

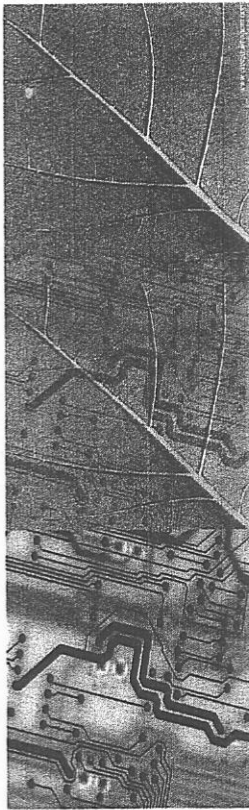
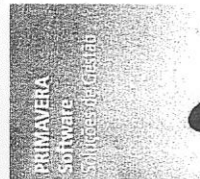
APOIOS



Instituto Superior de Agronomia



Centro Nacional de Exposições



AGRITIC 2004

**1º CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE TECNOLOGIAS DE
INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA AGRO-PECUÁRIA**

EDITORES

**Pedro Aguiar Pinto
Marcos Aurélio Lopes
Miguel de Castro Neto**



Agricultura Digital

Associação Portuguesa para o Desenvolvimento
das Tecnologias de Informação e Comunicação na Agricultura



**CNEMA, Santarém, Portugal
7 e 8 de Junho de 2004**

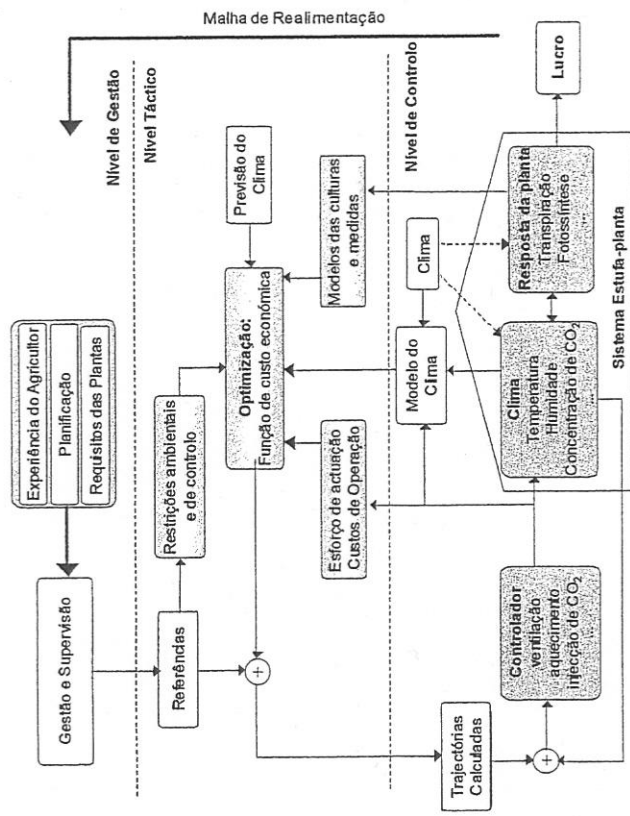


Figura 1 – Arquitectura genérica dum sistema de gestão e controlo ambiental óptimo dum estufa (baseado em Pohlheim and Heijner, 1997)

Como ilustrado nesta figura, existem várias decisões que devem ser tomadas em níveis hierárquicos e bases de tempo distintas, como sejam a planificação das culturas e o controlo ambiental da estufa. As decisões relativas aos processos lentos (como a definição dos requisitos das culturas e a planificação) são por norma executadas manualmente, pois existem limitações práticas que tornam estas tarefas muito difíceis de alcançar caso não haja uma intervenção directa do agricultor, Challa (1999) e Van Straten *et al.* (2000). Porém, o clima da estufa e o fornecimento de soluções óptimas que permitam obter a melhor relação entre a taxa de crescimento das plantas e a energia gasta na regulação das variáveis ambientais.

Deste modo, é necessário utilizar diversas ferramentas de software para pôr em prática esta estratégia de gestão e controlo ambiental de estufas, como por exemplo os modelos do clima da estufa. Neste artigo abordam-se duas metodologias para determinar modelos dinâmicos da temperatura do ar em estufas. Um método baseia-se na discretização das leis físicas envolvidas, ou seja na aproximação das leis termodinâmicas (que descrevem os vários fluxos de calor que ocorrem entre o ar da estufa e os componentes desta e entre o ar interior e o ar exterior) em equações às diferenças. No segundo método usa-se um modelo de rede neuronal.

As simulações da temperatura do ar e os despendimentos obtidos com os dois tipos de modelos são ilustrados para uma estufa automatizada da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. A estufa tem uma área coberta de 210m², cobertura em polietileno de 200µm e um sistema de aquisição de dados e controlo ambiental que regula e armazena as grandezas físicas de interesse com um intervalo de amostragem de 1min (Boaventura *et al.*, 1997). Os modelos foram determinados usando um conjunto de dados relativos ao período de 9 de Janeiro a 2 de Fevereiro de 1999, tendo sido testados e validados para o período de 3 a 19 de Fevereiro.

Modelos de simulação térmica para estufas

José Boaventura Cunha

CETAV-Centro de Estudos Tecnológicos do Ambiente e da Vida, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Dep. Engenharia, 5001-911 Vila Real, Portugal.
jboavent@utad.pt

P. B. de Moura Oliveira

CETAV-Centro de Estudos Tecnológicos do Ambiente e da Vida, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Dep. Engenharia, 5001-911 Vila Real, Portugal.
oliveira@utad.pt

J. Paulo Coelho

Instituto Politécnico de Bragança, Esc. Superior de Tecnologia e Gestão, 5301-654 Bragança, Portugal.
jcoelho@ipb.pt

Resumo

Neste artigo abordam-se duas metodologias de desenvolvimento e implementação de modelos dinâmicos da temperatura do ar em estufas para aplicação em sistemas de gestão e controlo ambiental. O estudo é restrito a modelos lineares baseados na discretização das leis físicas de transferência de calor e em modelos não lineares baseados em redes neuronais. Os modelos são descritos como funções do clima exterior e das acções de controlo ambiental exercidas. A implementação prática destes modelos é ilustrada para o caso de uma estufa automatizada da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Os dados usados para a concepção e validação dos modelos foram registados com um intervalo de amostragem de 1 minuto utilizando um sistema de aquisição de dados e controlo, baseado num computador pessoal. As conclusões deste trabalho são direccionadas para o estudo do desempenho dos modelos desenvolvidos, no que se refere às qualidades de simulação e de previsão, empregando como critérios de desempenho funções proporcionais ao somatório do quadrado dos erros.

Palavras chave: Modelos, Redes Neuronais, Controlo Ambiental de Estufas.

1. Introdução

Durante as duas últimas décadas a quantidade e a qualidade da produção de plantas em estufas aumentaram consideravelmente. Porém, devido às crescentes restrições ambientais e económicas urge promover a investigação e difusão de técnicas que permitam reduzir o consumo das energias primárias, em particular do gás e do gasóleo usados no aquecimento.

A utilização de sistemas de gestão e de controlo ambiental de estufas constitui um requisito necessário para que se consigam reduzir os custos de operação e aumentar a produtividade. Em termos gerais, estes sistemas deverão ter a arquitectura hierárquica ilustrada na figura 1. Aqui, os efeitos exercidos pelos factores ambientais sobre a produção são determinados segundo uma estratégia de optimização económica que, na sua forma básica, consiste na maximização dos lucros do produtor.

2. Modelo da temperatura do ar baseado nas leis físicas

Uma estufa é uma construção com cobertura transparente que gera uma modificação local do clima devido às alterações que provoca nos fenómenos radiativos e convectivos que têm lugar ao ar livre. Os principais processos físicos de transferência de calor e de massa que ocorrem numa estufa e entre esta e o ambiente que a rodeia, trocas radiativas e fluxos de calor e de vapor de água, estão esquematizados na figura 2.

Durante o dia a radiação solar constitui a principal entrada de calor na estufa. Esta, após ser absorvida pelas plantas, o solo, e outros corpos presentes no interior da estufa, dá origem aos processos de transferência de calor por convecção, condução e térmicos radiativos entre corpos e destes para o ar interior e exterior, para além de influenciar significativamente a transpiração das plantas. A temperatura do ar na estufa é directamente influenciada pelas transferências convectivas de calor que se processam de e para as plantas, solo, cobertura, tubos de aquecimento, entre outros, e pelas trocas de ar devidas às fugas e ventilação.

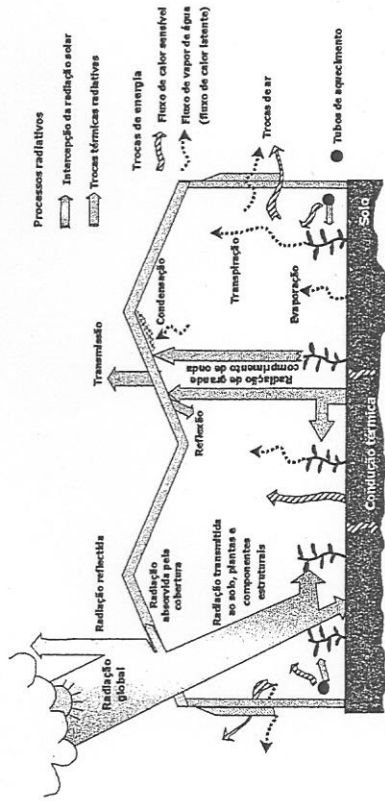


Figura 2 – Processos e fluxos de calor e de vapor de água entre os vários componentes da estufa e entre o ar interior e o ar exterior. (extraído de Bot, 1993)

No primeiro caso as trocas são induzidas pelas diferenças de temperatura entre os corpos e o ar e no segundo são determinadas pela renovação volumétrica do ar e pela diferença de temperatura interior e exterior. A humidade do ar é determinada pelas trocas de vapor de água que têm lugar entre as superfícies das folhas, do solo e o ar, pela condensação que ocorre na cobertura da estufa e pelas trocas directas de vapor de água através das aberturas presentes na cobertura (fugas e ventilação). Os dois primeiros processos são induzidos por diferenças de tensão de vapor entre as superfícies e o ar vizinho e o último pela renovação volumétrica do ar e pela diferença de concentração de vapor no interior e exterior.

Existem vários trabalhos publicados na área do clima de estufas que versam o modo pelo qual os fluxos de calor e de massa afectam as temperaturas e as concentrações de vapor de água e de dióxido de carbono no ar (Bouliard and Baile, 1993; Bot, 1993; Tantau, 1989). A equação que descreve o balanço energético num determinado volume pode ser expressa por:

$$\frac{dQ_h}{dt} = q_{in,h} - q_{out,h} + P_h \quad (1)$$

onde: Q_h [J] representa a energia armazenada no volume, $q_{in,h}$ [$J.s^{-1}$] e $q_{out,h}$ [$J.s^{-1}$] os fluxos de calor que entram e saem desse volume e P_h [$J.s^{-1}$] a energia gerada por unidade de tempo nesse volume.

A energia armazenada num volume está directamente relacionada com a temperatura (7) e a capacidade térmica $C_{th,h}$ [$J.^{\circ}C^{-1}$] deste.

$$Q_h = C_{th,h} \cdot T \quad (2)$$

Deste modo, a taxa de variação da temperatura no tempo é dada por:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{C_{th,h}} (q_{in,h} - q_{out,h} + P_h) \quad (3)$$

Apesar da forma relativamente simples desta equação não se deve esquecer o facto de que alguns dos fluxos de calor são governados por leis físicas complexas. Por exemplo, para se descrever o transporte de calor no solo, e admitindo que este é apenas induzido pelo gradiente de temperatura, seria necessário medir esta variável a várias profundidades e conhecer as propriedades térmicas do solo. Além disto, muitos dos parâmetros das equações que descrevem os diferentes fluxos de calor são dependentes do clima exterior e das características da estufa (propriedades ópticas da cobertura, entre outros) que, por serem variantes no tempo, tornam difícil a sua utilização em aplicações reais.

Conhecidas as condições iniciais e as relações entre os fluxos referidos e as variáveis relevantes ao clima da estufa, é possível determinar a temperatura do ar na estufa resolvendo a equação diferencial (3). Neste trabalho consideram-se apenas os processos de condução, difusão, convectivos e radiativos mais relevantes para descrever o comportamento dinâmico da temperatura do ar na estufa.

As entradas de controlo da temperatura do ar na estufa consistem no aquecimento, U_{aquec} e na ventilação, U_{vent} , que variam na gama de 0 a 100% da potência nominal do respectivo actuador. As entradas de perturbação mensuráveis são a radiação solar Rad [$W.m^{-2}$], a temperatura do ar exterior T_{ext} [$^{\circ}C$]. Assim, o modelo físico simplificado que descreve a dinâmica da temperatura do ar pode ser traduzido pela equação seguinte:

$$\frac{dT_{ext}}{dt} = \frac{1}{C_{exp,q}} (q_{aquec} - q_{c,v,r} + q_{rad} + q_{solo}) \quad [^{\circ}C.s^{-1}] \quad (4)$$

onde: T_{ext} é a temperatura do ar, $C_{exp,q}$ [$J.m^{-2}.^{\circ}C^{-1}$] é a capacidade calorífica do ar interior expresso por metro quadrado de solo, q_{aquec} [$W.m^{-2}$] é o fluxo de calor fornecido pelo sistema de aquecimento, $q_{c,v,r}$ [$W.m^{-2}$] o fluxo de calor perdido para o ar exterior devido à transmissão pela cobertura, à ventilação forçada e às fugas, q_{rad} [$W.m^{-2}$] o fluxo de calor proveniente da radiação solar e q_{solo} [$W.m^{-2}$] as trocas de calor entre o ar interior e o solo.

O fluxo de calor fornecido pelo sistema de aquecimento é descrito por:

$$q_{aquec} = C_p (T_{agua} - T_{ext}) \cdot U_{aquec} \quad (5)$$

onde: C_p [$W.m^{-2}.^{\circ}C^{-1}$] é o coeficiente da transferência de calor, expresso por metro quadrado de solo, T_{agua} é a temperatura da água do sistema de aquecimento.

A radiação de pequeno comprimento de onda proveniente do Sol constitui a principal fonte de entrada de calor na estufa durante o período diurno. O fluxo de calor que atravessa a cobertura e penetra na estufa q_{rad} [$W.m^{-2}$] está relacionado com a radiação solar Rad [$W.m^{-2}$] por:

$$q_{rad} = C_{rad} Rad \quad (6)$$

$$\hat{T}_{est}(k) = \frac{q_{total}}{C_{cap,q}} \times \Delta T + \hat{T}_{est}(k-1) \quad (11)$$

onde: k representa a amostra no instante de tempo $k\Delta T$, ΔT é o intervalo de amostragem, neste caso 60s, sendo q_{total} o fluxo total de calor dado por

$$q_{total} = q_{aprec}(k-1) - q_{c,v,r}(k-1) + q_{rad}(k-1) + q_{solis}(k-1) \text{ e } \hat{T}_{est} \text{ a temperatura do ar simulada.}$$

Os parâmetros dos modelos físicos da temperatura do ar, bem como os resultados de simulação são mostrados na secção de resultados. Alguns dos parâmetros referidos são constantes físicas e outros foram publicados por Goudriaan (1985) e De Jong (1990), tendo os restantes sido determinados usando um algoritmo de optimização que minimiza a soma dos erros quadráticos entre os valores medidos e os simulados.

Alguns dos parâmetros deste modelo são constantes físicas que foram obtidas do trabalho de De Jong (1990). Os parâmetros restantes foram determinados usando um algoritmo de optimização que minimiza a soma dos erros quadráticos entre os valores das temperaturas do ar medidos e simulados para o período de 9 de Janeiro a 2 de Fevereiro de 1999. Os parâmetros do modelo da temperatura do ar e os resultados de simulação obtidos são apresentados na secção 4.

3. Modelo da temperatura do ar baseado em redes neuronais

As redes neuronais artificiais (RNA) são colecções de modelos matemáticos que reproduzem algumas das propriedades dos sistemas nervosos biológicos. O elemento chave de uma RNA é a estrutura de processamento da informação. Este sistema é composto por um elevado número de elementos de processamento, análogos aos neurónios, que estão ligados entre si por conexões com pesos distintos, por analogia com as sinapses.

Existe uma grande variedade de topologias RNA, sendo as mais usadas as redes do tipo *feedforward*. Neste trabalho implementou-se uma rede MLP-*Multi-layer Perceptron network*, sendo usada a tangente hiperbólica para a função de activação das unidades de processamento, dado que este tipo de estruturas constitui um aproximador universal, Hornik et al. (1989), e como tal podem aproximar com precisão uma dada função f descrita por,

$$f(u) = \left(\sum_{j=1}^{N_h} v_{j,l} \tau \left(\sum_{i=1}^n w_{ji} \cdot u_i - \theta_j \right) - \theta_l \right), l = 1 \dots m \quad (12)$$

onde: τ é a função de activação, N_h o número de unidades da camada escondida, v_{jl} e w_{ji} são coeficientes de peso, θ_l são *offsets* (componente contínua) e u é o vector de dados.

Na figura 3 está ilustrada a topologia da rede neuronal usada, onde as variáveis de entrada consideradas são os sinais de comando de ventilação e de aquecimento e a radiação e temperatura exterior. Esta rede tem uma camada escondida com 4 neurónios e uma saída para previsão da temperatura do ar na estufa 1 passo à frente, ou seja no minuto seguinte, sendo a função de activação do último neurónio linear.

onde C_{rad} é um coeficiente que reflecte as propriedades ópticas e geométricas da cobertura, bem como a posição relativa do Sol.

Além deste fluxo de calor gerado pela radiação de pequeno comprimento de onda, existem na estufa fluxos de energia radiante, de grande comprimento de onda. Estes ocorrem entre o solo, plantas, cobertura, tubos de aquecimento e os outros componentes presentes no seu interior, entre esses corpos e o exterior e entre a cobertura e o exterior. O fluxo de energia radiante de uma superfície à temperatura T_1 para outra à temperatura T_2 é governado pela lei de Stefan-Boltzmann:

$$q_{rad,1,2} = \epsilon_{1,2} \sigma (T_1^4 - T_2^4) \quad (7)$$

onde $\epsilon_{1,2}$ representa a emissividade efectiva entre as superfícies que é função da emissividade e da geometria de cada uma destas e σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($5,6699 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$).

Geralmente as trocas directas de energia radiante entre os corpos presentes no interior da estufa e o espaço exterior podem ser desprezadas face às outras. Isto deve-se ao facto da estufa possuir uma cobertura em polietileno onde há frequentemente a formação dum filme de água de condensação que modifica as suas propriedades radiométricas tornando-a praticamente opaca à radiação de grande comprimento de onda Nijkens et al. (1985). Para determinar o fluxo radiativo entre a cobertura e o exterior é necessário conhecer, além da temperatura da cobertura, a temperatura aparente da atmosfera. Seguindo um estudo efectuado em diversos locais por Monteith (1973), a temperatura aparente da atmosfera, na condição de céu limpo, T_{env} [°C] pode ser estimada em função da temperatura do ar à altura da cobertura T_{ar} [°C] usando a equação 8. Para dias nebulosos a diferença entre as duas temperaturas é da ordem dos 2 °C.

$$T_{env} = (T_{ar} - 2) + 0,2T_{ar} \quad (8)$$

Neste trabalho não se consideram estas perdas por não se dispor da medida da temperatura da cobertura. Além disto, como a estufa possui cobertura de duplo polietileno e cortina térmica é de esperar que as perdas de calor devidas a este mecanismo possam ser desprezadas face ao fluxo de energia perdido para o ar exterior, $q_{c,v,r}$, devido à transmissão pela cobertura, à ventilação forçada e às fugas.

O fluxo de calor entre o ar e o solo da estufa é dado por:

$$q_{solo} = C_{solo} \cdot (T_{solo} - T_{ext}) \quad (9)$$

sendo C_{solo} [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$] o coeficiente da transferência de calor do solo expresso por metro quadrado de solo e T_{solo} é a temperatura do solo medida a 1cm de profundidade.

As perdas de calor para o exterior são determinadas pela equação seguinte,

$$q_{c,v,r} = (\Phi_{vent} C_{exp,c} + C_{c,f}) \cdot (T_{ext} - T_{ext}) \quad (10)$$

onde: $C_{c,f}$ [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$] é o coeficiente de transferência de calor devido às perdas através da cobertura, $C_{exp,c}$ [$\text{J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{°C}^{-1}$] é a capacidade calorífica do ar por unidade de volume de ar e $\Phi_{vent} = C_{vent} \cdot U_{vent} \cdot C_{perdas}$ [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] designa o fluxo de ar gerado pelo sistema de ventilação ($C_{vent} \cdot U_{vent}$) e pelas trocas de ar entre o interior e o exterior da estufa (C_{perdas}) através de aberturas ou brechas. Note-se que $C_{exp,c} = \rho_{ar} \cdot C_{exp,c,p}$, sendo $\rho_{ar} = 1,29 \text{ kg m}^{-3}$ a densidade do ar e $C_{exp,c,p} = 1000 \text{ Jm}^{-3} \cdot \text{°C}^{-1}$ a capacidade calorífica do ar a pressão constante.

Tendo em consideração os processos físicos descritos, aproximou-se o modelo físico descrito na equação 4 pela seguinte equação às diferenças:

Tabela 2 – Desempenho dos modelos para os dados de estimação e de validação.

Modelo	MSE (9/1 a 2/2/99)		MSE (3/2 a 9/2/99)	
	Estimação	Validação	Estimação	Validação
Linear	2,04	3,81		
Rede Neuronal	1,95	3,78		

Na figura 4 mostram-se as respostas dos dois modelos e a curva da temperatura do ar medida para dois dias do período de validação. Os resultados da tabela 2 e este gráfico permitem concluir que a dinâmica da temperatura do ar da estufa é descrita de modo satisfatório e similar por ambos os modelos. Note-se que em ambos os casos as simulações são efectuadas em malha aberta e que por conseguinte não é realizada a realimentação com os valores reais da temperatura à entrada do modelo.

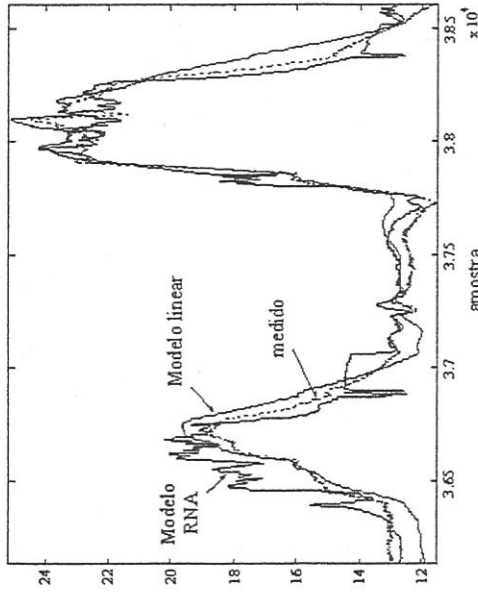


Figura 4 – Temperaturas do ar medidas e simuladas para dois dias dos dados de validação.

5. Referências

Boaventura Cunha, J., Couto, C., Ruano, A.E.B. (1997) Real-time parameter estimation of dynamic temperature models for greenhouse environmental control. *Control Engineering Practice*, Vol. 5, No. 10, pp. 1473-1481.

Bot, G.P.A. (1993) Physical modelling of greenhouse climate. *The computerized greenhouse*, Academic Press Inc., 1993, pp. 51-73.

Boulard, T. and A. Baille (1993) A simple greenhouse climate control model incorporating effects on ventilation and evaporative cooling. *Agricultural and Forest Meteorology*, 65, pp.145-157.

Challa H. (1999) Integration of explanatory and empirical crop models for greenhouse management support. *Proc. of Models-Plant Growth, Acta Hort.* 507, pp:107-115.

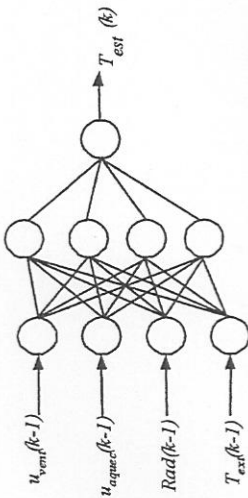


Figura 3 – Topologia da rede neuronal implementada.

A função não linear f foi estimada empregando o algoritmo de otimização designado por Lavenberg-Marquardt sobre os mesmos dados considerados na secção anterior. Este algoritmo constitui o método standard de minimização do valor médio dos quadrados dos erros entre os valores medidos e os simulados, devido às suas propriedades de convergência e de robustez, Marquardt (1963). A inicialização dos pesos foi efectuada de acordo com a técnica de Nguyen and Widrow (1990), sendo usada uma técnica de decaimento dos pesos para forçar as suas amplitudes a assumir valores baixos mediante a adição de um termo extra de regularização à expressão do erro quadrático médio (Principe *et al.*, 2000).

4. Resultados e Conclusões

Os parâmetros determinados para o modelo linear da temperatura do ar (Eq. 11) são apresentados na tabela 1. O desempenho dos modelos linear e do baseado na rede neuronal são apresentados na tabela 2, tendo-se usado como critério o valor médio dos quadrados dos erros, MSE, para os dados de estimação e de validação,

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (T_{est}(k) - \hat{T}_{est}(k))^2 \tag{13}$$

sendo N o número de amostras consideradas.

Tabela 1 – Parâmetros do modelo da temperatura do ar na estufa.

Parâmetro	Valor
$C_{exp,q}$	31977 J m ⁻² °C ⁻¹
C_p	1,206 W m ⁻² °C ⁻¹
C_{rad}	0,61
C_{solo}	3,1 W m ⁻² °C ⁻¹
$C_{exp,c}$	1290 J m ⁻³ °C ⁻¹
$C_{c,v,f}$	3,80 W m ⁻² °C ⁻¹
C_{vent}	0,0113 m s ⁻¹
$C_{parâms}$	1,5x10 ⁻⁴ m s ⁻¹

Ferramentas utilizadas na avaliação de impactos das alterações climáticas na agricultura portuguesa

Pedro Aguiar Pinto
Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, Portugal
e-mail: papinto@isa.utl.pt

Ana Paiva Brandão
Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, Portugal
e-mail: anabb@isa.utl.pt

Ricardo Braga
Escola Superior Agrária de Elvas, Elvas, Portugal
e-mail: ricardo_braga@eseelvas.pt

Miguel Tristany
Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, Portugal
e-mail: mtristany@isa.utl.pt

Resumo

A avaliação dos impactos das alterações climáticas no sector agrícola exigiu a utilização de um determinado conjunto de ferramentas baseadas fundamentalmente no manuseamento de dados. Nesta estudo de impactos recorreu-se aos modelos de simulação da produtividade das culturas, incluídos na colecção DSSAT 4.0. O desenvolvimento e/ou utilização de algumas ferramentas tornou possível e eficiente o uso destes modelos, sobretudo relativamente aos dados de entrada exigidos e aos resultados das simulações. Os modelos de simulação geram resultados que se encontram armazenados em ficheiros de texto, não sendo esta a forma mais conveniente para o tratamento da informação. Assim sendo, desenvolveu-se uma aplicação capaz de introduzir os resultados numa base de dados, permitindo a visualização dos mesmos no sistema de informação geográfica. A cultura do trigo foi a escolhida para ilustrar as ferramentas utilizadas. Os impactos foram quantificados pela diferença entre a produtividade obtida num cenário futuro de alteração climática e nas condições actuais. Hoje em dia é possível estimar os impactos na agricultura num cenário futuro de alteração climática, apesar das limitações inerentes à metodologia seguida em estudos desta natureza.

Palavras chave: alterações climáticas; DSSAT; HadRM; sistemas de informação geográfica (SIG), funções de pedo-transferência (PTF-s).

1. Introdução

O aumento de temperatura registado no sec. XX é em parte atribuído às emissões antropogénicas de gases de efeito estufa. As alterações climáticas propiciam potenciais impactos numa grande variedade de ecossistemas, nomeadamente nos sistemas agrícolas. Em Portugal, o projecto SIAM – Climate Change in Portugal: Scenarios, Impacts and Adaptation Measures – foi o primeiro projecto dedicado ao estudo das alterações climáticas (Santos *et al.*, 2002). A avaliação dos potenciais impactos no sector agrícola continental português baseou-se no uso de modelos de simulação de culturas.

Poucas alternativas exploratórias existem a esta metodologia já que levar a cabo ensaios de campo com alteração de temperatura e de concentração de CO₂ é bastante dispendioso

- De Jong (1990) Natural Ventilation of large multi-span greenhouses. Ph.D. Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen.
- Goudriaan J., van Laar H. H., van Keulen H. and Louwse W. (1985). Photosynthesis, CO₂ and plant production, Wheat growth and modelling, NATO Asi Series A, Vol. 86. Plenum Press, New York, pp. 107-122.
- Hornik K., Stinchcombe M., White H. (1989) Multi-Layer Feedforward Networks are Universal Approximators. *Neural Networks* 2, 359-366.
- Marquardt, D., (1963) An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters, *SIAM J. Appl. Math.* 11, pp. 164-168.
- Monteith, J.L., (1973) *Principles of environmental physics*. Comtemporary Biology Series, Edward Arnold, London, 1973, 241 pp.
- Nijkens J. D., Deltour, J., Coutisse, S., Nisen A. (1985) Condensation effect on heat transfer through greenhouse claddings: glass and polyethylene. *Acta Horticulturae*, 174, pp:135-138.
- Nguyen D., Widrow B. (1990). Improving the Learning Speed of a 2-layer neural networks by choosing initial values of the adaptive weights. *Int. Joint Conf. Neural Networks, Proceedings III*, 2063-2068.
- Pohlheim, H., Heifner, A. (1997) Optimal Control of Greenhouse Climate using Evolutionary Algorithms. *International Scientific Colloquium, Germany*, pp:6.
- Principe J., Euliano N., Lefebvre W. (2000) Neural and Adaptive Systems. John Wiley and Sons, pp. 209.
- Tantau, H.J., (1989) Models for greenhouse climate control, *acta Horticulturae*, vol. 245, 1989, pp. 397-404.
- Van Straten, H., Challa, F. Buwalda (2000) Towards user accepted optimal control of greenhouse climate. *Computers and Electronics in Agriculture* vol. 26, pp:221-238.