



FURG



# THE DEVELOPER'S CONFERENCE

## Trilha – Inteligência Artificial

**Renato Dutra Pereira Filho**

Engenheiro Químico, Mestre em Sistemas Químicos e Informática,  
Dr. Engenharia e Ciência de Alimentos



THE  
DEVELOPER'S  
CONFERENCE

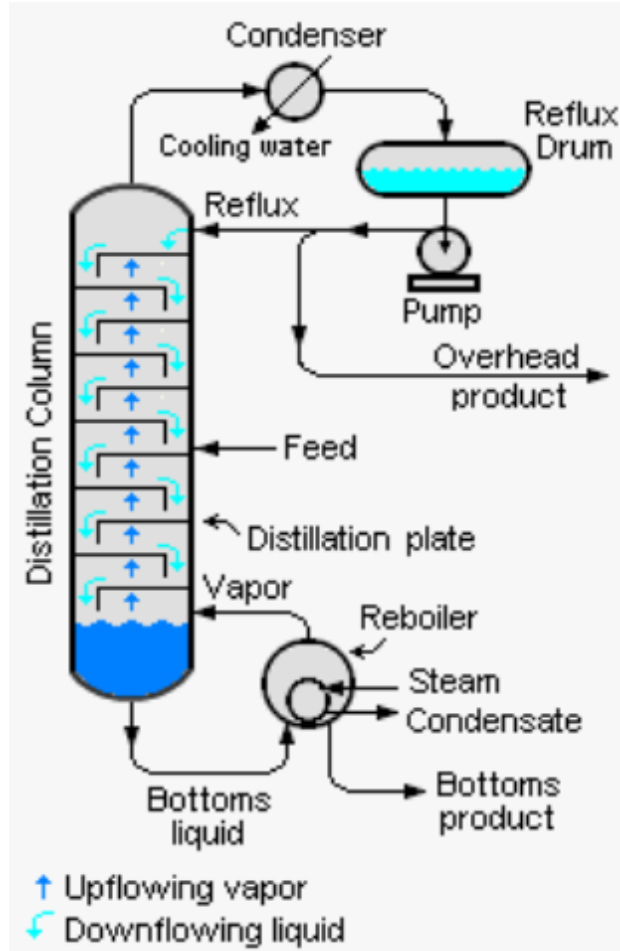
# Soft Sensing com ANFIS na Automação de Processos



THE  
DEVELOPER'S  
CONFERENCE

# CONTEXTUALIZAÇÃO

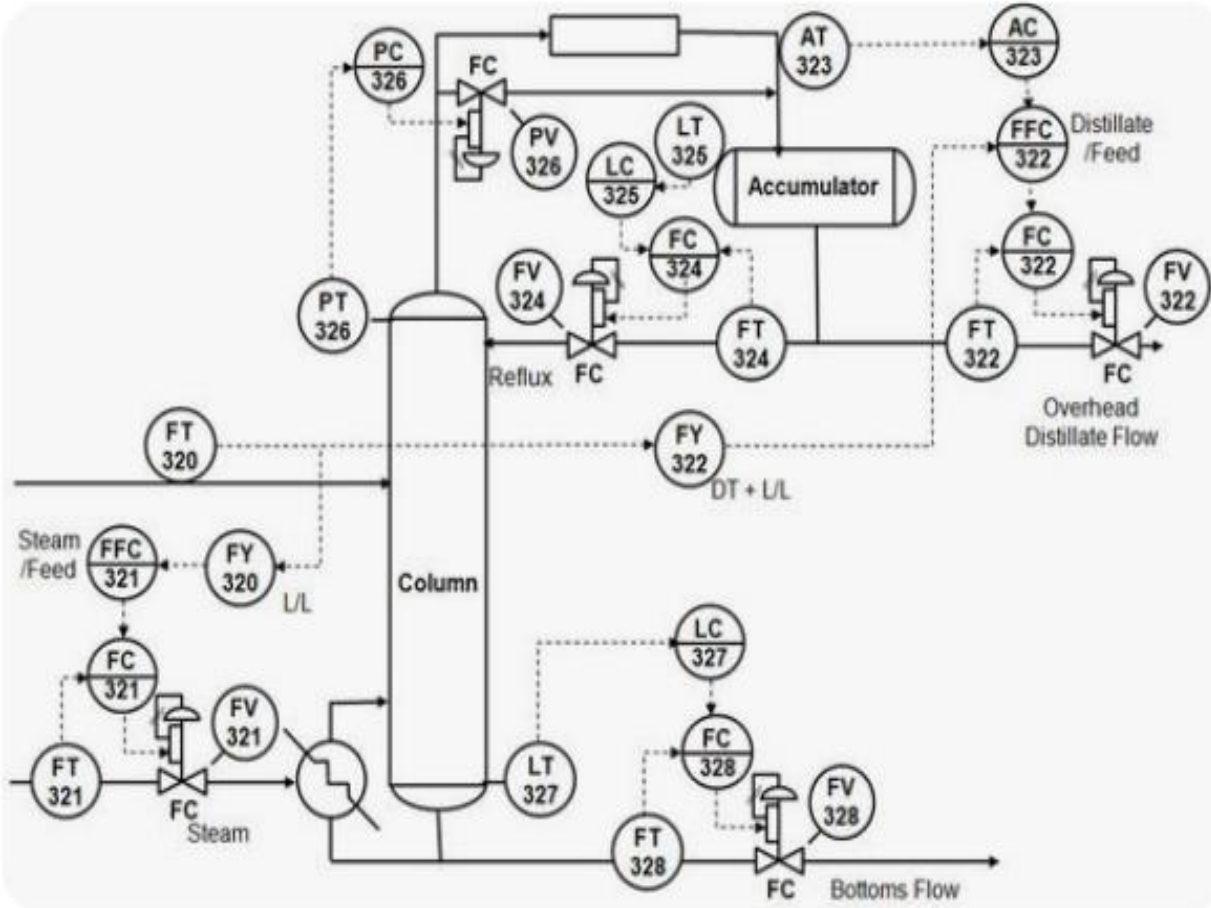
Mistura



THE  
DEVELOPER'S  
CONFERENCE



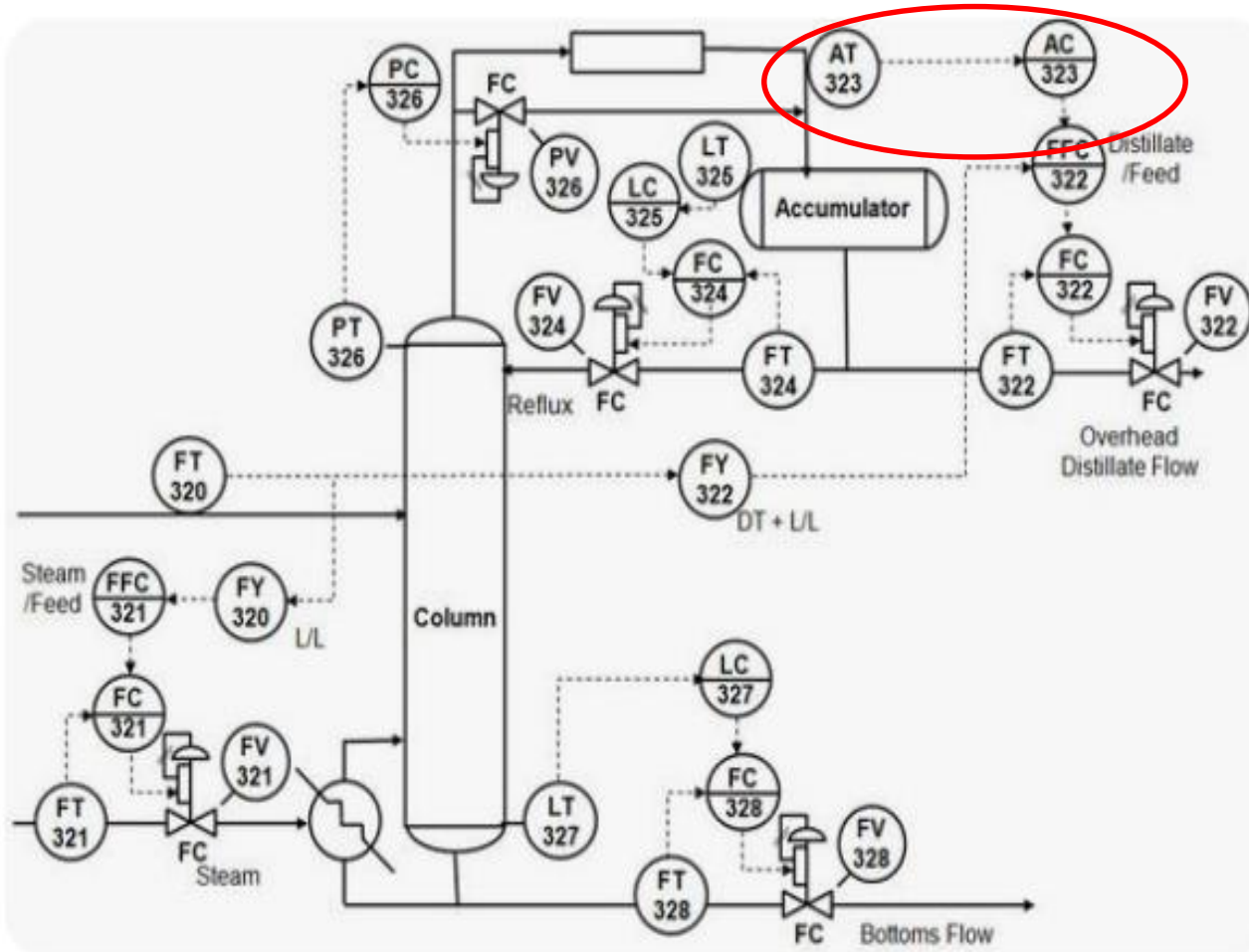
THE  
DEVELOPER'S  
CONFERENCE



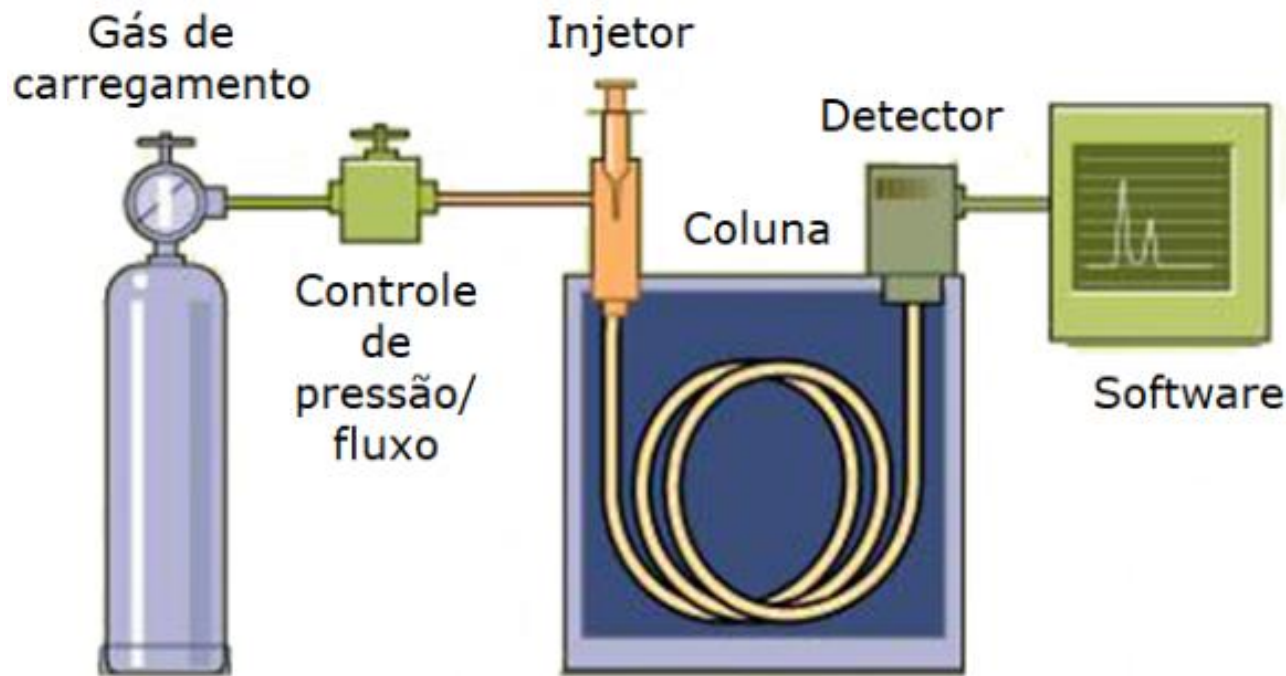
Nem sempre é possível medir direta e prontamente as variáveis de processos industriais



THE  
DEVELOPER'S  
CONFERENCE



Nem sempre é possível medir direta e prontamente as variáveis de processos industriais



Atraso de  
Tempo  
Associado  
à Análise  
Química:  
> 15 min



THE  
DEVELOPER'S  
CONFERENCE

Alternativa:

INFERIR A COMPOSIÇÃO

A partir das medidas de

PRESSÃO E TEMPERATURA

Que são facilmente  
mensuráveis !!!!



A essa técnica de inferência de variáveis a partir de outras, facilmente mensuráveis dá-se o nome de:



THE  
DEVELOPER'S  
CONFERENCE

SOFT SENSING

Analísadores por  
Software

Sensores por Software

Virtual Analyzers

Sensores Virtuais



THE  
DEVELOPER'S  
CONFERENCE

# O QUE É SOFT SENSING?



Sensores por software são modelos inferenciais que usam variáveis facilmente mensuráveis para estimar variáveis devido: **às limitações tecnológicas, grandes atrasos no tempo de medida, ou custo fixo de investimento muito alto.**

(Kadlec et al., 2009)

Metodologias para Soft Sensing:



THE  
DEVELOPER'S  
CONFERENCE

Filtro de Kalman – observadores de estado

Redes Neurais Artificiais

ANFIS



THE  
DEVELOPER'S  
CONFERENCE

# ANFIS



THE  
DEVELOPER'S  
CONFERENCE

*ANFIS, Adaptive Neurofuzzy Inference Systems*, são técnicas que integram conceitos de **Lógica Fuzzy** e **Redes Neurais Artificiais**, aproveitando as vantagens desses dois frameworks.



THE  
DEVELOPER'S  
CONFERENCE

## ***Vantagem:***

Expressar o conhecimento do “especialista humano” em termos de variáveis linguísticas para poder “fuzzificar” as variáveis de entrada.

## ***Desvantagem:***

Dificuldades na determinação da base de regras e das funções de pertinência



THE  
DEVELOPER'S  
CONFERENCE

# EXEMPLO





THE  
DEVELOPER'S  
CONFERENCE

# Sensor Óptico de Concentração de Biomassa Microalgal de Spirulina sp. LEB 18 - DEFINIDO POR SOFTWARE

## Escala dos Fotobiorreatores de Produção Comercial.



(a)



(b)



(c)

- (a) Cyanotech Co., Hawaii – produzindo *Haematococcus pluvialis* e *Spirulina*;
- (b) Detalhe dos biorreatores raceway da Cyanotech;
- (c) Earthrise, California,



THE  
DEVELOPER'S  
CONFERENCE

### Partículas Pequenas

Tamanho 10 vezes menores  
que o comprimento da onda.

Raio  
Incidente



Dispersão simétrica.

### Partículas Médias

Aproximadamente 4 vezes menores  
que o comprimento da onda.

Raio  
Incidente



*Scattering* concentrado no eixo  
de emissão após a partícula.

### Partículas Grandes

Maiores que o comprimento de onda do emissor.

Raio  
Incidente



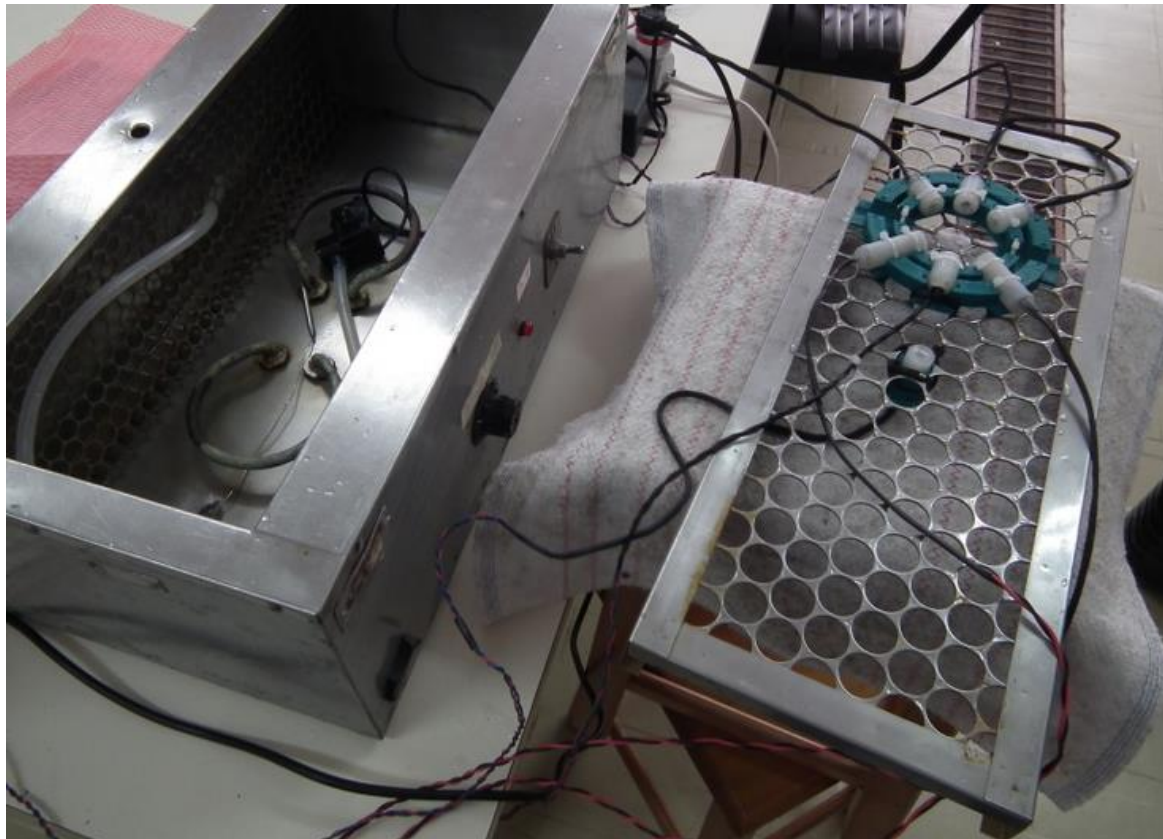
Dispersão concentrada no eixo de emissão a frente da partícula e  
desenvolvimento de propagação em ângulos obtusos.

Representação  
de *Scattering* por  
Diferentes  
Partículas  
(Adaptado de  
SADAR, 1999)

## Banho Termostatizado



THE  
DEVELOPER'S  
CONFERENCE





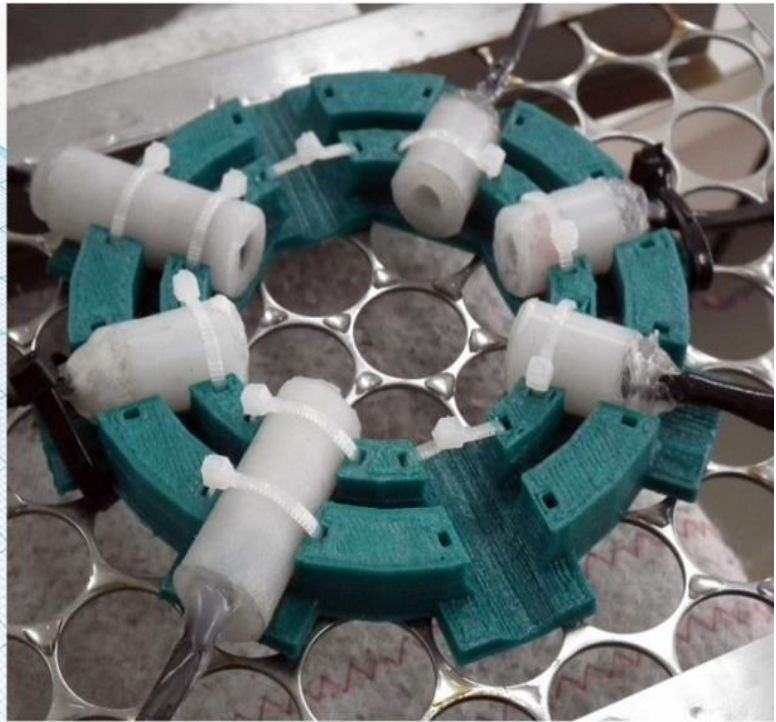
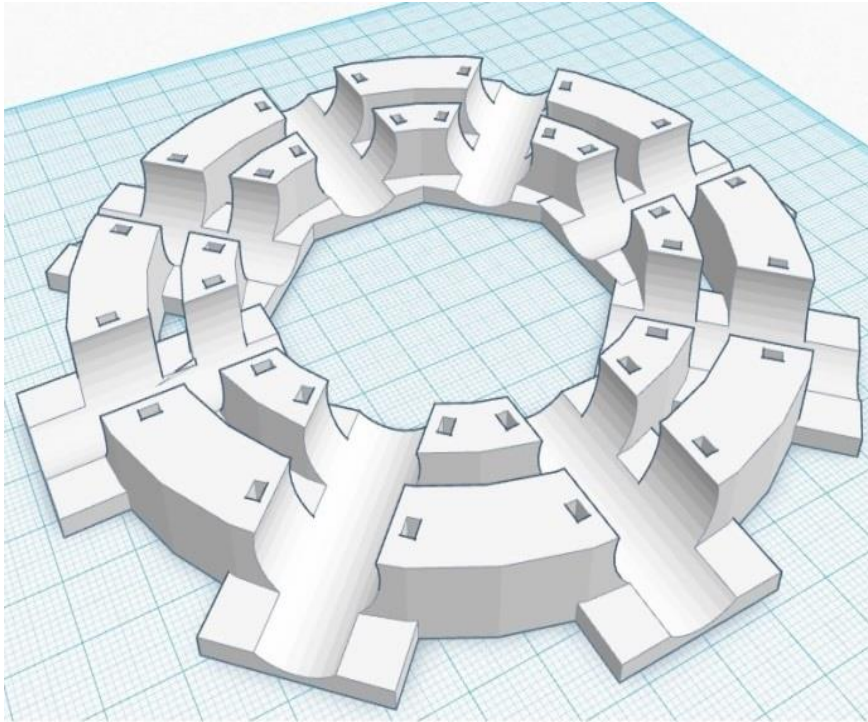
THE  
DEVELOPER'S  
CONFERENCE

Para o conjunto de medidas ópticas em ângulos combinados de espalhamento e absorção da radiação monocromática em 530nm ou 660nm.



*Projeto da Peça (STL)*

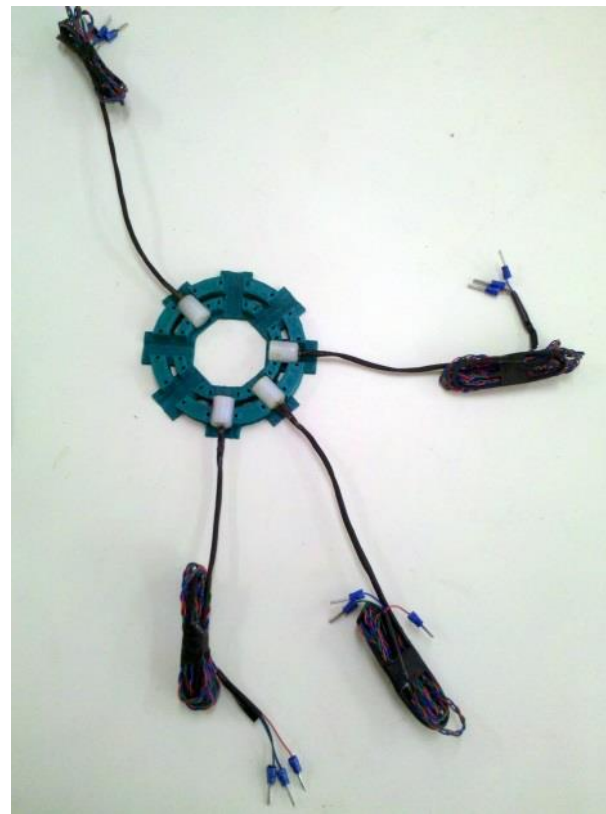
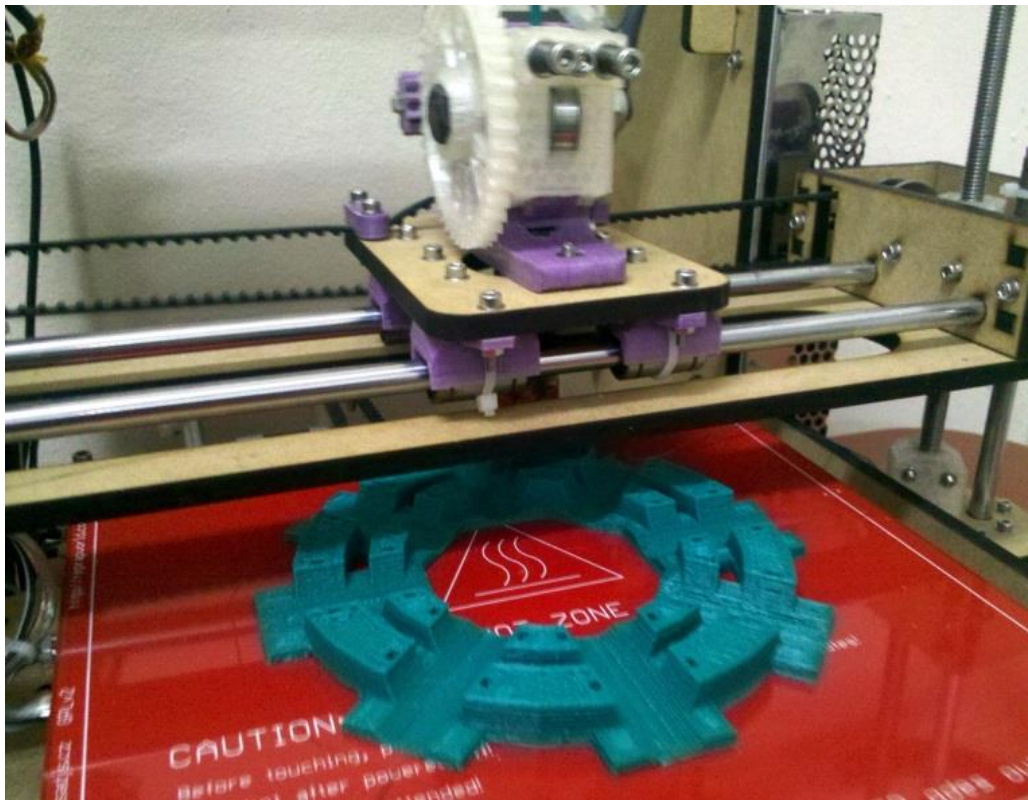
*Suporte com Emissores e Receptores*

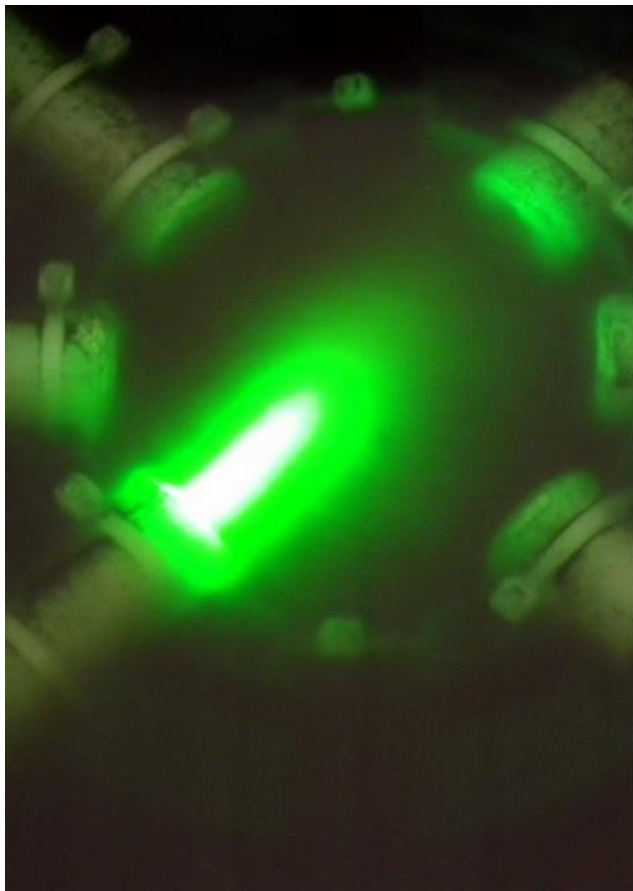


*à esquerda a peça durante a impressão e à direita o suporte com emissores e receptores*

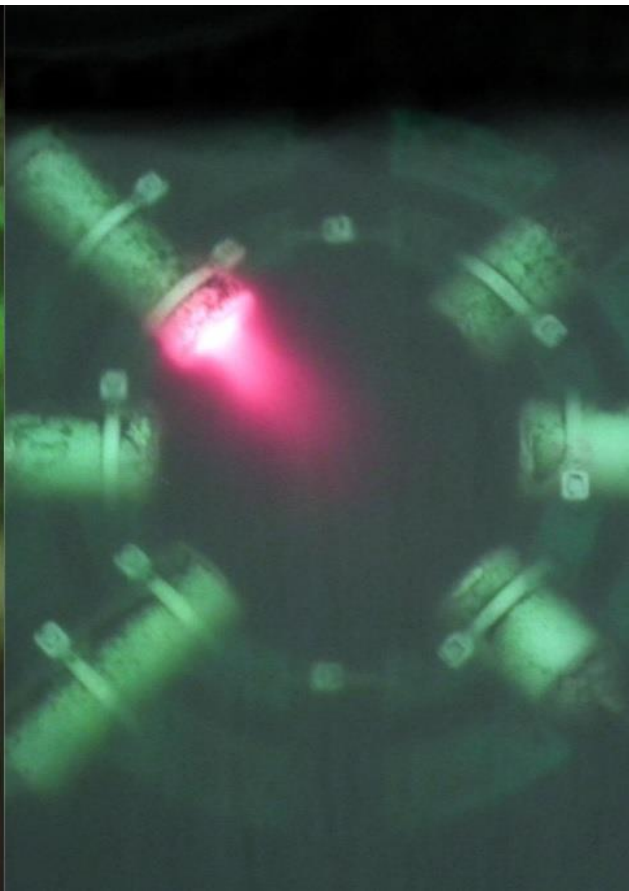


THE  
DEVELOPER'S  
CONFERENCE





530 nm



660 nm



THE  
DEVELOPER'S  
CONFERENCE



TAKAGI-SUGENO-KANG  
(TSK)

X

MAMDANI

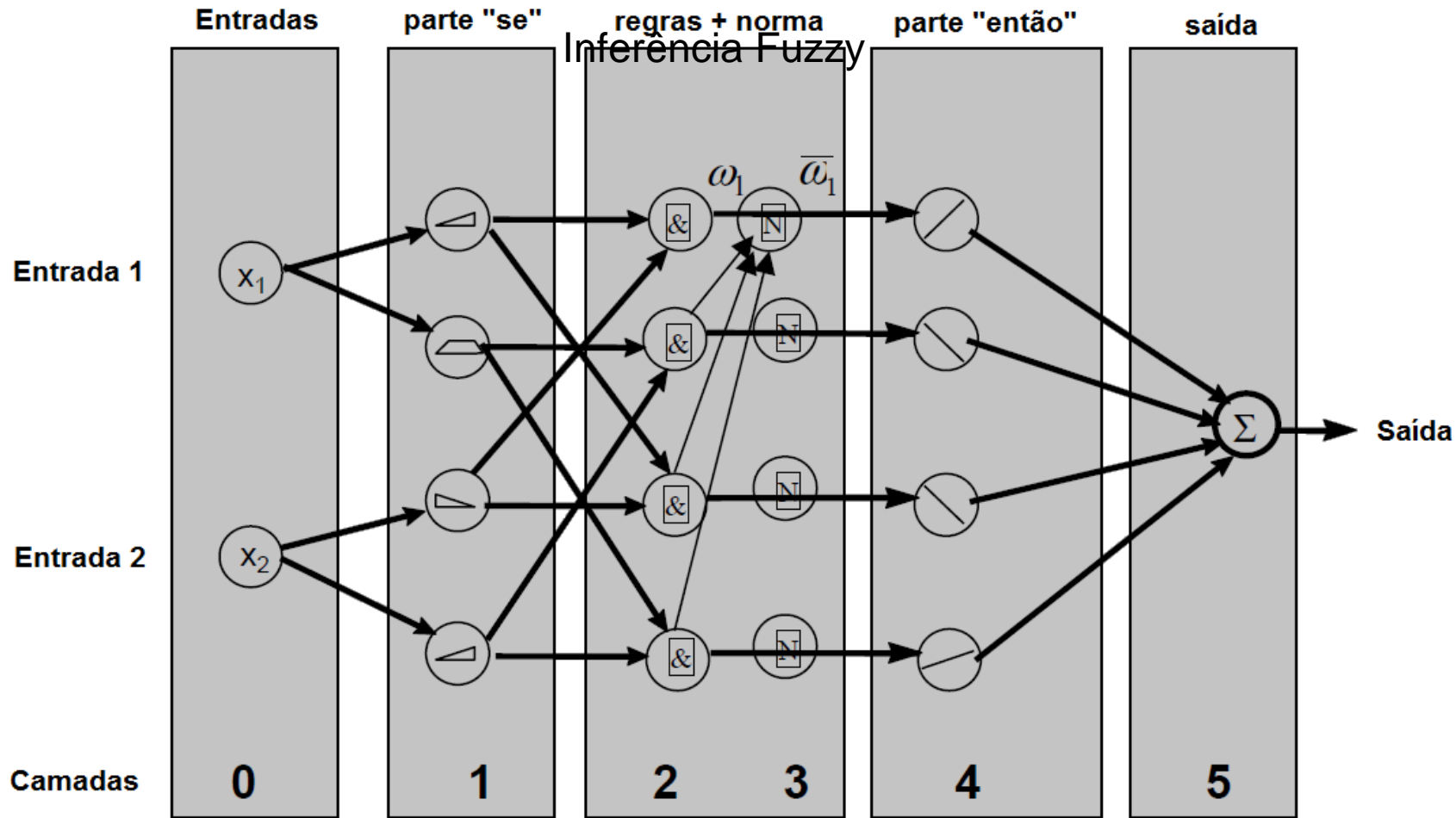


THE  
DEVELOPER'S  
CONFERENCE

O conjunto de dados de treinamento foi normalizado, e particionado no espaço fuzzy de entrada, de forma a gerar a parte consequente das regras se-então da inferência fuzzy. Para cada regra houve uma função linear do tipo:

$$\text{saída} = \text{pertinência}(x)_i \cdot A(i) + B(i) + \text{pertinência}(y)_i \cdot C(i) + D(i).$$

saída foi a concentração de biomassa e  $x$  e  $y$  as intensidades de intensidade luminosa nos ângulos de espalhamento testados.





Combinação em Pares de  
Intensidade do Sinal Luminoso  
(45° e/ou 90° e/ou 135°)

Algoritmo de  
Inferência  
Fuzzy

Concentrações de Biomassa

Determinação do Somatório do Erro Quadrático

Algoritmo de Otimização por Enxame de Partículas  
(minimização do erro quadrático)

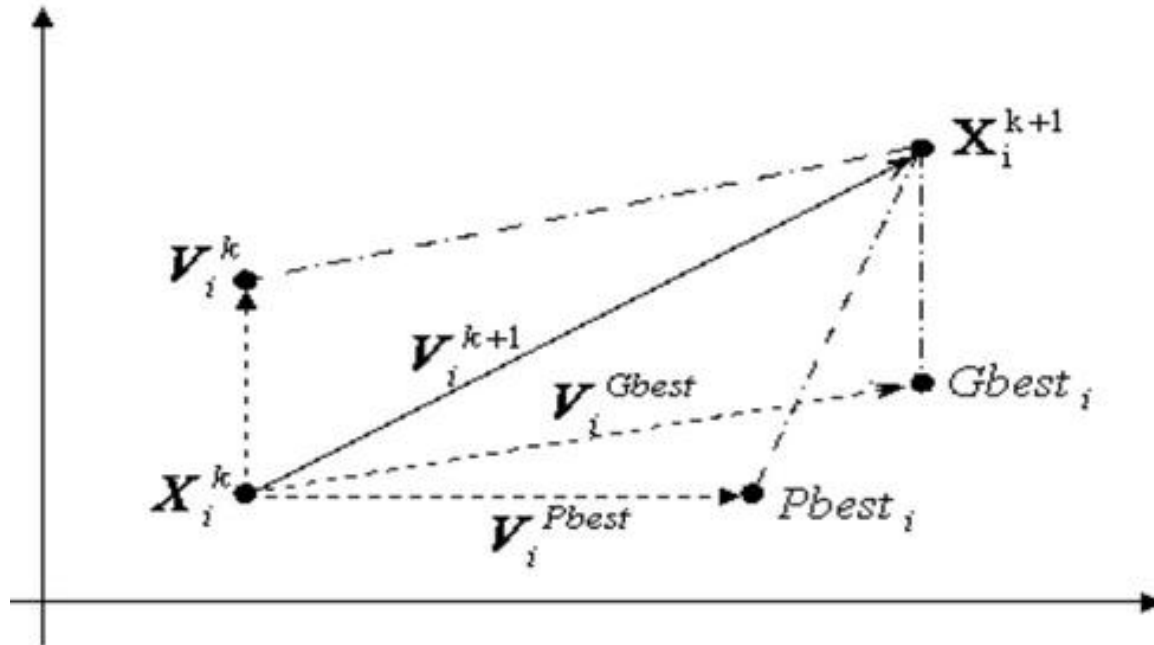
Determinação dos Parâmetros Modelo ANFIS

Método de Otimização por Enxame de Partículas (PSO, Kennedy e Eberhart, 1995)  
para minimizar o somatório do erro quadrado

$$v_{id}^{t+1} = w \cdot v_{id}^t + c_1 \cdot \varphi_1 \cdot (p_{id}^t - x_{id}^t) + c_2 \cdot \varphi_2 \cdot (p_{gd}^t - x_{id}^t)$$

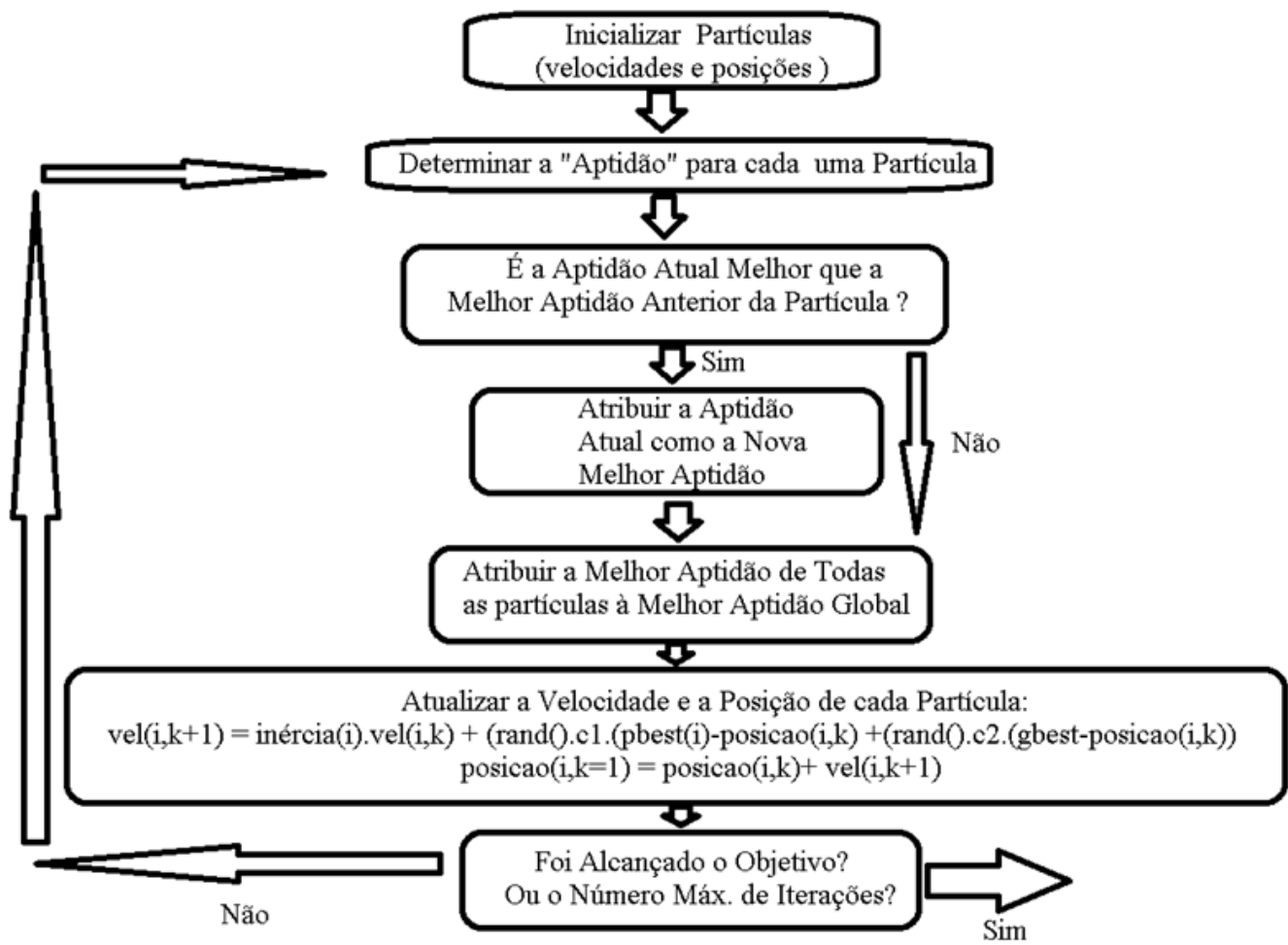
$$x_{id}^{t+1} = x_{id}^t + v_{id}^{t+1}$$

Onde:  $v_{id}^t$  = componente da velocidade,  $x_{id}^t$  = componente da posição,  $c_1$  e  $c_2$  = constantes de fator do peso,  $p_i$  = melhor posição alcançada até o momento,  $p_g$  = melhor posição alcançada pelas partículas vizinhas,  $\Psi_1$  e  $\Psi_2$  = fator randômico no intervalo  $[0, 1]$ ,  $w$  = inércia.

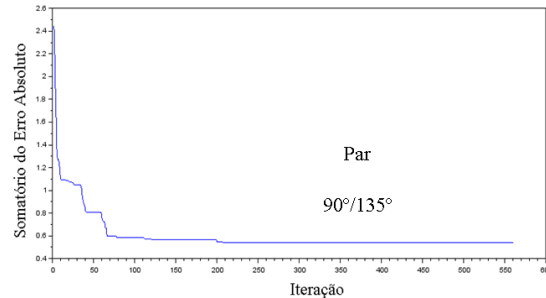
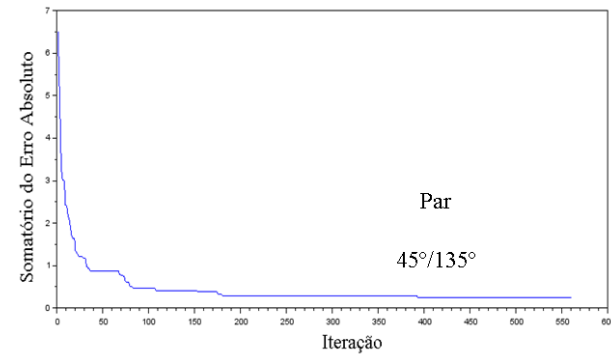
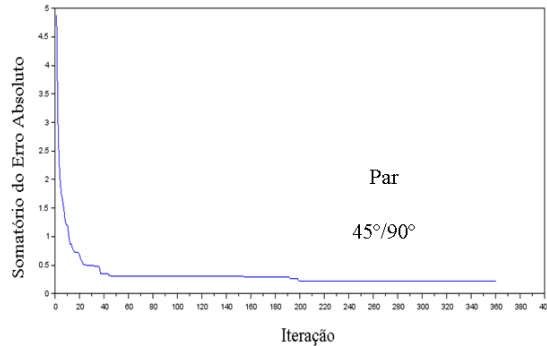


Adaptado de ALLAOUA, 2010.

# Algoritmo da Otimização por Enxame de Partículas Utilizado



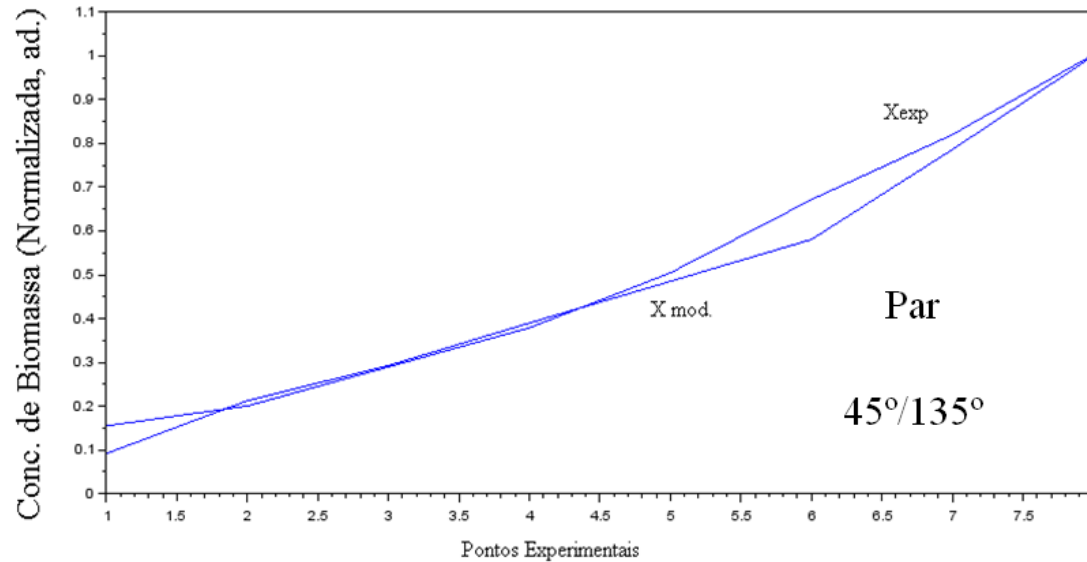
# Somatório do Erro Absoluto ao Longo das Iterações Durante o Treinamento da Rede ANFIS – TSK – PSO para os Pares Combinados de Ângulos





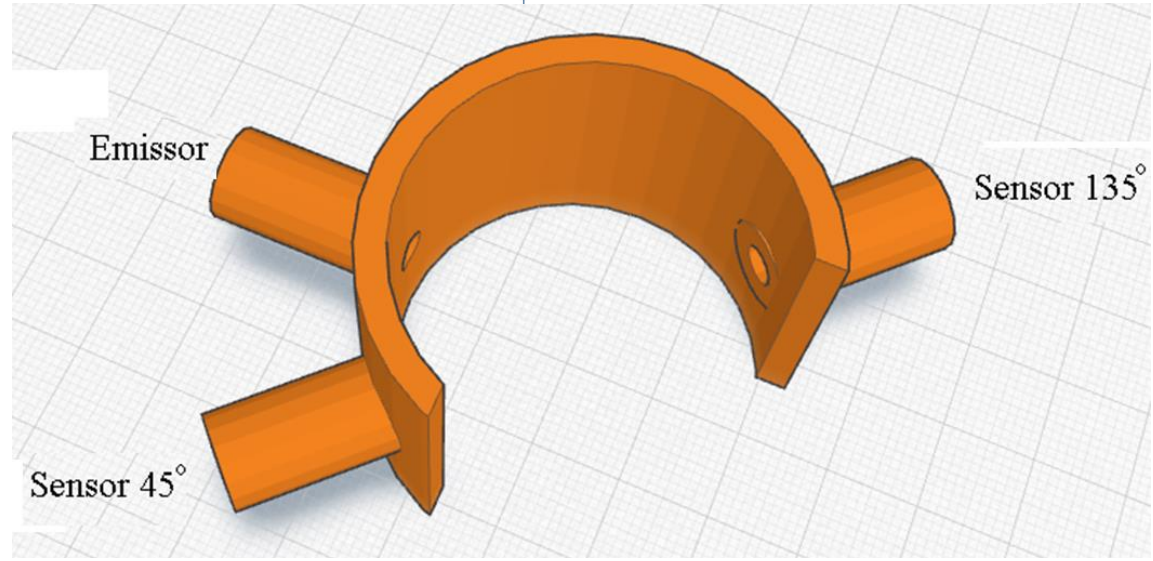


Ajuste Após as Iterações e Treinamento da Rede ANFIS – TSK – PSO  
para os Pares Combinados de Ângulos – Conc. Experimental ( $X_{exp}$ ) e do Modelo ( $X_{mod}$ ).





# Concepção do Sensor de Biomassa Óptico Combinado



O melhor resultado de modelo para sensor por software foi obtido com um erro médio menor do que 3% durante o treinamento, e menor que 4% na validação, com um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) 0,99 para a rede treinada com os pares de medidas de espalhamento em  $45^\circ/135^\circ$ .



THE  
DEVELOPER'S  
CONFERENCE



THE  
DEVELOPER'S  
CONFERENCE

# Conclusão

ANFIS agregam a conectividade das RNAs com a Lógica Fuzzy e de Soft Computing.



THE  
DEVELOPER'S  
CONFERENCE

Há a necessidade de se ter os dados de treinamento das variáveis mensuradas correspondentes àquelas que se deseja inferir.

Subst. equipamentos de análise química por Soft Sensors implica em ganhos de produtividade e redução de custos.



THE  
DEVELOPER'S  
CONFERENCE

Contato: Renato Dutra Pereira Filho

LaCoPQ – Laboratório de Controle de Processos Químicos

EQA – FURG – Rio Grande – RS

[renatodutrapereira@gmail.com](mailto:renatodutrapereira@gmail.com)

Visite: [rdpf.wordpress.com](http://rdpf.wordpress.com)





# THE DEVELOPER'S CONFERENCE