

# SISTEMA INTELIGENTE PARA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NA AGRICULTURA DE PRECISÃO UTILIZANDO REDE NEURAL ARTIFICIAL

Bianca Parente Boyadjian<sup>1</sup>; Alessandra Dutra Coelho <sup>2</sup>; Fernando de Almeida Martins <sup>3</sup>;  
Rogério Cassares Pires <sup>3</sup>; Wânderson de Oliveira Assis <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Aluno de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM-CEUN-IMT);

<sup>2</sup> Professor da Escola de Engenharia Mauá (EEM-CEUN-IMT);

<sup>3</sup> Engenheiro do Centro de Pesquisas (CP-CEUN-IMT).

**Resumo.** *Este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema de irrigação para uma horta automatizada visando realizar o controle da vazão da água a ser drenada de forma a permitir futura implementação do controle automático. O diferencial deste trabalho é a utilização de um algoritmo inteligente baseado em rede neural artificial, com o objetivo de otimizar o planejamento de irrigação e utilização de recursos hídricos, visando propiciar para o plantio condições mais adequadas de acordo com as características da plantação independente das condições ambientais. Considera-se para isso a utilização de variáveis atmosféricas (temperatura e umidade) além de medições de umidade do solo. Utilizando essas informações deseja-se otimizar a irrigação definindo os pontos estratégicos (distribuição espacial) além do volume e/ou vazão de água em intervalos de tempo (distribuição temporal).*

## Introdução

A agricultura é um dos quatro pilares do Plano Nacional em IOT (*Internet of Things*), propiciando grandes investimentos no setor. O surgimento desse segmento se fez presente empregando tecnologias que visam realizar a conexão entre dispositivos e “coisas” à base de dados, redes e internet. Assim, possibilita a comunicação entre equipamentos e permite acesso de dados à distância.

No Brasil, a divulgação do potencial das tecnologias de Internet das Coisas entre os agricultores tem despertado o interesse desse setor na aplicação dos recursos disponíveis para automatização das propriedades. Com objetivos de minimizar custos operacionais e o uso excessivo dos recursos naturais, uma vez que mesmo com avanços tecnológicos o desperdício ainda existe e é significativo, os agricultores estão abertos a aceitar mudanças que auxiliem no aumento da produção. Como resultado vários projetos vêm sendo realizados visando otimizar a utilização de recursos (como água, fertilizantes e nutrientes) e garantir maior controle nos sistemas de irrigação (Maia *et al.*, 2017) (Santos *et al.*, 2017).

Atualmente as preocupações do setor estão voltadas ao estudo e desenvolvimento de novas tecnologias que proporcionem um aumento da produção agrícola sem deixar de lado a qualidade dos alimentos, e pensando, sempre, no uso sustentável dos recursos naturais. Levando em conta que cerca de 70% da água captada no país e no mundo vai para produção agrícola, é de extrema importância a gestão desse recurso, que é pauta de uma preocupação mundial (CATI *et al.*, 2017).

O objetivo deste trabalho é implementar uma aplicação de controle de umidade do solo em lavouras para mantê-lo homogêneo em toda sua distribuição. Como cada plantação trabalha com condições diferentes de umidade (mesmo com relação à profundidade) e, para que cada uma dessas plantações apresentem maior qualidade e crescimento, o estudo tratado neste documento torna-se de grande importância.

O decorrer deste trabalho contará com desenvolvimento e implementação de um sistema inteligente. Com isso pretende-se controlar o processo de irrigação a partir do monitoramento do estado do solo e do ambiente. Para isso os dados serão coletados por sensores utilizando tecnologias desenvolvidas no projeto apresentado em (Dias *et al.*, 2019). Nesse projeto

desenvolveu-se um sistema para monitoramento de sinais de sensores de umidade cujos dados são armazenados em banco de dados e disponibilizados para acesso remoto por meio da plataforma do *Smart Campus* do Instituto Mauá de Tecnologia.

A transmissão dos dados utiliza tecnologia LoRa, de forma similar a outros projetos recentes (Teixeira e Almeida, 2017) (Zhao *et al.*, 2017) (Usmonov and Gregoretti, 2017), onde o principal diferencial é a possibilidade de monitoramento em consideráveis distâncias e com reduzido consumo de energia.

## **Objetivos**

Este projeto visa o desenvolvimento e implementação de um sistema inteligente para controle do processo de irrigação a partir do monitoramento do estado do solo e do ambiente. O diferencial deste trabalho é a utilização de um algoritmo inteligente baseado em rede neural artificial, com o objetivo de otimizar o planejamento de irrigação e utilização de recursos hídricos de forma a garantir para a agricultura as condições mais adequadas de acordo com as características da plantação e independente das condições ambientais.

## **Materiais e Métodos**

Para o desenvolvimento deste projeto, foi necessário a utilização dos seguintes dispositivos, os quais foram projetados e dimensionados no trabalho:

- Microcontrolador PIC 24FJ128GA306 – placa microcontrolada para monitoramento dos sinais dos sensores
- Módulo LoRa criado pela LoRa Alliance – *chipset* de comunicação sem fio utilizando padrão *Low Power Wide Area Network* (LPWAN) usando na transmissão de dados por radiofrequência.
- DHT1 – Sensor de umidade e temperatura o qual é monitorado por microcontrolador PIC usando comunicação serial. Foi utilizado para captar os valores da temperatura e umidade do ar;
- Sensores de umidade desenvolvidos pelo Centro de Pesquisas do Instituto Mauá de Tecnologia para monitorar a umidade do solo em diferentes graus de profundidade.
- Galcon 9001BT – temporizador de irrigação com comunicação por Bluetooth. Sua programação é realizada por aplicativo via dispositivos móveis ou manualmente. Concede comandos para funcionamento cíclico ou programação por horários os quais deve acionar e em quais dias da semana.
- Outros elementos do sistema de irrigação, os quais serão citados posteriormente.

Os softwares utilizados nos testes do projeto:

- ThingSpeak – plataforma de análise de IOT que permite o monitoramento *online* dos dados obtidos nos sensores. O software permite integração com o software Matlab para permitir a transferência dos dados captados.
- Matlab – software interativo de alta performance que permite resolver problemas e funções, realizar simulações, fazer testes estatísticos ou visualizar resultados. Trata-se de uma linguagem de programação aplicável em desenvolvimentos de aplicativos sobretudo de natureza técnica. O software permite processamento e controle das informações enviadas dos dispositivos (sensores) ao ThingSpeak.

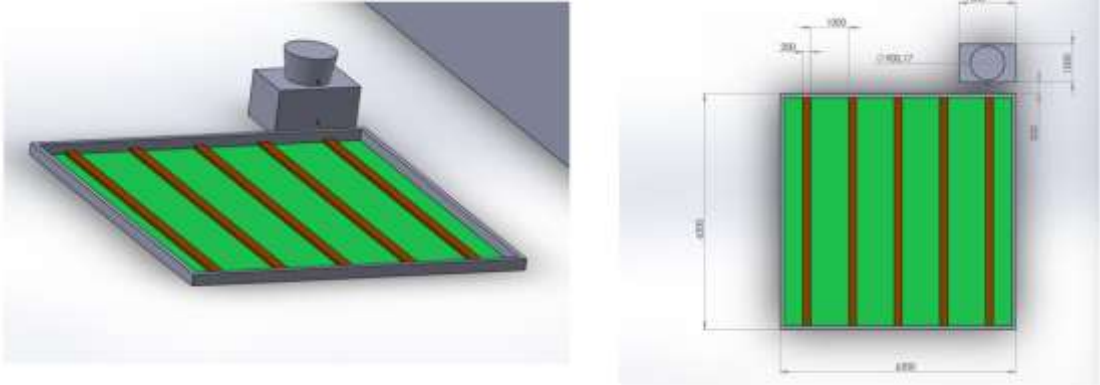
## **Desenvolvimento**

Para desenvolver a aplicação serão realizadas diversas etapas, todas elas contando com o apoio da equipe do Centro de Pesquisas.

### a) Construção da horta e montagem do sistema de irrigação

A região de cultivo da horta foi delimitada em uma área com dimensões de 6m por 6m. Dentro dessa área serão colocadas 5 linhas de cultivo sendo separadas uma das outras com o objetivo de permitir o deslocamento do cultivante entre elas e a redução de perdas caso uma das linhas sejam contaminadas. O acesso à água será realizado por meio de uma torneira a qual alimentará um sistema de irrigação. A Figura 1 ilustra a vista geral da área de plantio e as dimensões do reservatório que armazenará água.

*Figura 1 Visão Geral da Área de Plantio*



O sistema de irrigação será desenvolvido por meio de três aspersores, os quais receberão água proveniente do reservatório por meio de mangueiras enterradas.

O sistema completo inclui um controlador de vazão com temporização ajustada pelo usuário - no projeto foi utilizado inicialmente o controlador da Rain Bird modelo 1ZEHTMR (Figura 2a)); contudo o mesmo apresentou como principal limitação a impossibilidade de realizar o controle remoto, essencial para desenvolver o controle automático da irrigação. Por isso o controlador foi substituído pelo controlador Galcon modelo 9001BT ilustrado na Figura 2b). Esse controlador tem como diferenciais a programação por Bluetooth e a possibilidade de acionamento de até 3 em 3 horas, o que possibilitou o estudo vigente neste trabalho.

Os controladores foram conectados diretamente na torneira do reservatório para serem testados. Para isso foi necessário consultar o manual desses equipamentos e entender como deve ser realizada a programação com o objetivo de planejar a irrigação em períodos específicos do dia.

*Figura 2 Controladores de vazão temporizada programável*

a) Controlador Rain Board

b) Controlador Galcon



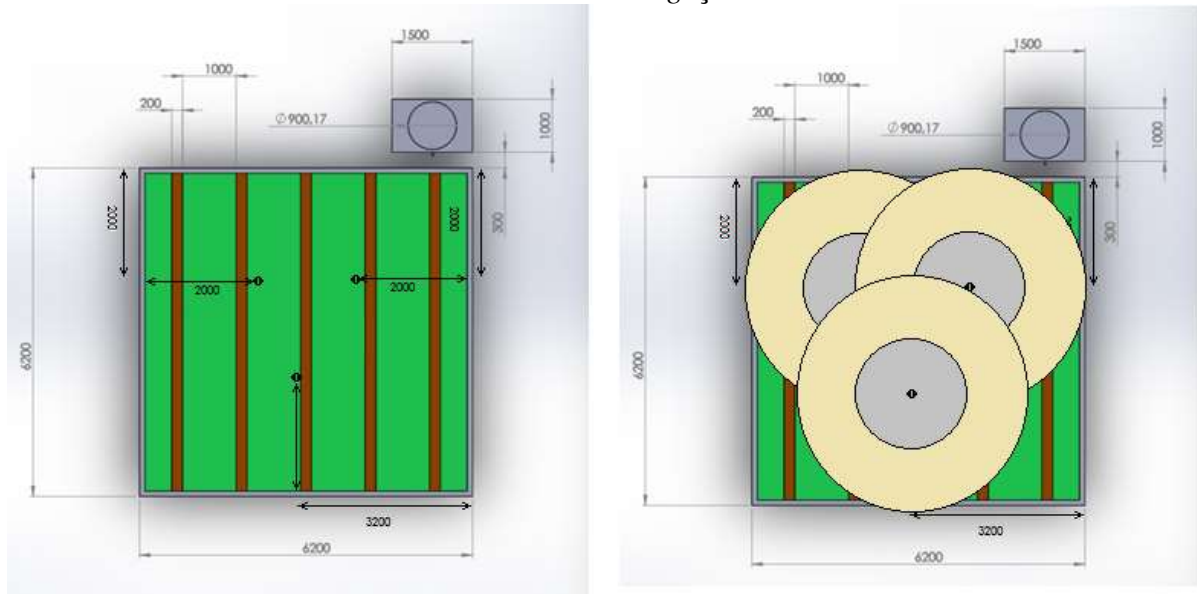
- 3 aspersores mini rotor 12SA da Rain Bird (Figura 3) - permitem distribuir água radialmente com rotação em 360° de forma a obter uma irrigação mais homogênea na horta. Esses aspersores permitem irrigar num diâmetro de 4 a 5,5 m, dependendo da vazão. Cada um dos três aspersores será conectado por meio de mangueiras e conectores do tipo T, recebendo

água proveniente do sistema de controle e distribuindo num raio similar ao ilustrado na Figura 4.

Figura 3 Aspersor Mini Rotor 12SA da Rain Bird



Figura 4 Pontos estratégicos para instalação dos aspersores e estimativa de área máxima e mínima da irrigação



## b) Coleta e manipulação de dados

A coleta de dados foi realizada em tempo real com auxílio da plataforma ThingSpeak. Para isso foram utilizados três sensores de umidade do solo (dispersos em locais e profundidades diferentes da horta) além de um sensor de temperatura ambiente e de umidade ambiente (esses últimos montados num mesmo conjunto, junto com um sensor de umidade).

Os dados são monitorados e transferidos para a plataforma do Smart Campus do Instituto Mauá de Tecnologia, onde recebem a seguinte identificação:

- 1: DET-04{°C - Ar} – sensor: temperatura ambiente
- 2: DET-04{% - Ar} – sensor: umidade ambiente
- 3: DET-04{% - Solo} – sensor 1: umidade do solo
- 4: DET-34{% - Solo} – sensor 2: umidade do solo
- 5: DET-35{% - Solo} – sensor 3: umidade do solo

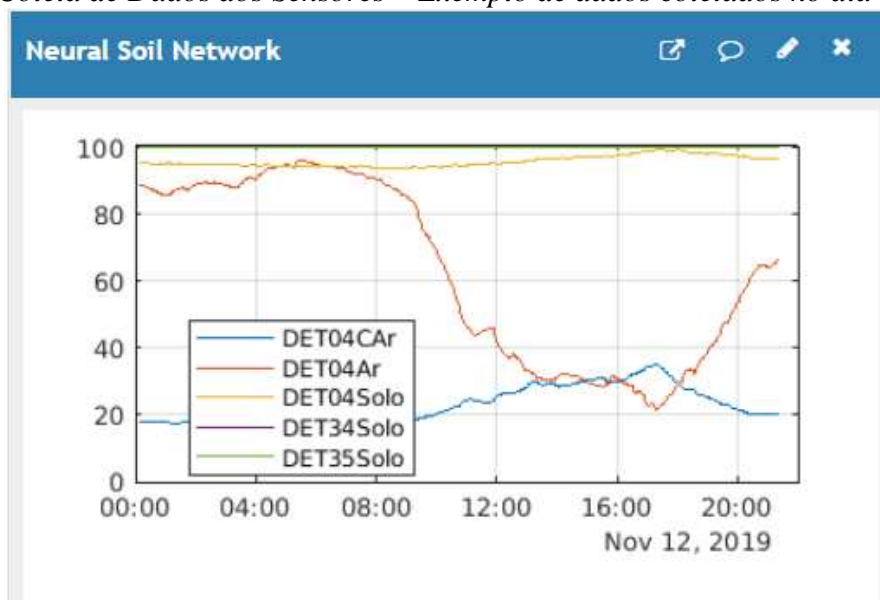
Com os dados sendo coletados, tornou-se possível a análise e manipulação dos mesmos com a ferramenta Matlab, a qual permite monitorar em tempo real os dados coletados pelos sensores. O *link* entre os sensores e sua disponibilidade na internet para manipulação decorre do fato do ThingSpeak ser um programa de análise de IOT, termo que tem se tornado popular atualmente por acrescentar facilidade na supervisão de dispositivos digitais de lugares remotos.

Com objetivo de facilitar a construção da Rede Neural no final do projeto, alguns comandos tiveram de ser aplicados no ThingSpeak. A primeira modificação necessária foi a

parametrização dos dados. Isso foi necessário porque os sensores são assíncronos, portanto, essa etapa foi de grande importância para disponibilidade dos mesmos na construção de gráficos, por exemplo.

Para compreensão desta etapa digamos que o sensor 1 capta informações de dois em dois minutos, mas nesse meio tempo o sensor dois capta uma informação. Este intervalo que o sensor 1 não recebeu nada teve de ser preenchido com um valor intermediário entre os seus dois coletados (do minuto inicial e no segundo, após dois minutos). Com essa singela modificação foi possível coletar a curva apresentada na Figura 5.

*Figura 5 Coleta de Dados dos Sensores – Exemplo de dados coletados no dia 12/11/2019*



Feita a parametrização, o próximo passo que deixou o trabalho mais próximo da sua concretização foi o cálculo das médias. Com os dados sendo lançados em tempo real na internet e disponibilizados para manipulação, foi possível realizar a média de três em três horas na plataforma. Esses dados futuramente, serão os dados de entrada usados para treinamento da rede neural.

Após realizar as médias de três em três horas, o código plota um gráfico de superfície para observação dos eventos (Figura 6). No eixo z há as temperaturas e umidades atingidas por cada um dos sensores onde: 1: DET-04 {°C - Ar] em vermelho; 2: DET-04 [% - Ar] em azul; em amarelo, verde e ciano têm-se os três sensores de umidade do solo.

### **c) Desenvolvimento de Rede Neural**

Nesta etapa o objetivo é desenvolver uma rede neural para modelar matematicamente o comportamento do sistema de forma a produzir após a obtenção do modelo uma estimativa da umidade prevista nos pontos estratégicos do solo a partir dos níveis de umidade e temperatura ambientes, bem como das vazões ao longo do tempo empregadas na irrigação (definidas a partir dos intervalos de acionamento do sistema de irrigação).

Portanto o modelo do sistema a ser determinado a partir de um algoritmo baseado em rede neural pode ser resumido pelo seguinte diagrama de blocos (Figura 7).

*Figura 6 Gráfico Tridimensional Sensores – Média a cada três horas*

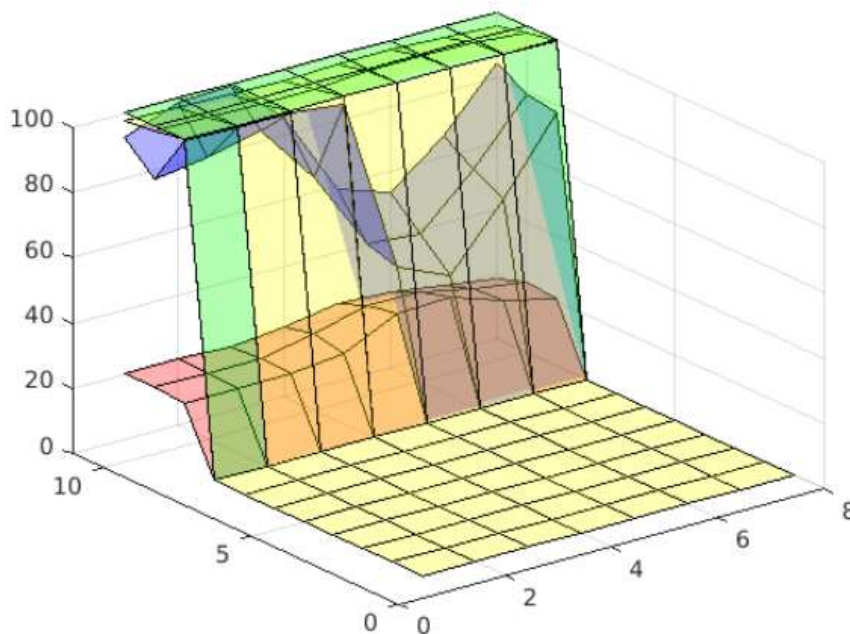
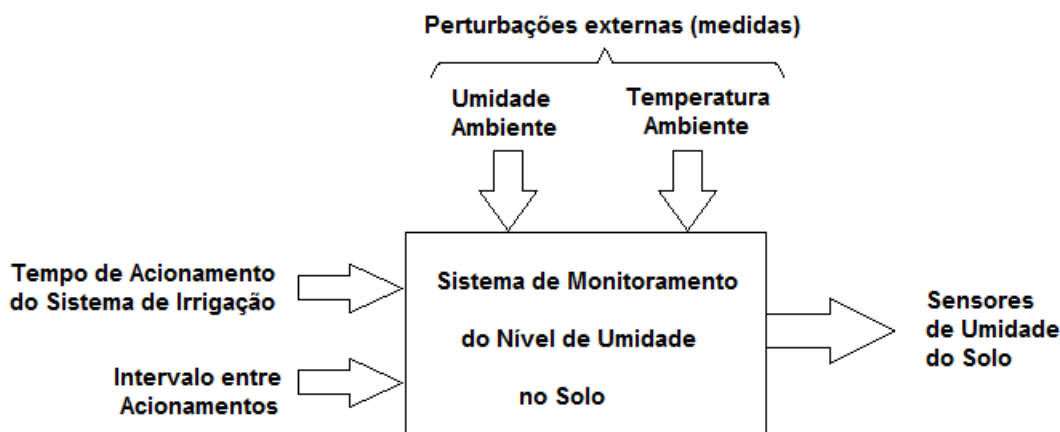


Figura 7 Diagrama de Blocos do Sistema de Monitoramento do Nível de Umidade do Solo Controlado por Irrigação



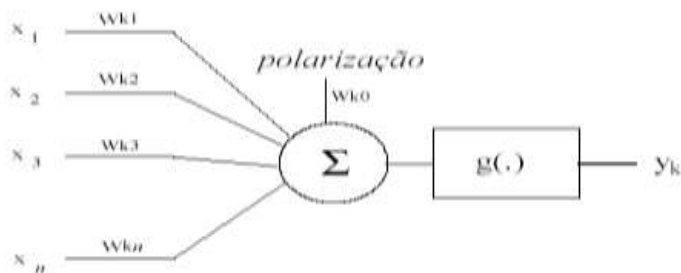
Existem diversas definições para redes neurais, também chamadas de neurocomputadores, redes conexionistas ou processadores paralelamente distribuídos. Podemos utilizar a definição apresentada por Haykin (1999): “Uma rede neural é um processador paralelo maciçamente distribuído sendo constituído de unidades de processamento simples, que têm a propensão natural para armazenar conhecimento experimental e torna-lo disponível para uso”.

A teoria denominada *conexionista* recebe inspiração da maneira como o cérebro humano funciona, tendo como unidade básica de processamento uma entidade, de *hardware* ou *software*, inspirada no funcionamento do neurônio biológico.

O neurônio pode ser entendido como um dispositivo que tem muitas entradas e apenas uma saída. Nesse sentido, Rummelhart, Hinton e Willians (Rummelhart et al, 1986) propuseram um modelo não-linear para o neurônio biológico, que é amplamente aceito pela comunidade científica (Figura 8). Esse modelo é basicamente um *perceptron* de Rosenblatt, com uma função de ativação semilinear. O *perceptron* modela um neurônio processando uma soma ponderada de suas entradas e submetendo o resultado a uma camada de processamento de limiares  $g(.)$  (Figura 8). No caso dos *perceptrons*, essa camada consiste basicamente de uma função degrau, mapeando as saídas nos níveis binários 0 ou 1, naturalmente uma função altamente não-linear. Rummelhart, Hinton e Willians propuseram a utilização de funções semilineares visto que, no desenvolvimento de seu método de aprendizado, fazem uso da derivada da função adotada.

Esta alteração permite o treinamento dos neurônios e torna uma rede neural capaz de mapear qualquer função contínua.

Figura 8 Modelo Não Linear de um Neurônio



onde:

$X$  é o vetor de entrada do neurônio  $k$ ;  
 $x_i$  é a excitação de entrada na sinapse  $i$ ;  
 $y_k$  é a resposta (ou saída) do neurônio  $k$ ;  
 $w_{ki}$  é o peso sináptico da entrada  $i$  do neurônio  $k$ ;  
 $w_{k0}$  é o peso sináptico da entrada de polarização do neurônio  $k$ ;  
 $g(.)$  é a função de ativação do neurônio.

Os principais tipos de função de ativação juntamente com as suas respectivas derivadas são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Funções de Ativação de um Neurônio

Tipo da função	Equação	Derivada
Reta	$g(v) = \alpha v$	$g'(v) = \alpha$
Degrau	$g(v) = h(v)$	-
Sigmóide	$G(v) = (1 + \exp(\beta v))^{-1}$	$g'(v) = \beta \cdot (1 - g(v)) \cdot g(v)$
Tangente Hiperbólica	$g(v) = (1 - \exp(-2v)) / (1 + \exp(2v))$	$g'(v) = \beta \cdot (1 - g(v))^2$

Na Tabela 1 temos:  $g(.)$  é a função de ativação,  $g'(.)$  é a derivada da função de ativação,  $h(.)$  é a função degrau unitário e  $\alpha$  e  $\beta$  são constantes.

Nesse trabalho será utilizada uma rede *feedforward*, na qual a propagação do processamento neural é feita em camadas sucessivas, ou seja, neurônios dispostos em camadas terão seus sinais propagados sequencialmente da primeira à última camada, de forma unidirecional. O exemplo típico desse tipo de rede seria o *perceptron* multicamadas (MLP) (Haykin, 1999).

## Resultados

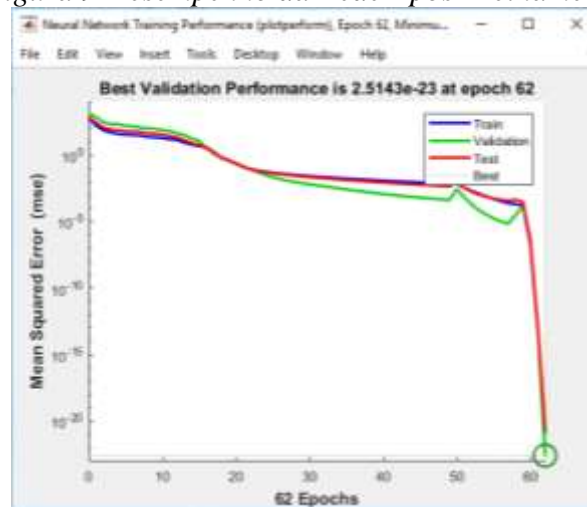
Foram avaliadas algumas configurações de redes neurais artificiais sendo definidas as seguintes características para a rede a ser implementada:

- 05 entradas, respectivamente os sinais de entrada dos sensores de umidade do solo, sensor de umidade ambiente e sensor de temperatura ambiente;
- 02 saídas, respectivamente tempo de acionamento do sistema de irrigação ( $\Delta t$ ) e intervalo entre acionamentos ( $\Delta t$  Intervalo);
- o treinamento foi realizado utilizando 02 camadas, com 06 neurônios na primeira camada e 01 neurônio na segunda camada, utilizando uma rede conhecida como Multilayer Perceptron;

- foram utilizados no treinamento 08 conjuntos de dados coletados num período de 03 dias sendo constituídas de amostras das 05 entradas e 02 saídas, coletando 1 dado a cada 3 horas, totalizando após 03 dias, 105 amostras; o processo foi repetido com dados referentes a diferentes condições ajustadas no tempo de acionamento do sistema de irrigação ( $\Delta t$ ) e intervalo entre acionamentos ( $\Delta t$  Intervalo).

- no treinamento da rede em MATLAB® a rede utilizada usou os seguintes parâmetros de configuração: steps = 1000, mu = 0.001; mu-dec = 0.1, mu-inc = 10; mu-max = 10000000000; show = 25, time = infinity. No treinamento da rede obteve-se excelente convergência com erro quadrático de 2.5143e-23 após 62,000 epochs, com o erro tendendo para zero. O treinamento gerou o gráfico ilustrado na Figura 9 que mostra na resposta o bom desempenho da rede, onde o erro médio quadrático MSE (*mean square error*) decresce até cerca de 60 épocas quando o treinamento foi parado para evitar *over training*.

Figura 9 Desempenho da Rede Após Treinamento



Os resultados após treinamento com a rede foram obtidos produzindo os pesos sinápticos e *bias* como mostrado abaixo.

$$IW1(i,m) = [1.2335 \ 2.1062 \ -0.78599 \ 1.7139 \ 1.5487; \ -0.35602 \ -1.5811 \ -0.88022 \ 0.56542 \\ 0.31874; \ -2.0952 \ -2.6227 \ -1.1392 \ 0.6528 \ -2.3143; \ -1.0485 \ -0.54314 \ 1.1228 \ 1.2996 \ 0.94803; \\ 1.2788 \ -1.3727 \ 1.1313 \ -0.47606 \ 0.99195; \ 0.04925 \ -0.54622 \ -1.1832 \ -2.9309 \ -1.3547]$$

$$IW2(k,i) = [-1.9964 \ -1.2608 \ -0.99741 \ -0.57988 \ 0.41983 \ -2.1095]$$

$$b1(i) = [-1.4032; \ -0.74308; \ 1.2131; \ 0.18305; \ -1.6836; \ 4.2429]$$

$$b2(k) = [-0.22009]$$

Esses valores serão utilizados posteriormente para validar a rede e verificar o seu desempenho com outros dados. Infelizmente esta etapa não pode ser concluída porque a horta não foi construída em tempo hábil para coleta de todos os dados, treinamento e validação. Além disso boa parte dos dados não puderam ser utilizados pois, mesmo sem haver irrigação, os sinais dos sensores se mantiveram com 100 % de umidade durante um longo tempo.

## Conclusões finais

O protótipo final será um sistema em reduzida escala que permitirá avaliar e implantar métodos eficientes de irrigação na produção agrícola. Como diferencial tem-se uma melhor gestão dos recursos hídricos resultando na redução de consumo de água, redução no consumo



de energia necessária para acionar as válvulas e o mais importante, colaborar para uma melhor produtividade na agricultura já que o sistema permitirá o ajuste das melhores condições de irrigação para o plantio específico.

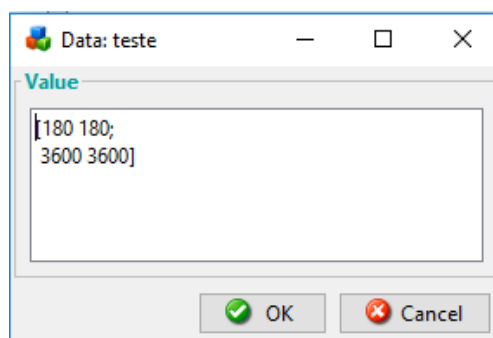
Realizada a construção da rede neural, pudemos com ela prever qual o tempo de acionamento e intervalos necessários para entradas aleatórias de umidade do solo (fixando a temperatura e umidade ambiente). O primeiro teste foi realizado com valores presentes na tabela obtida das medições. Essa etapa mostra, após treinar a rede, sua veracidade:

*Tabela 2 - Médias amostrais obtidas com 3 minutos de irrigação realizada a cada 3 horas, no dia 16 de novembro*

	00:00 - 03:00	03:00 - 6:00
DET-04 {°C - Ar}	14,5338	14,0385
DET-04 {% - Ar}	89,4469	97,8473
DET-04 {% -Solo}	99,6555	98,9881
DET-34 {% -Solo}	99,7355	99,7566
DET-35 {% -Solo}	99,8711	99,8745

Como retorno deveria ser obtido, portanto, 3 minutos como tempo de acionamento do dispositivo e intervalo de três horas entre eles.

*Figura 10 – Resultado obtido após treinamento da rede neural. A coluna especifica o tempo de acionamento nas primeiras três horas e seu intervalo.*



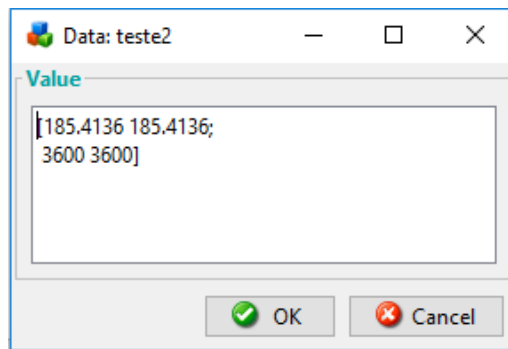
O segundo teste foi realizado com valores aleatórios para as mesmas 6 horas do primeiro teste, mas de um dia qualquer:

*Tabela 3 – Médias aleatórias as quais se quer obter para uma plantação qualquer*

	03:00-03:00	03:00-06:00
DET-04 {°C - Ar}	24	30
DET-04 {% - Ar}	80	90
DET-04 {% -Solo}	80	90
DET-34 {% -Solo}	85	95
DET-35 {% -Solo}	85	97

O teste produziu os seguintes resultados:

*Figura 11 – Resultados dos valores em segundos para o tempo de acionamento e o intervalo do mesmo para obter as umidades de solo requisitadas.*



Devido a construção tardia da horta e de seu sistema de irrigação, além das condições climáticas não favoráveis ao estudo, boa parte do mesmo contou com valores aleatórios para que fosse possível a construção da rede neural e sua validação. Contudo, para próximos estudos o sistema mostrou-se eficaz no fornecimento do tempo e intervalo de acionamento para se obter as umidades desejadas e convenientes a cada tipo de plantação.

### Referências Bibliográficas

CATI/ SAA. **“Uso Racional da Água na Agricultura”** Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, Campinas, 2017.

Dias, B. G. L.; Coelho, A. D.; Martins, F. A.; Pires, R. C. **“Monitoramento de Sensores de Umidade do Solo com Internet das Coisas (IoT) Aplicado na Agricultura de Precisão”** 11º Seminário Mauá de Iniciação Científica, 2019.

Haykin, S. **“Neural Networks – A Comprehensive Foundation”** Prentice Hall, 1999.

Maia, R. F.; Netto, I.; Tran, A. L. H. **“Precision Agriculture Using Remote Monitoring Systems In Brazil”** IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC), San Jose, CA, USA, 25 December 2017.

Rumelhart, D. E.; Mc Clelland, J.L. **“Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition”**. Cambridge, MIT Press, 1986.

Santos, F. A.; Telvina, M. S.; Segundo, P. S. C.; Carvalho, M. R. B. **“Protótipo de um Sistema de Irrigação Baseado em IoT para Pequenos e Médios Produtores Rurais”** ACTA Tecnológica, v. 12, nº 1, 2017.

Teixeira, G. B.; Almeida, J. V. P.. **“Rede LoRa e Protocolo LoraWan Aplicados na Agricultura de Precisão no Brasil”** Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017.

Usmonov, M.; Gregoretti, F. **“Design and Implementation of a LoRa Based Wireless Control for Drip Irrigation Systems”** 2<sup>nd</sup> International Conference on Robotics and Automation Engineering, 2017.

Zhao, W.; Lin, S.; Han, J.; Xu, R.; Hou, L. **“Design and Implementation of Smart Irrigation System Based on LoRa”** IEEE Globecom Workshops, Singapore, 4-9 December, 2017.