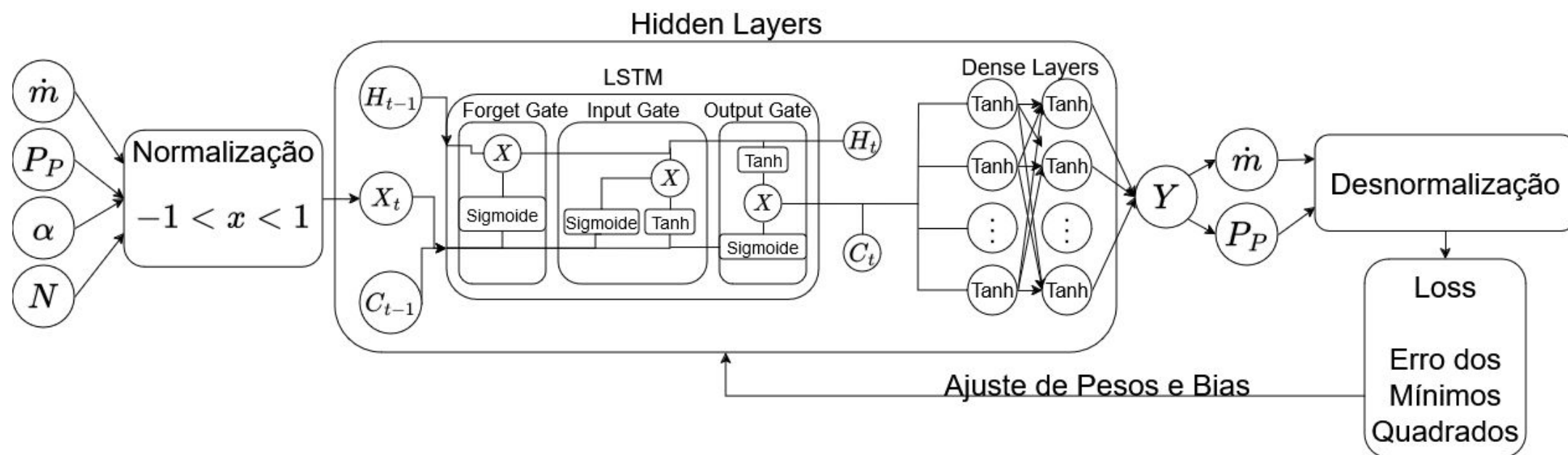


Mudança apenas da  
velocidade de rotação



# Materiais e Métodos

## RNA



# Materiais e Métodos

## RNA

A RNA teve como entradas a vazão, pressão do plenum, abertura da válvula e velocidade de rotação do compressor. Os desvios apresentam distribuição normal com média 0.

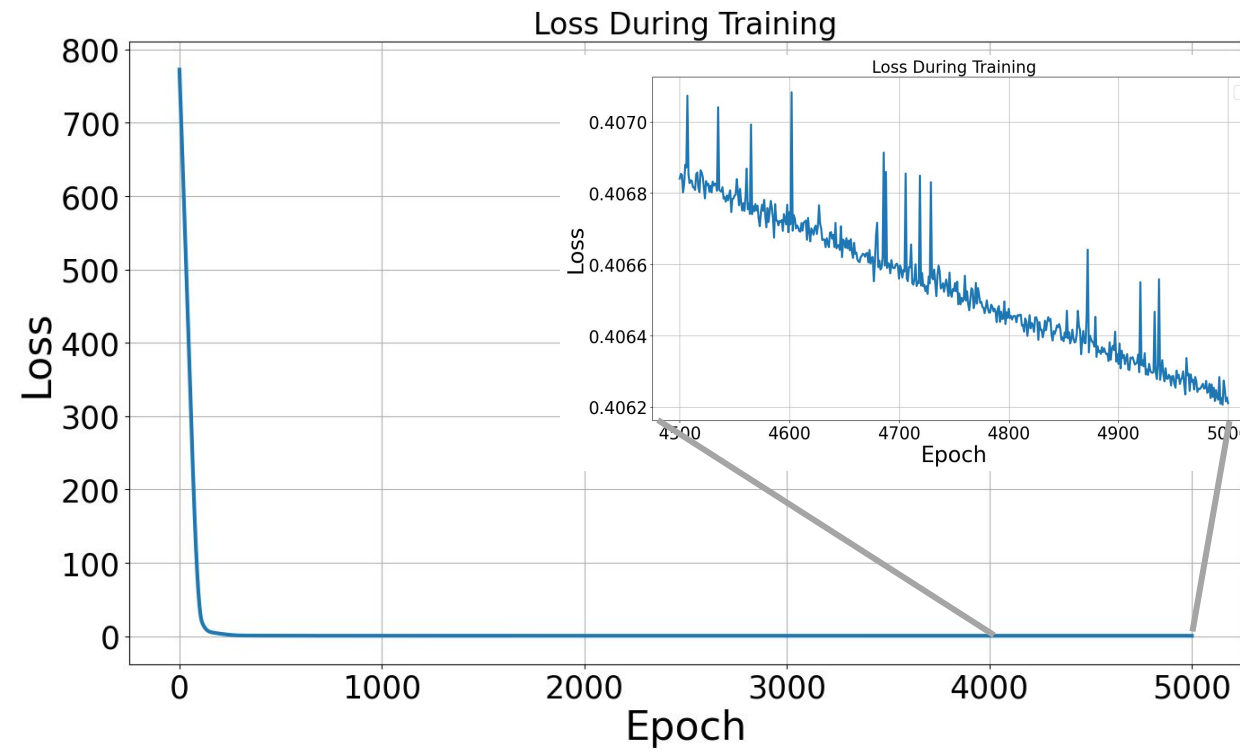
	Vazão / Kg/s	Pressão / MPa	Abertura / %	Velocidade / rpm
Mínimo	3,5	5,27	35	27000
Máximo	12,3	10,33	65	50000
Desvios	-	-	0,5	1000

# Materiais e Métodos

## RNA

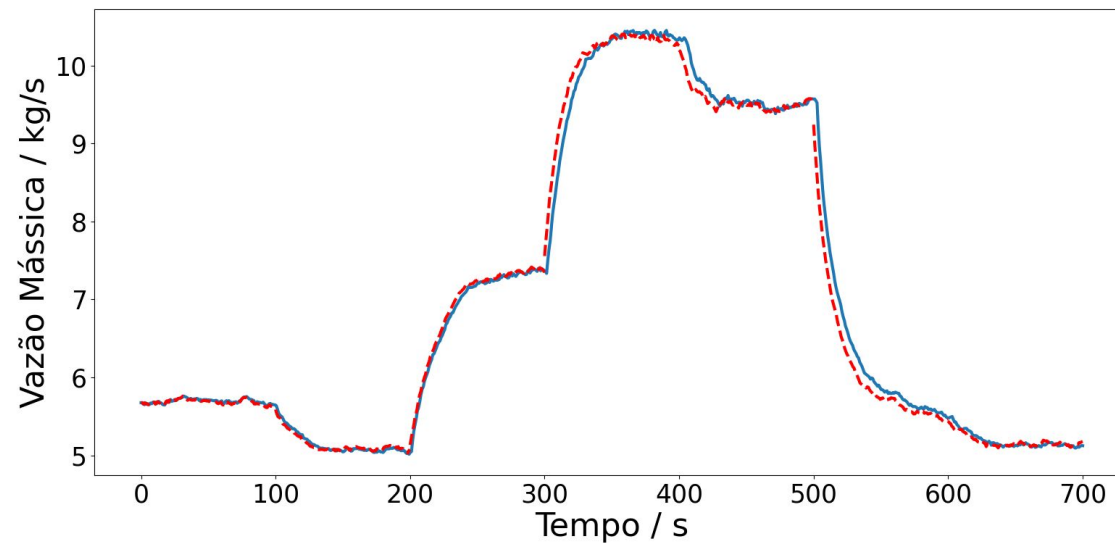
### Hiperparâmetros:

- 60 Neurônios na primeira camada densa
- 32 Neurônios na segunda camada densa
- Batch size: 64
- 5000 epochs
- Otimizador: Adam
- Learning rate:  $10^{-6}$
- Loss mínima: 0,41

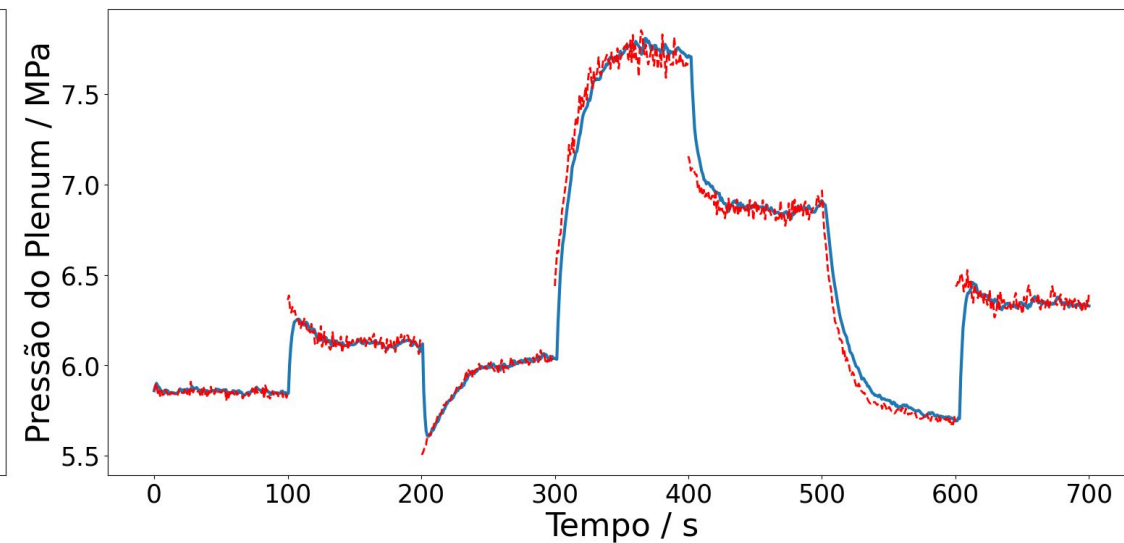


# Resultados

## Comparação de soluções encontradas



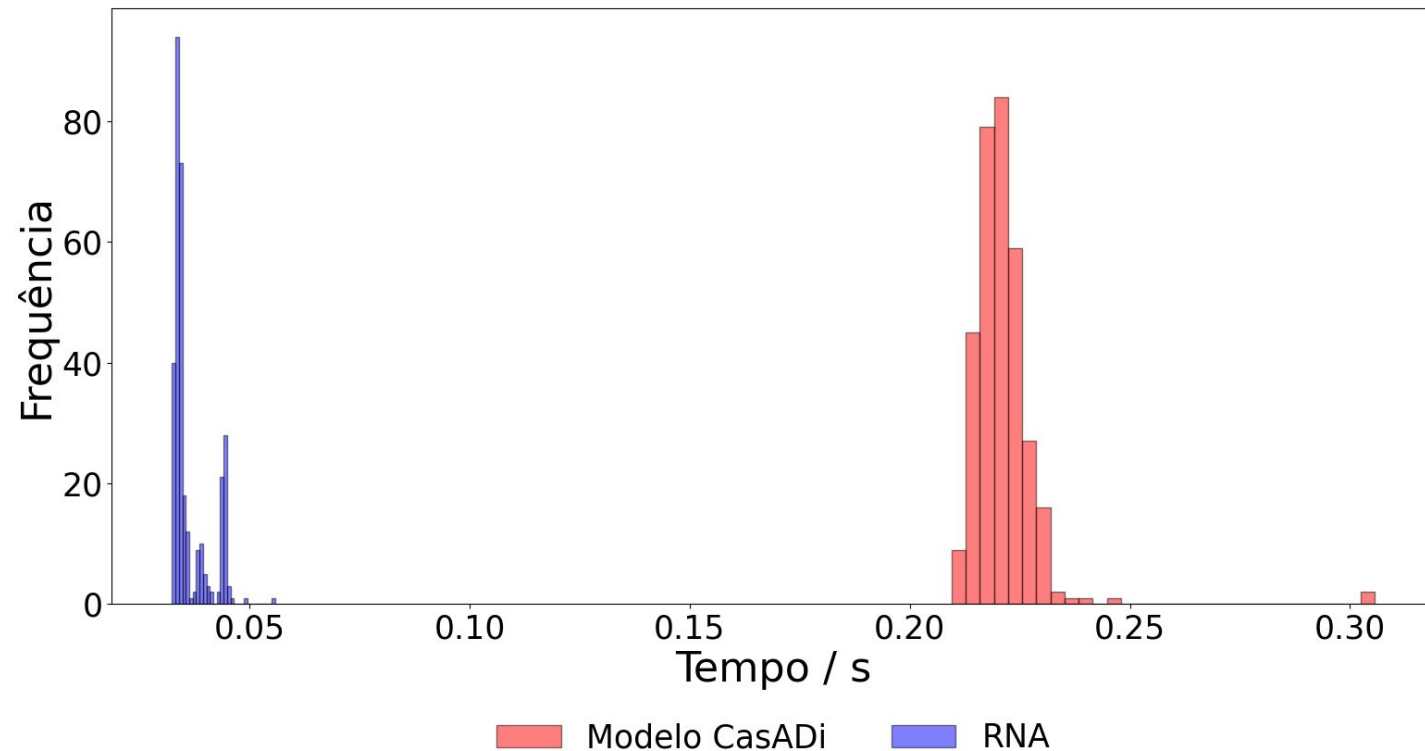
— Vazão prevista pela RNA    - - - Previsão CasADi



— Pressão prevista pela RNA    - - - Previsão CasADi

# Resultados

Comparação de velocidade de solução de 325 exemplos



# Conclusão

- O modelo da RNA foi, em média, 5.5 vezes mais rápido em comparação ao modelo de integração numérica comum;
- O modelo da RNA utilizou menos recursos;
- O uso de RNAs é vantajoso, principalmente quando os modelos fenomenológicos ainda não foram criados ou há alta dimensionalidade no problema.

# Trabalhos Futuros

- Desenvolvimento de um controlador NMPC utilizando a RNA recorrente desenvolvida como modelo;
- Desenvolvimento de outra RNA com modelos fenomenológicos robustos e desenvolvimento de um novo NMPC

# Agradecimento

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





# Referências

- Rodrigo L. Meira, Márcio A.F. Martins, Ricardo A. Kalid, Gloria M.N. Costa, Implementable MPC-based surge avoidance nonlinear control strategies for non-ideally modeled natural gas compression systems, Journal of Natural Gas Science and Engineering, Volume 102, 2022.
- Cláudio Augusto Oller Nascimento, Reinaldo Giudici, Roberto Guardani, Neural network based approach for optimization of industrial chemical processes, Computers & Chemical Engineering, Volume 24, Issues 9–10, 2000, Pages 2303-2314.