



## FERRAMENTA COMPUTACIONAL INTELIGENTE PARA A GESTÃO DO USO DE RECURSOS HÍDRICOS E INSUMOS NA PRODUÇÃO AGRÍCOLA

Área temática: Gestão Ambiental e Sustentabilidade

**Jose Airton Cavalcante Junior**

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

**Angel Ramon Sanchez Delgado**

[asanchez@ufrj.br](mailto:asanchez@ufrj.br)

**Maria Claudia Rodriguez**

[m\\_c\\_rodriguez@yahoo.com](mailto:m_c_rodriguez@yahoo.com)

**Jose Antonio Carlos Canedo**

[canedo@lmp.ufrj.br](mailto:canedo@lmp.ufrj.br)

**Resumo:** *Com este trabalho objetivou-se desenvolver um modelo computacional inteligente denominado INTELIAGRI para ser aplicado ao agronegócio. Seu objetivo é otimizar o uso de água utilizada na irrigação e insumos na agricultura. Ele faz uso de uma rede neuronal artificial para determinar a produtividade de uma cultura em relação aos insumos utilizados, e de um algoritmo genético para a maximização da receita líquida com recursos limitados. Procurando-se fazer uma avaliação do modelo, realizamos uma experiência numérica com base nos dados apresentados na literatura para as culturas alface americana e meloeiro. Comparando os resultados obtidos com os apresentados de forma analítica, pode-se concluir que a ferramenta apresentada constitui uma alternativa confiável na tomada de decisões econômicas.*

**Palavras-chaves:** *Inteligência artificial, Função resposta, Agronegócio, Irrigação, Dose de nitrogênio.*

## INTRODUÇÃO

A importância da agricultura para a subsistência humana é inquestionável, entretanto os impactos nocivos ao meio ambiente causados pela agropecuária, amplificados nas últimas décadas com o aumento da população mundial, apontam para a necessidade de uma resposta efetiva que contemple as preocupações com a sustentabilidade e favoreça a gestão dos empreendimentos agrícolas, sem poluir ou desperdiçar recursos hídricos, cada vez mais escassos. A preservação dos recursos naturais, mais especificamente da água, não é incompatível com o agronegócio, e assume um papel estratégico não somente para geração de renda para os produtores rurais e o fortalecimento do agronegócio nacional impactando positivamente na balança comercial do país, mas também para a manutenção da vida no planeta (CAVALCANTE JUNIOR, 2013, p.1).

Este artigo apresenta um modelo computacional inteligente voltado para a gestão do uso adequado da água na irrigação, que pode auxiliar pequenos e médios produtores no planejamento agrícola. Este trabalho é fruto de pesquisas sobre a construção de modelos e simulação numérica de sistemas agroecológicos destinados a proteção do ambiente, desenvolvidos por programa de pós-graduação binacional<sup>1</sup> de caráter multidisciplinar. A preocupação com a preservação dos recursos hídricos e sua utilização racional na agricultura, entendida como política que objetiva a conscientização e o melhor uso da água, certamente exige mudanças culturais da população. Nesse sentido o desenvolvimento de pesquisas que elaborem ferramentas de gestão visando ‘a redução de consumo e preservação’ dos recursos hídricos, ‘considerando os aspectos sociais e ecológicos da região, procurando maximizar a produtividade e a eficiência’ do uso da água e a ‘minimização dos custos’, sem descuidar das diversas variáveis envolvidas neste processo, reveste-se de importância capital (CAVALCANTE JUNIOR, 2013, p.1).

---

<sup>1</sup> Doutorado em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária, programa binacional desenvolvido na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Brasil, e na Universidad Nacional de Rio Cuarto (UNRC), na Argentina.



Para o desenvolvimento da ferramenta descrita neste trabalho recorreremos a aplicação de diferentes técnicas matemáticas e computacionais (otimização, equações diferenciais e estatística) na distribuição e uso adequado dos recursos naturais água e solo. As relações existentes entre a produtividade e os fatores de produção são designadas pelo termo função produção ou resposta, sendo definida como a relação física entre quantidades utilizadas de certo conjunto de insumos e as quantidades físicas máximas que se podem obter do produto, para uma dada tecnologia conhecida.

Cada cultura tem sua função “produção-insumos”, que é a resposta à utilização de determinados insumos necessários para seu desenvolvimento (por exemplo; água e nitrogênio), sendo esta resposta variável de acordo com cada tipo de cultura, solo e clima. O seu conhecimento permite-nos saber quanto de água e nitrogênio utilizar para a produção demandada. Esta informação é fundamental para o agricultor, pois reduz seus custos e maximiza a produção.

O emprego das funções respostas à produção e receita líquida na análise dos resultados de experiências agrícolas é bastante difundido (Pereira et al, 2003, Frizzone et al., 2005, Monteiro et.al., 2006, Peixoto et.al., 2007, Marques Silva et.al., 2008, Carvalho et al., 2009, Dos Santos, J. L. C. et al., 2014, Delgado A. R. S. et al., 2014). Em geral, o problema é encontrar uma solução ótima da combinação insumo-produto, que maximize a produção e a receita líquida separadamente, sujeita às restrições de recursos pré-fixadas e a uma estrutura de custos e preços dada. Vamos supor que o benefício é proporcional ao preço da cultura vezes a produção em função da lâmina de água e do nitrogênio. Nesse caso, a receita líquida é o benefício menos o custo da água vezes a lâmina de água, menos o custo do nitrogênio vezes a correspondente dose, e o problema a ser tratado é a maximização da receita líquida com insumos (água-nitrogênio) limitados.

A água e o nitrogênio são fundamentais para o desenvolvimento das culturas, e quando são correlacionadas com a produção obtida, tem-se a função de produção água-nitrogênio-cultura. Se estas funções fossem conhecidas com precisão, seria possível selecionar com exatidão o nível ótimo de água e nitrogênio para uma situação em particular; mas tais funções estão restritas a grandes variações dificultando as previsões. Variações climáticas, atributos físicos do solo, uniformidade de distribuição da água pelo sistema de irrigação e muitos outros fatores, tornam difícil prever a produtividade das culturas. Na prática se



geram regressões lineares para representar “boas aproximações” das funções de produção. A qualidade do ajustamento, que indica a proporção de variação da função é indicada por uma unidade descritiva conhecida como coeficiente de determinação ( $r^2$ ).

O manejo adequado da água é fundamental, considerando que o setor agrícola é o maior consumidor de água e que os recursos hídricos são essenciais e estratégicos no desenvolvimento da agricultura. Segundo Figueiredo, et al. (2008), uma mudança fundamental deverá ocorrer nas práticas da irrigação nos próximos anos, em decorrência das pressões econômicas sobre os agricultores, da crescente competição pelo uso dos recursos e dos impactos ambientais da irrigação. Eles acham que tais fatores deverão motivar uma mudança do paradigma da irrigação, enfocando-se mais a eficiência econômica do que a demanda de água das culturas. Considerando que na atualidade os custos de adubação nitrogenada; especificamente nitrogênio (N), são cada vez mais variáveis e que a demanda no Brasil cresce a cada dia, é necessário que sejam respeitadas as questões ambientais referentes à preservação dos solos, como peça fundamental para uma agricultura sustentável.

Neste artigo apresentamos um modelo computacional inteligente denominado INTELIAGRI que maximiza a produção e a receita líquida (separadamente) em função da água e do nitrogênio, dentro de uma caixa bidimensional de restrições e baseado na construção de uma rede neuronal artificial (RNA) para determinar a produtividade de uma cultura em relação aos insumos utilizados, e de um algoritmo genético (AG) para a maximização da receita líquida com recursos limitados.

As redes neurais artificiais são modelos de processamento computacional cujo princípio de funcionamento se baseia na forma com que os neurônios e suas associações com outros neurônios funcionam no cérebro humano (Braga et al., 2007, Liden, 2008). É uma forma de computação não algorítmica derivada de modelos matemáticos que tenta simular o funcionamento de neurônios biológicos (Coppin et al., 2012).

Os algoritmos genéticos (GAs) são métodos de otimização adaptativos inspirados nas idéias de Darwin sobre a seleção natural das espécies (Holland, 1975), e tem sido aplicado com sucesso na otimização de problemas complexos dos quais geralmente se tem pouca informação a priori, como por exemplo na minimização de problemas de programação polinomial e de otimização combinatória (Goldberg, 1989 e Michalewicz, 1999).

## MATERIAL E MÉTODOS

As redes neurais artificiais (RNA) são construídas a partir da interligação de um grande número de neurônio em que os neurônios podem ser organizados em uma ou mais camadas. As redes neurais artificiais são classificadas em função da forma de conexão dos neurônios. Neste trabalho consideramos redes com alimentação para frente (feed-forward). Nestas redes, os neurônios são organizados em camadas e o sinal de entrada é propagado passando sucessivamente por todas as camadas até atingir a camada de saída produzindo um sinal de saída. Usamos redes de base radial (RBF) conforme mostrado na figura 1.

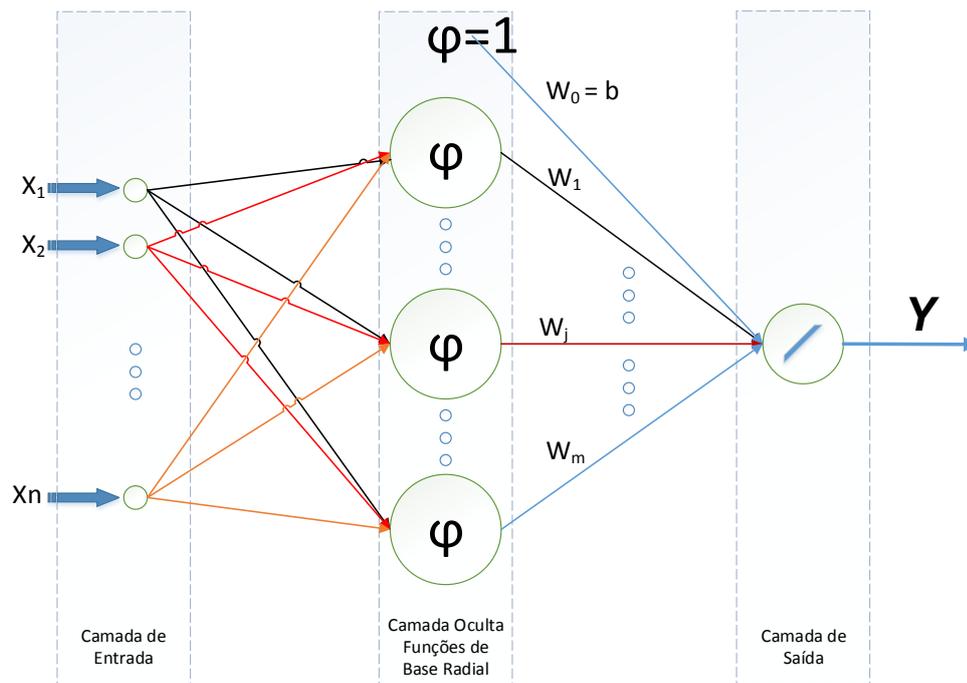


Figura 1 - Rede de Base Radial

A camada de entrada tem a função de receber os dados e repassá-los a todos os nós da camada oculta. A camada oculta é responsável por fazer uma transformação não-linear do espaço de entrada enviando-os para a camada de saída. A dimensão do espaço oculto está relacionada com a capacidade da rede de aproximar um mapeamento entrada-saída; ou seja, quanto mais alta for a dimensão do espaço oculto, mais precisa será a aproximação.

Finalmente a camada de saída, que é linear, produz como resposta da rede, uma combinação linear dos valores produzidos pela camada oculta.

O INTELIAGRI é um modelo baseado em redes neurais artificiais e algoritmos genéticos cujo diagrama de blocos está representado na figura 2.

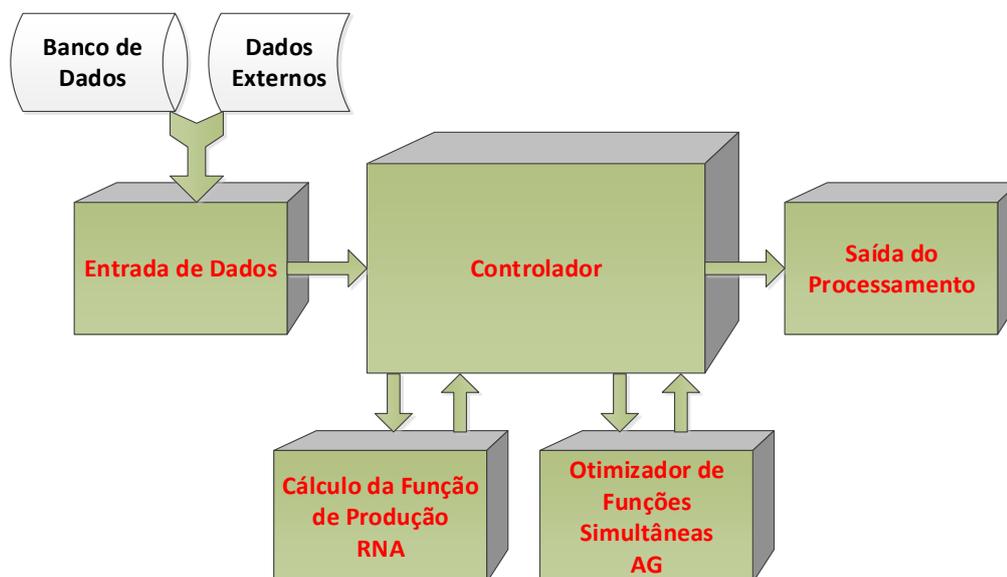


Figura 2 - Diagrama em blocos do INTELIAGRI

Para a rede resolver um problema de ajuste de curva em um espaço de alta dimensionalidade, “aprender” é equivalente a encontrar uma superfície em um espaço multidimensional que forneça o melhor ajuste para os dados de treinamento, observando que esta medida é feita em um sentido estatístico (interpolação de dados), neste objetivo usamos as redes neurais.

A outra técnica de inteligência artificial utilizada neste trabalho, são os algoritmos genéticos (AG), serão usados para a maximização da receita líquida em função da água e o nitrogênio. Esta é uma técnica de otimização que irá buscar o ponto ótimo da função de produção (máximo ou mínimo); o resultado obtido é uma boa solução aproximada, isto é, com um erro baixo ou aceitável.

Os algoritmos genéticos fazem parte de conjunto de técnicas conhecidas como algoritmos evolucionários, sendo uma técnica de otimização inteligente baseada na

metáfora do processo biológico da evolução natural (genética e seleção natural), são algoritmos estocásticos (probabilísticos), tanto na fase de inicialização da população quanto na fase de evolução (durante a seleção dos pais principalmente). Embora chamados de algoritmos, na verdade são heurísticas que não asseguram a obtenção do melhor resultado possível em todas as suas execuções, isto é, se não for o próprio ponto de ótimo estará na sua vizinhança (Linden, 2008).

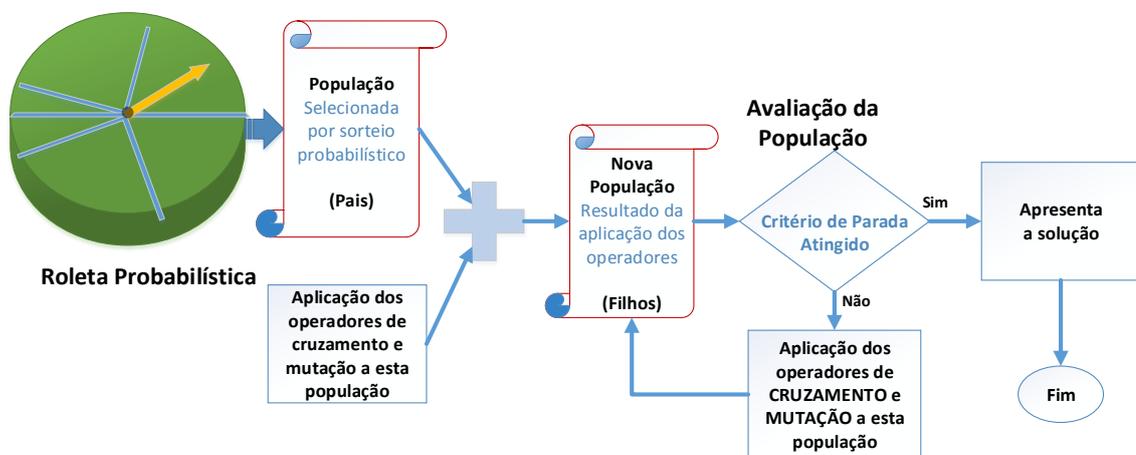


Figura 3 - Esquema de funcionamento de um AG básico

O algoritmo genético trabalha avaliando um conjunto de possíveis soluções simultaneamente (em paralelo), que chamamos de população; cada indivíduo que compõe a população é uma solução candidata e cada indivíduo tem um valor associado a ele que chamamos de *fitness* ou aptidão (um valor ou nota); que serve para medir a capacidade daquele indivíduo de resolver um determinado problema. Os operadores genéticos são aplicados sobre a população de tal modo que os mais aptos terão mais chance de sobreviver para constituir uma nova população (Goldberg, 1989).

Para testar o INTELIAGRI, foram selecionadas as culturas alface americana (Marques Silva et.al. 2008) (equação 1) e meloeiro (Monteiro et.al. 2007) (equação 2).

$$y(w,n) = -12.490 + 388,1w - 6,02n - 1,042w^2 - 0,04563n^2 + 0,1564wn \quad (1)$$

Onde:  $y(w,n)$  = Produtividade da alface americana em  $\text{kg.ha}^{-1}$ ;  $r^2 = 0,8311$ .

$w$  = Lâmina de água, em mm;

$n$  = Dose de nitrogênio, em  $\text{kg.ha}^{-1}$



em que o domínio de  $w$  e  $n$  está restrito à caixa bidimensional  $[0, 250] \times [100, 240]$ .

e:

$$y(w,n) = 34,16737n + 70,77509w - 0,05781w^2 - 0,07612n^2 \quad (2)$$

Onde:  $y(w,n)$  = produtividade de meloeiro em  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ;  $r^2 = 0,9962$ .

em que o domínio de  $w$  e  $n$  está restrito à caixa bidimensional  $:[0, 700] \times [0, 350]$ .

O preço adotado para alface americana foi de R\$ 0,80  $\text{kg}^{-1}$ . O custo para água de R\$ 0,44  $\text{mm} \cdot \text{ha}^{-1}$  e para nitrogênio R\$2,09  $\text{kg}^{-1}$ . Já para o melão foi calculado um preço de R\$ 0,40  $\text{kg}^{-1}$  e de R\$ 0,134  $\text{mm} \cdot \text{ha}^{-1}$  para água. Na época, o preço do nitrogênio era R\$ 2,33  $\text{kg}^{-1}$ . Note que o coeficiente de determinação ( $r^2$ ) da alface americana indica que 83,11% da variação do rendimento em função dos níveis de água e nitrogênio podem ser explicadas pela eq. 1. Analogamente para a cultura do melão, a eq. 2, indica 99,62% de ajuste.

Segundo Frizzzone, a agricultura irrigada frequentemente se defronta com funções de produção não lineares, indicando a obtenção de retornos decrescentes ao fator variável, e essas funções podem ser tratadas por aproximações lineares e a otimização pode ser feita utilizando-se a técnica de programação separável (PS). Essa abordagem permite transformar um problema de programação não linear em um problema de programação linear, possível de ser resolvido usando o conhecido método SIMPLEX (Frizzzone et al., 2005). Na busca de técnicas não convencionais na otimização agrícola que trabalhem diretamente com a função objetivo (evitando, por exemplo, linearização por partes); Carvalho et al., 2009, Delgado & Ventura, 2014 apresentaram procedimentos baseados no método barreira logarítmico (MBL).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentamos, a seguir, os resultados obtidos pelo INTELIAGRI que serão confrontados com o resultado obtido pelo método que utiliza programação separável (PS) (Marques e Monteiro, 2006 e 2008) e com o resultado obtido pelo Método de Barreira Logarítmica – MBL (Delgado e Ventura, 2014), na otimização dos insumos – água e nitrogênio, nas culturas da alface americana e do meloeiro.

No módulo RNA do INTELIAGRI, os dados utilizados serviram para traçar a função de produção das culturas em relação aos insumos de água e nitrogênio.

A figura 4 apresenta três gráficos que correspondem respectivamente: (a) dados de produção experimental (Marques Silva, 2008), (b) curva de produção para a alface americana obtida computacionalmente pelo INTELIAGRI, e (c) mostra o erro entre os dados de produção e a função de produção.

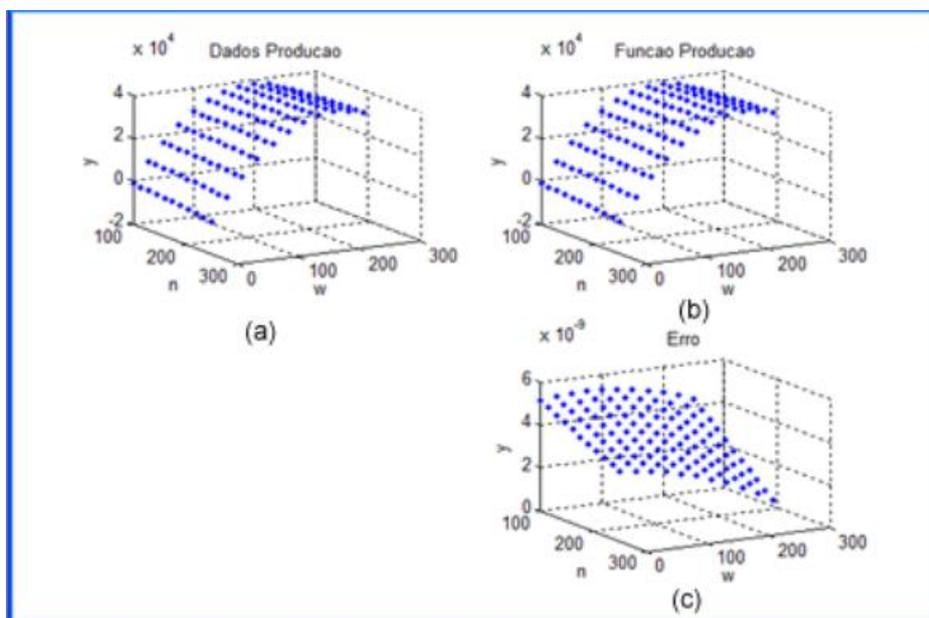


Figura 4 - Função de Produção da Alface Americana – (a) original, (b) obtida computacionalmente e (c) erro

Para maximização da receita líquida na produção da cultura alface americana, o INTELIAGRI obteve um valor da produtividade máxima de 26.903 kg. ha<sup>-1</sup>, com 199,55 mm.ha<sup>-1</sup> de água e 234,96 kg. ha<sup>-1</sup> de nitrogênio e receita líquida de R\$ 20.931 por hectare com 203,98 mm.ha<sup>-1</sup> de água e 240 kg. ha<sup>-1</sup> de nitrogênio (ver Figura 6). Os resultados são

compatíveis com os obtidos em Marques Silva et.al. (2008), onde foi registrada uma produtividade de 26.959,93 kg. ha<sup>-1</sup> com 205,26 mm de água e 257,14 kg. ha<sup>-1</sup> de nitrogênio.

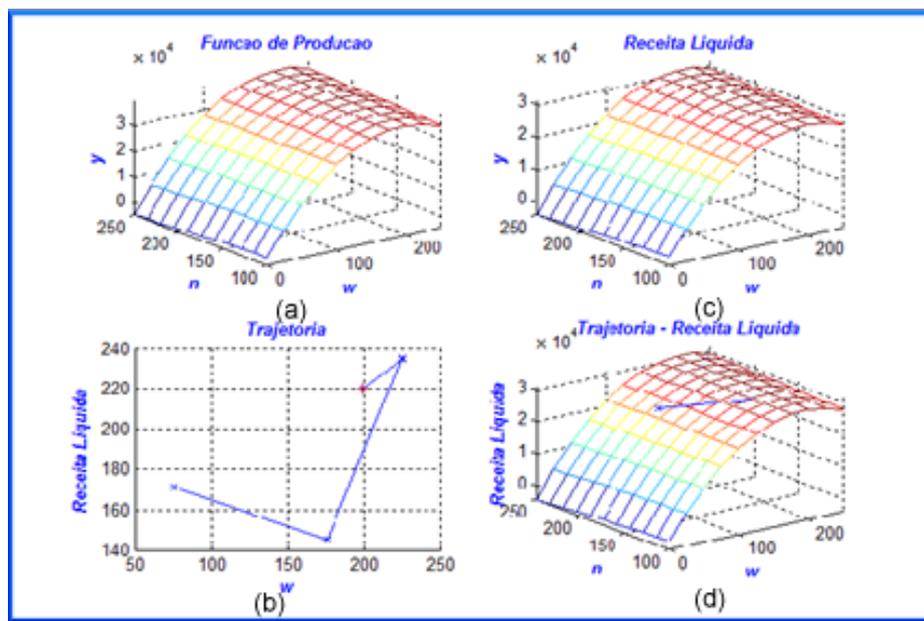


Figura 5 - Resultados do AG na otimização da receita líquida da cultura de alface americana (a) Função de produção; (b) Trajetória de otimização do AG; (c) Função receita líquida e (d) Trajetória do AG para máxima receita líquida.

A seguir na tabela 1, apresentamos um comparativo entre os valores obtidos (Lâmina de Água e Dose de Nitrogênio) com os métodos.

Tabela 1: Comparativo entre métodos para a alface americana.

	INTELIAGRI	MBL	OS
Água (mm.ha <sup>-1</sup> )	199,55	204,99	205,26
Nitrogênio (Kg.ha <sup>-1</sup> )	234,96	249,99	257,14
Água e Nitrogênio	-	2,72 % e 6,40 %	2,86 % e 9,44 %

Na última linha da tabela tem-se o comparativo entre INTELIAGRI e os dois outros modelos, em termos percentuais, para a lâmina de água e dose de nitrogênio, respectivamente. Note-se que os valores encontrados são próximos nos três modelos, mantendo uma equivalência nos resultados, como era de se esperar.

Da mesma forma que no caso da alface americana, foi feita a análise dos resultados obtidos com a aplicação do INTELIAGRI para o meloeiro. A figura 6 a seguir apresenta a



tela do INTELIGRI, no treinamento de uma RNA mostrando a curva de aprendizado da RNA para o meloeiro, a qual é bastante similar à da alface americana, por isto foi apresentada apenas um gráfico.

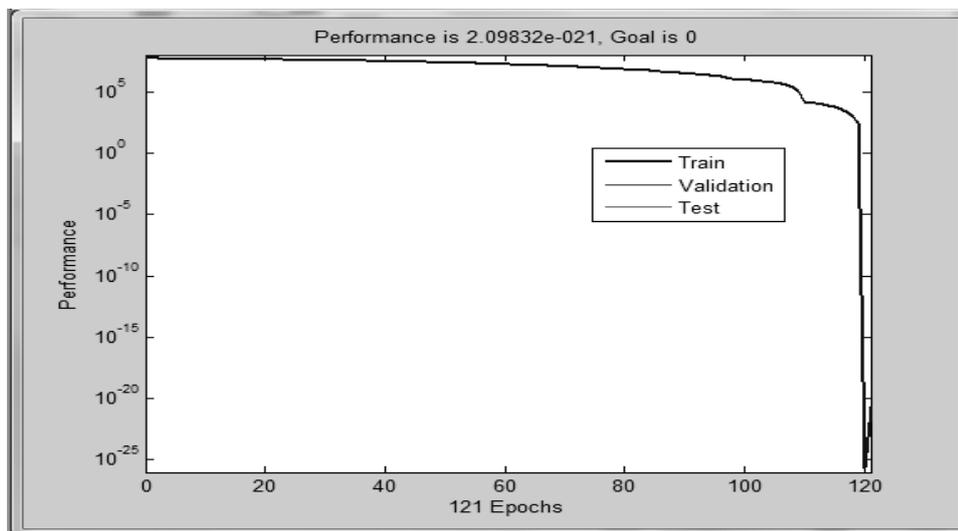


Figura 6 - Treinamento de uma RNA – Curva de aprendizagem da RNA para o Meloeiro.

A figura 7 apresenta três gráficos que correspondem respectivamente: (a) dados de produção experimental (Marques Silva, 2008), (b) curva de produção para o meloeiro obtida computacionalmente pelo INTELIGRI, e (c) mostra o erro entre os dados de produção e a função de produção.

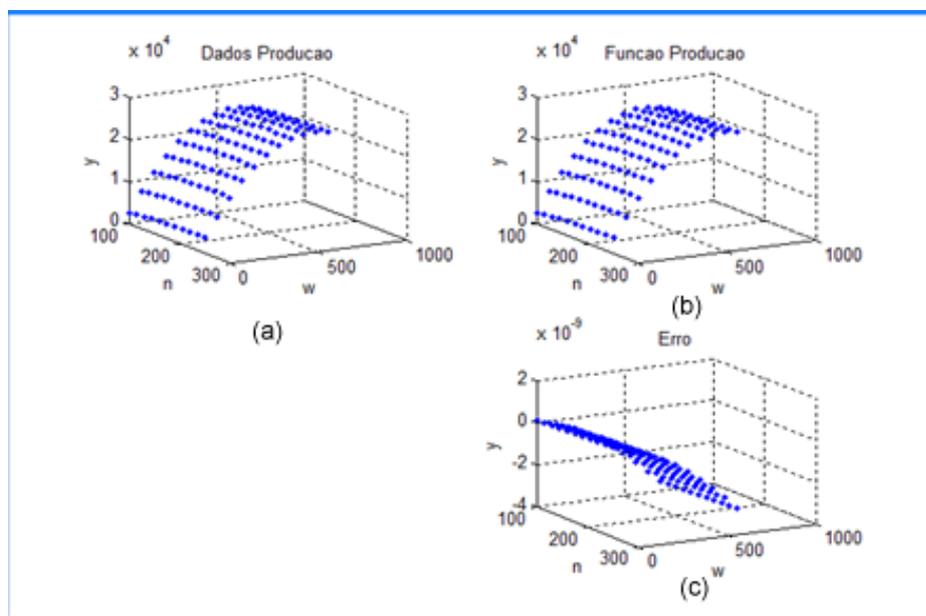


Figura 7 - Função de Produção do Meloeiro – (a) original, (b) obtida computacionalmente e (c) erro

Para maximização da receita líquida para a produção do Meloeiro, o INTELIAGRI obteve um valor da produtividade máxima.  $25.467 \text{ ha}^{-1}$  e uma receita líquida de R\$  $9.546,96 \text{ ha}^{-1}$  com  $630,11 \text{ mm} \cdot \text{ha}^{-1}$  de água e  $234,97 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  de nitrogênio (figura 9). Os resultados também são compatíveis com os obtidos em Monteiro et.al. (2008), onde foi registrada uma produtividade de  $25.384,30 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  com  $609,20 \text{ mm}$  de água e  $186,23 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  de nitrogênio.

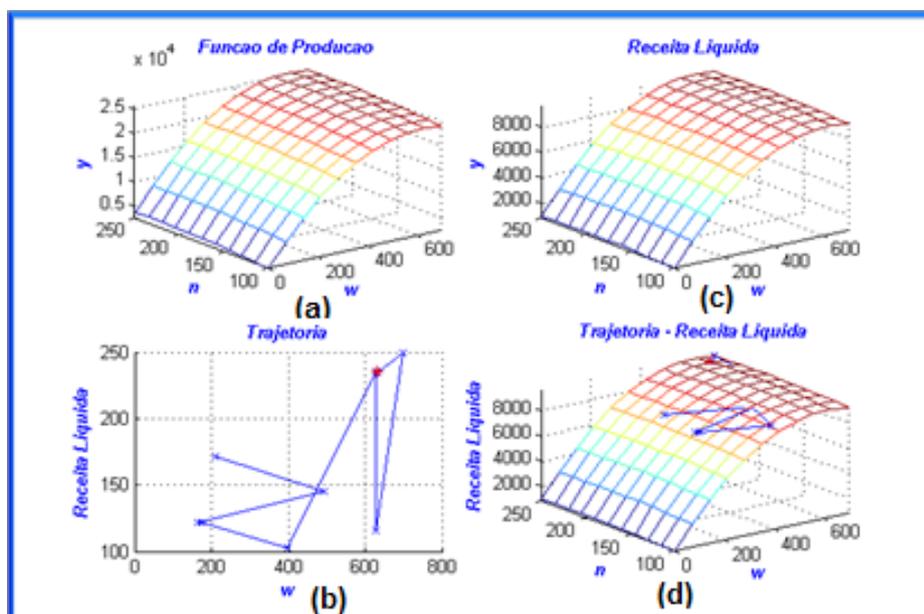


Figura 8 - Resultados do AG na otimização da receita líquida da cultura do meloeiro: (a) Função de produção; (b) Trajetória de otimização do AG; (c) Função receita líquida e (d) Trajetória do AG para máxima receita líquida.

A seguir na tabela 2 apresentamos um comparativo entre os valores obtidos (Lâmina de Água e Dose de Nitrogênio) com os métodos. Novamente que os valores encontrados são próximos nos três modelos, mantendo uma equivalência nos resultados, como era de se esperar.

Tabela 2: Comparativo entre métodos para o meloeiro

	INTELIAGRI	MBL	OS
Água ( $\text{mm} \cdot \text{ha}^{-1}$ )	630,11	612,30	609,20
Nitrogênio ( $\text{Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ )	234,97	224,30	186,23
Água e Nitrogênio	-	2,83% e 4,54%	3,31% e 20%



## CONCLUSÕES

Sabemos que a administração de atividades agropecuárias (Agronegócios) requer conhecimentos técnicos e financeiros, não distribuídos de forma igualitária entre pequenos, médios e grandes produtores rurais, e nesse sentido, o acesso a um sistema operacional de fácil utilização, favoreceria a inclusão digital no campo associada à otimização dos recursos. Em situações onde a tomada de decisão está relacionada com a alocação de recursos limitados, o INTELIAGRI favorece a racionalidade do agricultor, pois auxilia na otimização da produção e receita líquida agrícola com recursos limitados.

Neste trabalho apresentamos uma ferramenta computacional, através do uso de técnicas de inteligência artificial, quais sejam as redes neurais e algoritmos genéticos, e sua aplicação na solução de problemas de otimização do uso de insumos na agricultura e maximização da receita líquida para o produtor rural. Para testar e validar o modelo desenvolvido foram utilizadas massas de dados advindas do trabalho de outros pesquisadores disponíveis na literatura.

Os resultados obtidos mostraram que o INTELIAGRI atendeu aos objetivos propostos, indicando que essa ferramenta computacional inteligente pode ser utilizada para a otimização do uso de recursos hídricos e insumos com o aumento da receita líquida, tendo sido testado e validado através de comparação com os trabalhos de Marques e Silva (2008) e de Ventura e Sanchez (2009), na otimização das culturas da alface americana e do meloeiro.

A utilização das ferramentas de Inteligência Artificial usadas pelo INTELIAGRI permite a sua aplicação na otimização de culturas usando diversos insumos, podendo trabalhar com funções de produção n-dimensionais, mesmo que estas apresentem descontinuidades, sem aumentar a complexidade do seu algoritmo.

O desenvolvimento de códigos computacionais com base no INTELIAGRI, em parcerias com cooperativas agrícolas, pode contribuir para o avanço na disponibilização de ferramentas para auxílio do planejamento ótimo de plantios pelo aumento da eficiência do uso da água e insumos, e, em geral ao fortalecimento tecnológico da agricultura irrigada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRAGA, A.P.; CARVALHO, A.P. de L. F.; LUDERMIR, T. B. (2007). Redes Neurais Artificiais: Teoria e Aplicações. 2ª edição. Rio de Janeiro, editora LTC.

BEALE, M. H.; HAGAN, M. T.; DEMUTH, H. B. (2011). Neural Network Toolbox – User Guide R2011b, EUA, Mathworks Inc.

CARVALHO, D. F.; DELGADO, A. R. S.; OLIVEIRA, R. F.; SILVA, W. A.; FORTE, V. L.; (2009). Maximização da produção e da receita agrícola com limitações de água e nitrogênio utilizando método de pontos interiores. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.29, n.2, p.321-327.

CAVALCANTE JUNIOR, J.A.C.; (2013). Ferramenta computacional inteligente aplicada à otimização do uso de recursos hídricos e aumento da receita líquida na agricultura – INTELIAGRI. Tese (Doutorado). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária. 104 f.

COPPIN, B. (2012). Inteligência Artificial, Rio de Janeiro, RJ, editora LTC.

DELGADO, A. R. S., VENTURA, D. S.; (2014). Experiência numérica na maximização da produção e receita agrícola do meloeiro e da alface americana. Pesq. Oper. Para o Desenvolvimento, v.6, n.3, p.332-342.

DOS SANTOS JÚNIOR J. L. C., FRIZZONE, J. A., DA SILVA PAZ, V. P.; (2014). Otimização do uso da água no perímetro irrigado Formoso aplicando lâminas máximas de água. Irriga, Botucatu, v.19, n.2, p. 196-206.

FIGUEIREDO GARCIA DE, M.; FRIZZONE, J. A.; PITELLI, M. M.; REZENDE R.; (2008). Lâmina ótima de irrigação do feijoeiro, com restrição de água, em função do nível de aversão ao risco do produtor. Acta Sci. Agron., Maringá, v.30,n.1,p. 81-87.

FRIZZONE, J. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S. de; SOUZA, J. L. M. de; ZOCOLER, J. L.; (2005). Planejamento da irrigação. Análise de decisão de investimento. 1. Ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica.

GOLDBERG, D. E., (1989). Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison Wesley Publishing Company, USA.

HOLLAND, J. H., (1975). Adaptation in Natural and Artificial Systems, University of Michigan Press, USA.

LIDEN, R. (2008). Algoritmos Genéticos – Uma importante ferramenta da inteligência computacional. 2ª ed. Rio de Janeiro, editora Brasport.

MARQUES SILVA, P. A.; PEREIRA MAGELA, G.; REIS, R.; LIMA, L. A.; TAVEIRA J. H.; (2008). Função de resposta da alface americana aos níveis de água e adubação nitrogenada. Ciênc. Agrotec., v. 32, n.4, p.1266-1271.

MICHALEWICZ, Z., (1999). Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs, Springer, NY, USA.



MONTEIRO, R. O. C.; COLARES, D. S.; COSTA T. R. N.; LEÃO, M. C. S.; de AGUIAR, J. V.; (2006). Função de resposta do meloeiro a diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio. *Hortic. Bras.* v. 24, n. 4, p.455-459.

MONTEIRO, R. O. C.; NONATO TÁVORA, R.; LEÃO, M. C. S.; de AGUIAR, J. V.; (2007). Aspectos econômicos da produção de melão submetido a diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio. *Irriga, Botucatu*, v.12, n.3, p.364-376.

PEIXOTO DE CASTRO R.; NONATO TÁVORA, R.; DA SILVA, C.A. L.; Gomes Filho, R.; (2007). Modelos de decisão para otimização econômica do uso da água em áreas irrigadas da fazenda experimental Vale do Curu, Pentecoste-CE. *Irriga, Botucatu*, v.12, n.3, p.377-392.

PEREIRA, O. C. N.; BERTONHA, A.; FREITAS, P. S. L. de; GONÇALVES, A. C. A.; Rezende, R.; Silva, F. A. da; 2003. (2003). Produção de alface em função de água e nitrogênio. *Acta Scientiarum Agronomy, Maringá*, v. 25, n.2, p. 381-387.