

**MARCOS ALBERTO BUSSAB**

**MODELAGEM AMBIENTAL DE UMA CASA DE VEGETAÇÃO  
UTILIZANDO REDE DE OSCILADORES DE VAN DER POL**

Tese apresentada à Escola Politécnica  
da Universidade de São Paulo para  
obtenção do Título de Doutor em  
Engenharia Elétrica.

**São Paulo  
2007**

**MARCOS ALBERTO BUSSAB**

**MODELAGEM AMBIENTAL DE UMA CASA DE VEGETAÇÃO  
UTILIZANDO REDE DE OSCILADORES DE VAN DER POL**

Tese apresentada à Escola Politécnica  
da Universidade de São Paulo para  
obtenção do Título de Doutor em  
Engenharia Elétrica.

Área de concentração:  
Sistemas digitais

Orientador:  
Prof. Dr. André Riyuiti Hirakawa

**São Paulo  
2007**



## FICHA CATALOGRÁFICA

**Bussab, Marcos Alberto**

**Modelagem ambiental de uma casa de vegetação utilizando rede de osciladores de Van Der Pol / M.A. Bussab. -- São Paulo, 2007.**

p.

**Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais.**

**1.Estufas 2.Variáveis ambientais internas (Modelagem) 3.Osciladores I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais II.t.**

## DEDICATÓRIA

*Dedico a minha família, em especial, a memória de meus pais Alberto e Amélia e a meu irmão Luiz Alberto.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. André Riyuiti Hirakawa, meu orientador, pelos conhecimentos, paciência, compreensão e sapiência no transcórre deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Luiz Henrique Alves Monteiro, que orientou meu mestrado e onde começou esta jornada.

Aos Prof. Dr. André Felipe Henriques Librantz, Prof. Dr. Cleber Gustavo Dias, Prof. Dr. Júlio César Dutra, Profa. Cristina Koyama e Prof. Sidnei Alves de Araújo pelo apoio pessoal e científico.

Ao João Israel Bernardo pela amizade constante, em especial, nos momentos mais difíceis desta etapa.

A todos os membros do Laboratório de Automação Agrícola do Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Ao Jim Hesson, pelo apoio nos textos em inglês.

A Rafaela Ono pelo apoio na formatação e revisão.

A todos que oram por mim, nesta empreitada.

## RESUMO

A automação agrícola tem se mostrado fator importante no desenvolvimento da produção nacional nas últimas décadas. A medição e controle das condições internas de casas de vegetação não são, muitas vezes, de fácil implementação e custo viável. Estudos e experiências nesta área procuram criar modelos que, utilizando-se de sistemas computacionais, estimem o comportamento de grandezas internas a uma casa de vegetação a partir da medida de grandezas externas. O objetivo deste trabalho é propor e avaliar a modelagem ambiental de uma casa de vegetação utilizando rede de osciladores de Van der Pol. A utilização de modelos confiáveis na previsão das condições internas de uma casa de vegetação é importante para melhorar a produtividade agrícola. A partir da literatura, foram levantados e estudados o modelo analítico e o modelo baseado em lógica nebulosa para a previsão da umidade relativa do ar e da temperatura interna da casa de vegetação. Um modelo baseado em rede neural multicamadas foi implementado como uma primeira alternativa. A substituição das funções de ativação comumente usadas neste tipo de modelo, pelas funções do oscilador de Van Der Pol, permite melhores resultados para processos não lineares e levou a uma satisfatória redução dos erros das estimativas, sem comprometer seu desempenho computacional. Os dados observados experimentalmente e estimados pelos modelos foram comparados a partir de critérios estatísticos. O erro relativo aos valores medidos para a grandeza temperatura variou entre 0,0% e 1,5%, enquanto o erro relativo aos valores medidos para a grandeza umidade relativa do ar variou entre 0,5% e 6,9%. O erro relativo aos valores medidos para ambas as grandezas apresentou um comportamento melhor do modelo proposto em relação aos modelos analíticos, baseado em lógica nebulosa e baseado em redes neurais. O desempenho computacional médio do modelo com osciladores de Van Der Pol, se comparado com o modelo baseado em redes neurais, considerando o número de iterações, degradou em 7,8%. Os resultados demonstram que

a modelagem utilizando rede de osciladores de Van der Pol é viável para a previsão de grandezas internas de uma casa de vegetação.



## ABSTRACT

Agricultural automation is an important area in the development of Brazilian production in recent years. Often, measurement and control of the internal conditions of greenhouses are not easy to implement at a reasonable cost. Researches in this area look for models using computational theory, foreseeing the behavior of internal variables of a greenhouse from the measurement of external variables. The objective of this work is to consider and evaluate the environmental modeling of a greenhouse using a Van der Pol oscillator network. The use of trustworthy models for forecasting internal conditions of a greenhouse is important for improving agricultural productivity. Some researches present an analytical and fuzzy model used to forecast the relative humidity and internal temperature of a greenhouse. As first approach, a model based on a multilayer neural network was implemented. The neural network activation functions change for a Van Der Pol oscillator can produce better results when modeling non-linear process, and in this case, reduced estimate errors without compromising its computational performance. The measured experimental data and the estimated data were compared with statistical criteria. The relative error for the measured values of temperature varied from 0.0% through 1.5%, while the relative error of the measured values for the relative humidity varied from 0.5% through 6.9%. The relative error for both measured variables presented better behavior for the model considered in relation to the analytic, fuzzy, and neural network models. The average computational performance of the model with Van Der Pol oscillators, when compared with the neural network model, considering the number of iterations decreased approximately 7.8%. The results demonstrate that modeling based on Van der Pol oscillators is viable for forecasting the internal variables of a greenhouse.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Foto ilustrativa de uma casa de vegetação .....	19
FIGURA 2: Exemplo de Neurônio Natural .....	21
FIGURA 3: Exemplo de Neurônio Artificial .....	22
FIGURA 4: Arquiteturas de redes neurais .....	31
FIGURA 5: Rede Hopfield com n elementos processadores .....	37
FIGURA 6: Rede de Hopfield com 8 estados possíveis .....	38
FIGURA 7: Estrutura de matriz para geração dos vetores de treinamento para a rede de Hopfield .....	39
FIGURA 8: Matriz para a geração do vetor de treinamento da rede de Hopfield – ‘L’ .....	39
FIGURA 9: Matriz para a geração do vetor de treinamento da rede de Hopfield – ‘T’ .....	39
FIGURA 10: Matriz para a geração do vetor de treinamento da rede de Hopfield – ‘+’ .....	39
FIGURA 11: Padrão apresentado a rede de Hopfield .....	40
FIGURA 12: Padrões e a função de energia típica de uma rede de Hopfield .....	42
FIGURA 13: Esquema do modelo nebuloso para a casa de vegetação .....	60
FIGURA 14: Comparação da umidade relativa do ar interna medida e estimada pelos métodos analítico e nebuloso .....	62
FIGURA 15: Comparação da temperatura interna medida e estimada pelos métodos analítico e nebuloso .....	63
FIGURA 16: Esquema simplificado da rede neural proposta .....	68
FIGURA 17: Interface gráfica do Neural Networks Toolbox do MATLAB ....	70
FIGURA 18: Frequência de pares de valores estimados iguais aos valores medianos para o modelo com rede neural .....	71
FIGURA 19: Frequência de pares de valores estimados iguais aos valores medianos para o modelo com oscilador de Van Der Pol .....	73
FIGURA 20: Comportamento do valor medido e do valor estimado pela rede neural para a umidade relativa do ar .....	77

## Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

