

# Lógica Fuzzy - Acionamento não-linear de um pêndulo

Lucas S Schiavini  
lucaschiavini@hotmail.com

**Resumo**—O trabalho consiste em linearizar o modelo de um pêndulo invertido de forma a usar regras empíricas para compensar a força da gravidade.

## I. OBJETIVOS

O objetivo é modelar um sistema usando regras empíricas por meio de Lógica Fuzzy de forma a comparar com um sistema híbrido ANFIS.

## II. INTRODUÇÃO TEÓRICA

A lógica fuzzy, introduzida por Zadeh (1965), permitiu a modelagem com menor complexidade e soluções de problemas não alcançáveis por técnicas clássicas de modelagem.

Dessa forma, a matematização dos sistemas por meio de lógica fuzzy pressupõe uma simplicidade na elaboração de problemas por tratamentos linguísticos de variáveis. Assim, as soluções ficam mais próximas a realidade.

De forma paralela, houve desenvolvimento em outras áreas da inteligência artificial, como algoritmos genéticos e redes neurais. E então, foi possível simular a experiência humana na resolução de problemas e juntar descrição, entendimento processual e raciocínio.

Enquanto sistemas fuzzy podem trabalhar com informações imprecisas, e apresentam resultados de fácil compreensão, redes neurais tem alto grau de aprendizado mas se limitam por processamento de variáveis linguísticas.

Assim, é possível unir em sistemas híbridos chamados ANFIS(Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System), tornando possível integrar vantagens de ambos os sistemas e resultar em modelos mais eficazes.

## III. DESCRIÇÃO EXPERIMENTAL

O experimento consistiu em adaptar parâmetros de um bloco de lógica Fuzzy num pêndulo de forma a comparar com um controlador Proporcional. Logo em seguida foi realizado um teste com ANFIS para comparar com Fuzzy normal.

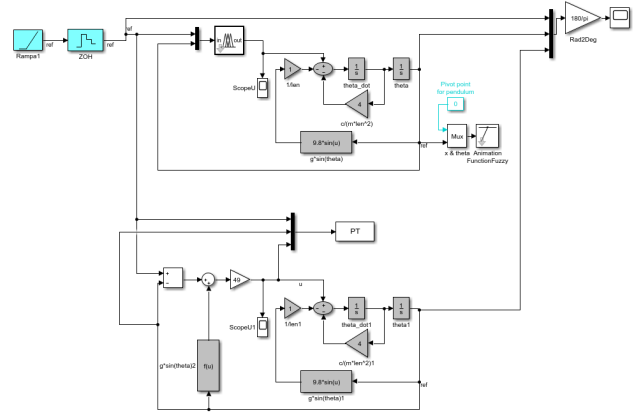


Fig. 1. Controlador KP e Fuzzy em paralelo

Foram modificadas regras para o controlador Fuzzy e plotado o gráfico de saída entre referência, fuzzy e controlador proporcional.

Logo em seguida, o bloco neuroFuzzy foi utilizado e gerado diversos modelos baseados em treinamento com os dados. O melhor resultado foi plotado para visualização.

## IV. RESULTADOS

### A. Fuzzy

De forma a criar um comportamento de correção, cada entrada (Referência, e Posição atual) possuía 5 curvas de funções de pertinência, cada uma com regiões definidas (maxLow Low, middle, high, maxHigh) de forma a acelerar a correção entre a referência e a posição atual.

A saída também foi definida por 5 curvas de funções de pertinência, dessa forma a correção tinha 5 curvas diferentes de potência para melhorar o comportamento do sistema.

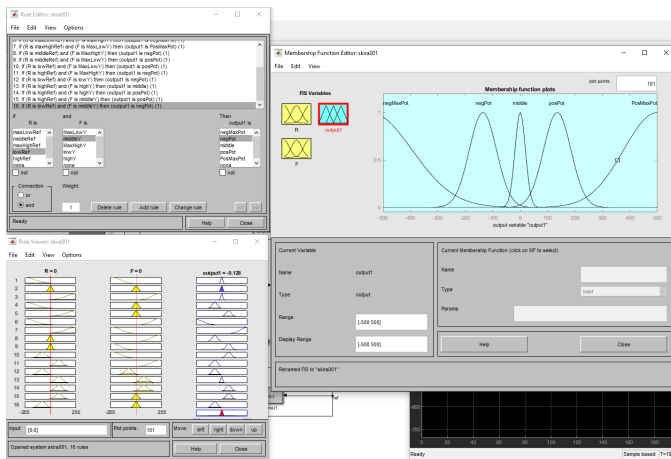


Fig. 2. Regras para o controlador Fuzzy

1) Regras: As regras definidas podem ser vistas na figura 2.

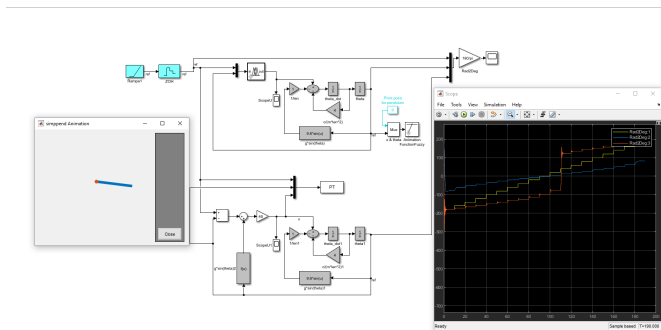


Fig. 3. Gráfico final

2) Scope: O resultado final do controle por lógica fuzzy pode ser visto na figura. As regras definidas podem ser vistas na figura 3. Comparando a curva amarela(referencia), a curva vermelha(Controlador proporcional) e azul o controle Fuzzy foi possível ver o quão próximo do resultado ideal a curva chegou.

## B. ANFIS

Os resultados obtidos com ANFIS:

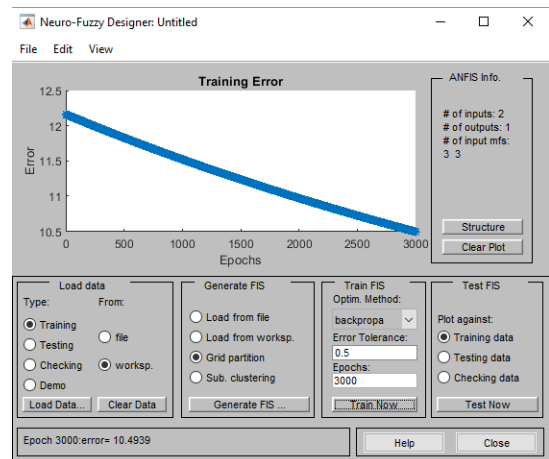


Fig. 4. ANFIS1 treino

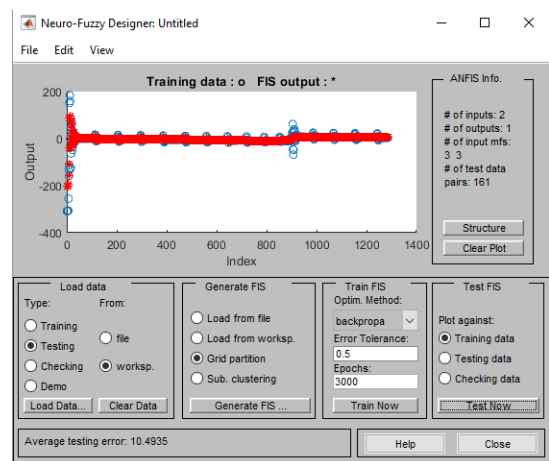


Fig. 5. ANFIS1 teste

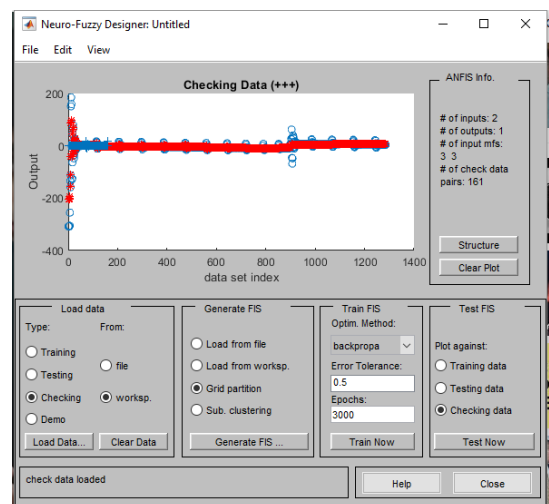


Fig. 6. ANFIS1 validação

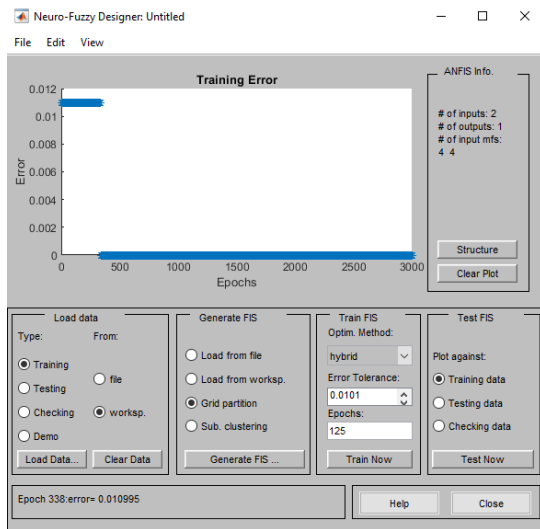


Fig. 7. ANFIS2 treino

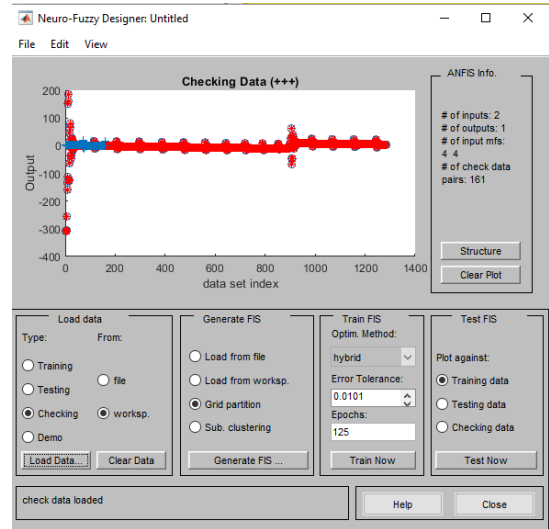


Fig. 9. ANFIS2 validação

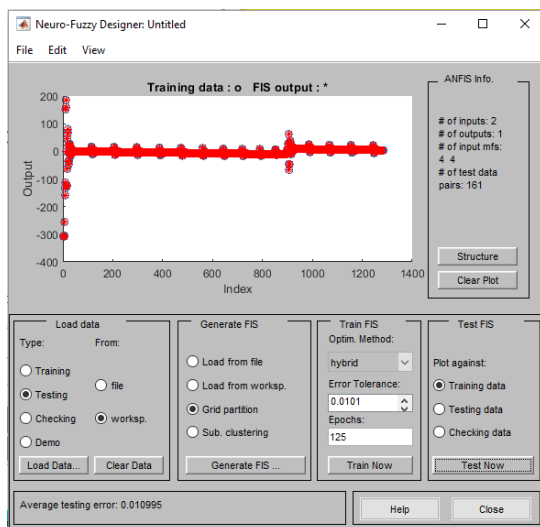


Fig. 8. ANFIS2 teste

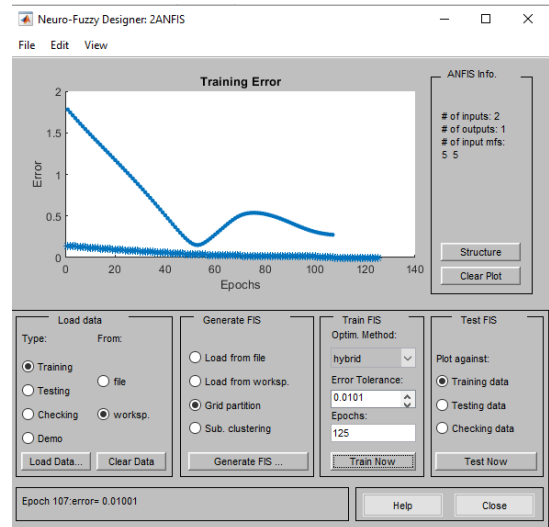


Fig. 10. ANFIS3 treino

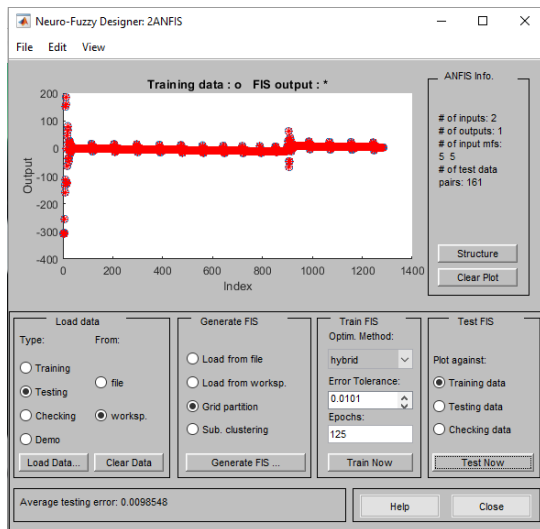


Fig. 11. ANFIS3 teste

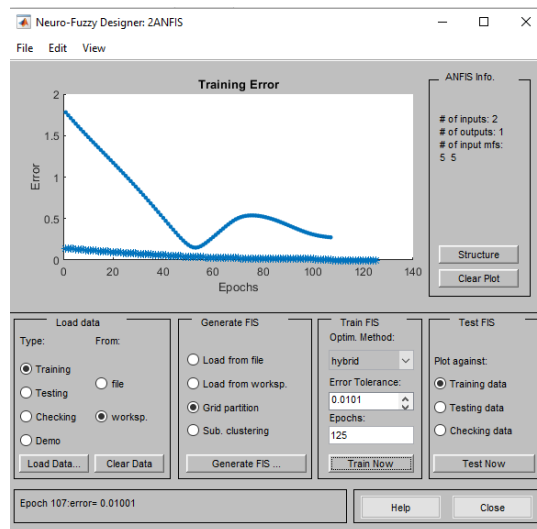


Fig. 13. ANFIS3 treino

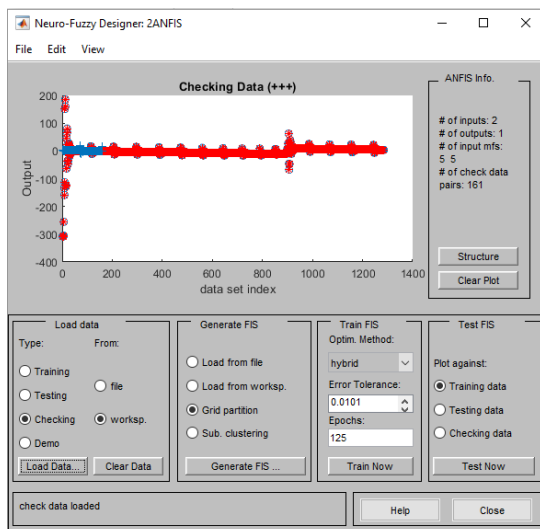


Fig. 12. ANFIS3 validação

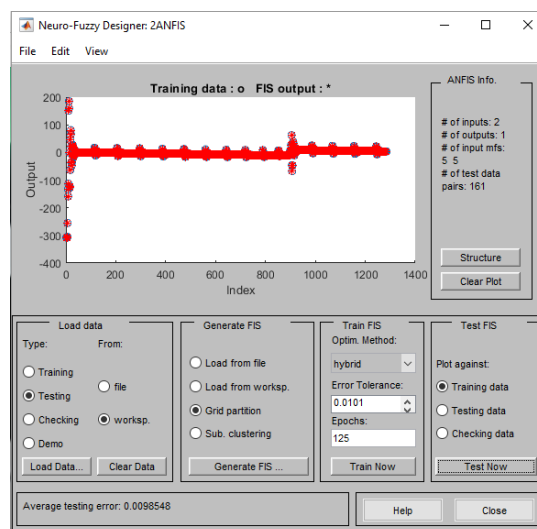


Fig. 14. ANFIS3 teste

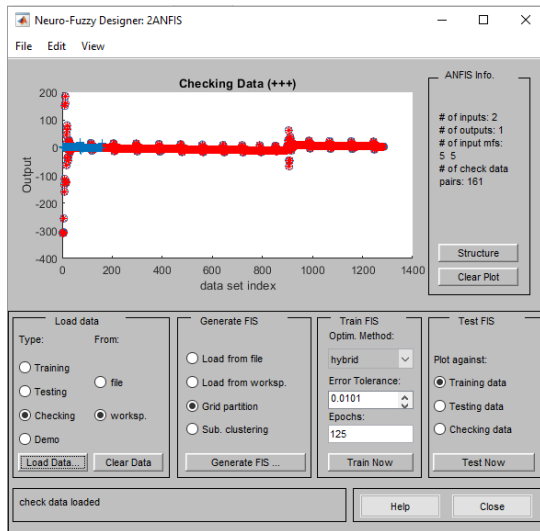


Fig. 15. ANFIS3 validação

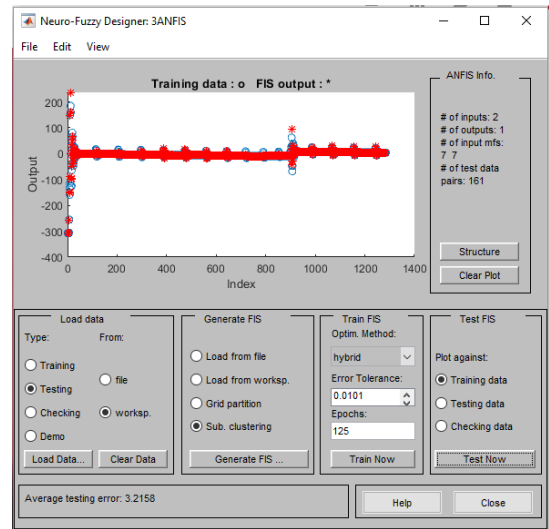


Fig. 17. ANFIS4 teste

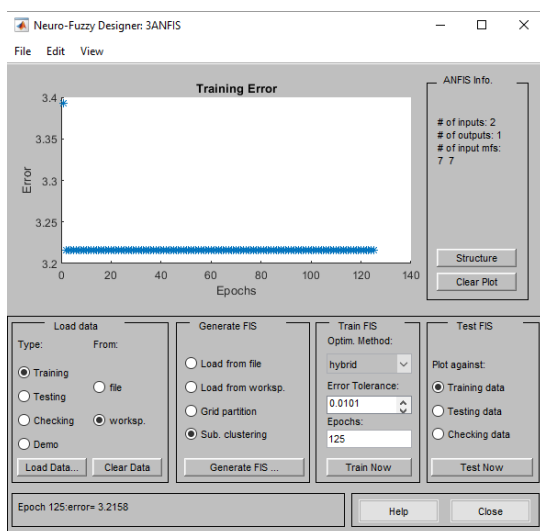


Fig. 16. ANFIS4 treino

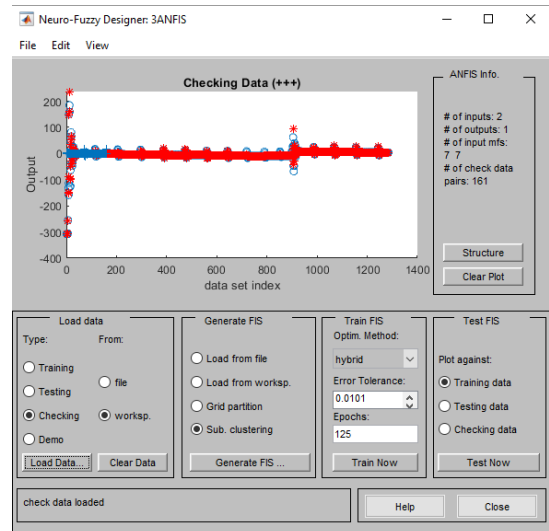


Fig. 18. ANFIS4 validação

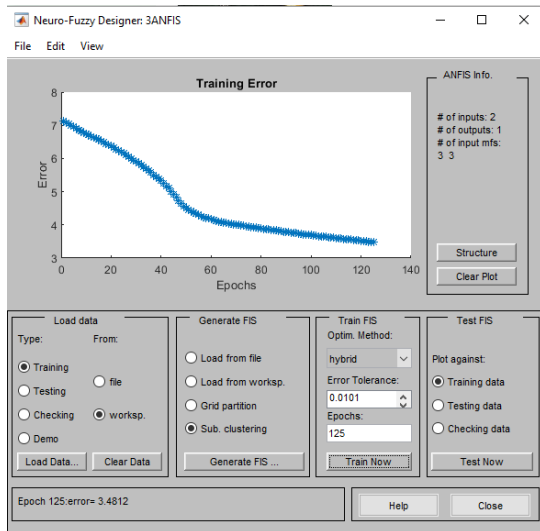


Fig. 19. ANFIS5 treino

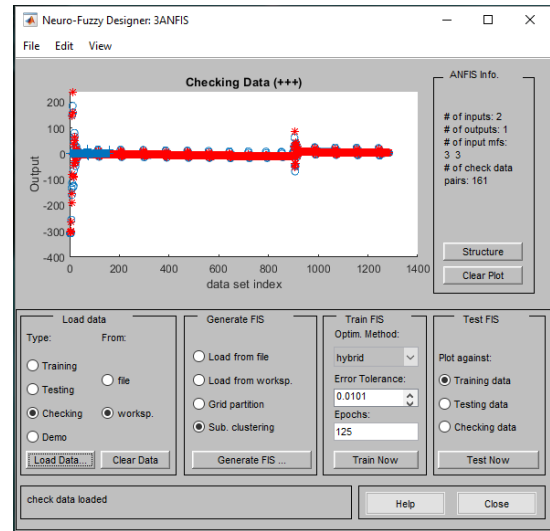


Fig. 21. ANFIS5 validação

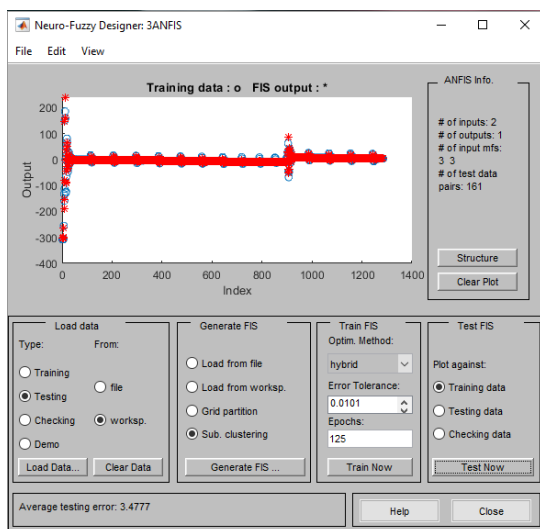


Fig. 20. ANFIS5 teste

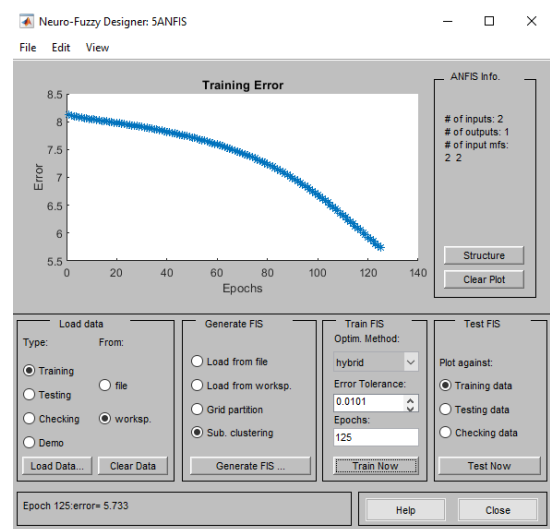


Fig. 22. ANFIS6 treino

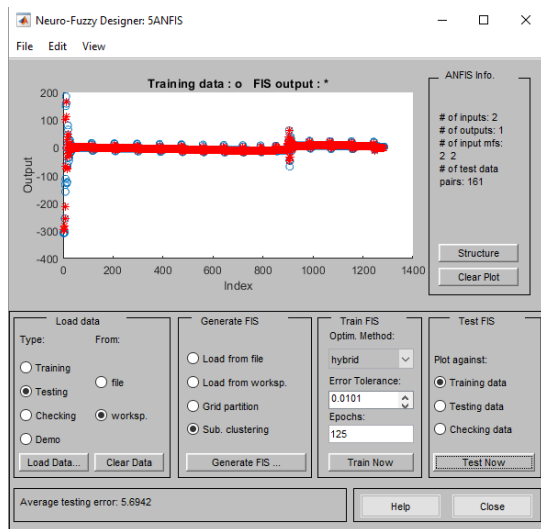


Fig. 23. ANFIS6 teste

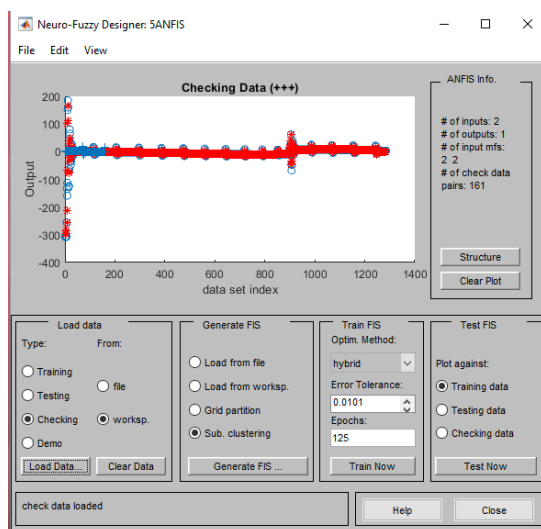


Fig. 24. ANFIS6 validação

Obtivemos então que o resultado com menor erro e menor número de épocas foi ANFIS3. O resultado pode ser visto na figura 25.

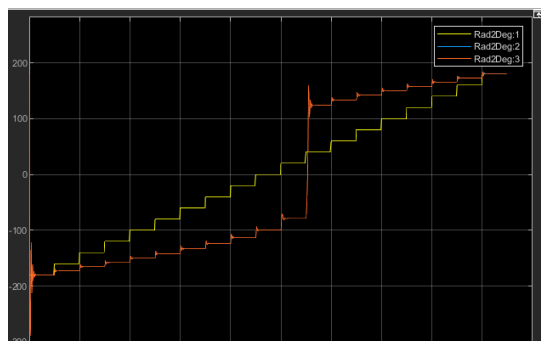


Fig. 25. ANFIS6 validação

Em azul o sinal do bloco de Fuzzy, amarelo a referência,

vermelho o controle proporcional. Dessa forma, com erro mínimo, temos que o sinal de Fuzzy e da referência quase não podem ser distinguidos.

## V. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Com essa atividade, foi possível entender melhor o funcionamento da lógica Fuzzy e comparar com a técnica ANFIS que combina lógica Fuzzy com redes neurais.

## REFERENCES

Haykin, S.: Neural Networks and Learning Machines, 3rd Ed., Prentice Hall, 2009

Nick McClure, TensorFlow Machine Learning CookBook, Packt, 2017

Matlab Documentation, <https://www.mathworks.com/help/fuzzy/neuro-adaptive-learning-and-anfis.html>