

RAFAEL JOSÉ GOMES

**SISTEMAS INTELIGENTES APLICADOS NA
MODELAGEM DA PRODUÇÃO DE HASTES FLORAIS
DE *Heliconia* spp.**

RECIFE

2013

**SISTEMAS INTELIGENTES APLICADOS NA
MODELAGEM DA PRODUÇÃO DE HASTES FLORAIS
DE *Heliconia* spp.**

RAFAEL JOSÉ GOMES

Engenheiro Agrícola e Ambiental

Orientador(a): Prof^a. Dr^a. **CRISTIANE GUISELINI**

Coorientador(a): Prof^a. Dr^a. **VIVIAN LOGES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

RECIFE

2013

Ficha catalográfica

G633s Gomes, Rafael José
Sistemas inteligentes aplicados na modelagem da
produção de hastes florais de *Heliconia* spp / Rafael José
Gomes. – Recife, 2013.
75 f. : il.

Orientadora: Cristiane Guiselini.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) –
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento
de Tecnologia Rural, Recife, 2013.
Referências.

1. Meteorologia agrícola 2. Redes neurais 3. Estabilidade
temporal 4. Flores tropicais I. Guiselini, Cristiane, orientadora
II. Título

CDD 630

**SISTEMAS INTELIGENTES APLICADOS NA
MODELAGEM DA PRODUÇÃO DE HASTES FLORAIS
DE *Heliconia* spp.**

RAFAEL JOSÉ GOMES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Dissertação defendida e APROVADA em 28 de fevereiro de 2013.

Prof. Dr. Héilton Pandorfi

Prof^a. Dr^a. Vivian Loges

Dr. Glécio Machado Siqueira

Prof^a. Dr^a. Cristiane Guiselini

(Orientadora)

*"A verdadeira viagem de descobrimento
não consiste em procurar novas paisagens,
mas em ter novos olhos"*

(Marcel Proust)

A Deus

A minha mãe, Eliete Maria Paixão Gomes

Ao meu pai, Roberto José Gomes

Ao meu irmão, Roberto Júnior

AGRADECIMENTOS

À Deus, que me protegeu, me iluminou, me deu forças nos momentos mais difíceis durante esse percurso e agradeço ainda pelo dom da vida e a oportunidade diária de aprendizado e evolução.

À minha família, por todo apoio, carinho, amor e confiança em mim depositados, especialmente a Eliete Maria Paixão Gomes (minha mãe), Roberto José Gomes (pai) e Roberto José Gomes Júnior (irmão), pois são eles o alicerce da minha vida, a razão disto tudo e, a eles ofereço a minha vitória. Foram eles que me legaram sólida formação, que me proporcionaram a continuidade nos estudos até a chegada a este mestrado, meus eternos agradecimentos.

Aos meus tios, tias, avós, cunhada, primos e primas, que sempre me apoiaram e me deram força para vencer na vida.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), pelo acolhimento em toda minha trajetória desde a graduação a realização do mestrado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFRPE pela oportunidade de realizar este curso de mestrado. Sobretudo aos professores do PPGA a todos agradeço (Ênio, Abelardo, Glécio, Geber, Marcus Metri, Aldifax, Leocádia, Pedro, Pandorfi e Cristiane Guiselini).

Ao Laboratório de Floricultura da UFRPE, que desde o início da minha jornada acadêmica tem me apoiado, em especial a Prof. Vivian Loges e a todos que participaram junto comigo de momentos de alegria tanto em campo (Aldeia) como no laboratório, a todos eu agradeço (Emerson, Givison, Kessyana, Eliane, Cleucione, Walma, Andreza, André, Estela e Thaís).

Ao Grupo de pesquisa em Ambiência da UFRPE (Gpesa), em especial a Prof^a Cristiane Guiselini pela paciência e ensinamentos e a todos do Gpesa que compartilharam momentos agradáveis nesses dois anos, sobretudo nas ótimas comemorações e confraternizações a todos eu agradeço (Prof^o Héilton, Janice, Tatiana, Alan, Taísa, Aline, Luíz, Arthur, Gledson e Wal).

Ao Grupo de estudo da pós de Engenharia Agrícola (GPEA), pelos ótimos momentos que vivenciamos tanto nas horas de estudo quanto nas horas de lazer, obrigado a todos pelo apoio e companheirismo (Tatyana Keyty, Diogo, Janice, Tatiana, Jéssyca, Joel, Cleene, Marcos, Renato, Vinicius, Rocheli, Daniel, Raqueli, Gean, Aluízio e Rogério)

Aos funcionários do DTR, que contribuíram para o bom funcionamento dos laboratórios e pelos momentos de descontração nos intervalos de trabalho (Plínio, Vivi, Tati, Lula e Sônia).

Enfim, a todos que direta ou indiretamente colaboraram para a realização desse trabalho, meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	9
RESUMO	10
ABSTRACT	11
1. INTRODUÇÃO GERAL	12
2. REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1. A Cultura da <i>Heliconia</i> spp.	13
2.1.1. Origem	13
2.1.2. Morfologia	14
2.1.3. Fenologia	16
2.1.4. Importância socioeconômica	17
2.2. CLIMA	18
2.2.1. Radiação Solar	18
2.2.2. Fotoperíodo	18
2.2.3. Temperatura do ar	20
2.2.4. Umidade relativa do ar	21
2.2.5. Precipitação	23
2.2.6. Mudanças Climáticas	24
2.3. PLANEJAMENTO E ESTIMATIVAÇÃO DE PRODUÇÃO	26
2.3.1. Estabilidade temporal	26
2.3.2. Multivariada	28
2.3.3. Redes Neurais Artificiais	29
2.4. REFERÊNCIAS	32
CAPÍTULO I	41
RESUMO	41
ABSTRACT	42
INTRODUÇÃO	43
MATERIAIS E MÉTODOS	44
RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
CONCLUSÕES	56
REFERÊNCIAS	56
CAPÍTULO II	59

RESUMO.....	59
INTRODUÇÃO	61
MATERIAL E MÉTODOS	62
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	66
CONCLUSÕES	72
REFERÊNCIAS.....	73
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Touceira de <i>H. psittacorum</i> x <i>H. spathocircinata</i> cv. Golden Torch, Recife, 2009.	14
Figura 2. Inflorescência de Helicônia, Recife, 2009.	15
Figura 3. Esquema de uma estrutura de uma Redede Neural Artificial.....	30
Figura 4. Hastes florais de quatro genótipos de <i>Heliconia</i> spp.: <i>H. psittacorum</i> L.f. Red Opal (a), <i>H. psittacorum</i> x <i>H. spathocircinata</i> cv. Golden Torch (b), <i>H. stricta</i> Fire Bird (c) e <i>H. rauliniana</i> (d).....	45
Figura 5. Produção de hastes florais mensal (HCM) de <i>H. psittacorum</i> L.f. Red Opal, <i>H. psittacorum</i> x <i>H. spathocircinata</i> cv. Golden Torch, <i>H. stricta</i> Fire Bird e <i>H. rauliniana</i> . a) Produção e Temperatura média mensal; b) Produção e Fotoperíodo médio mensal; c) Produção e Precipitação mensal.	49
Figura 6. Produção de hastes florais mensal (HCM) de <i>H. psittacorum</i> L.f. Red Opal, <i>H. psittacorum</i> x <i>H. spathocircinata</i> cv. Golden Torch, <i>H. stricta</i> Fire Bird e <i>H. rauliniana</i>	52
Figura 7. Médias de produção de hastes florais de <i>H. psittacorum</i> x <i>H. spathocircinata</i> cv. Golden Torch, <i>H. psittacorum</i> L.f. Red Opal, <i>H. rauliniana</i> e <i>H. stricta</i> Fire Bird.	53
Figura 8. Desvio e diferença relativa média da produção de hastes florais mensal (HCM). a) <i>H. psittacorum</i> x <i>H. spathocircinata</i> cv. Golden Torch; b) <i>H. psittacorum</i> L.f. Red Opal; c) <i>H. rauliniana</i> e d) <i>H. stricta</i> Fire Bird.....	55
Figura 9. Hastes florais de quatro genótipos de <i>Heliconia</i> : <i>H. psittacorum</i> L.f. Red Opal (a), <i>H. psittacorum</i> x <i>H. spathocircinata</i> cv. Golden Torch (b), <i>H. stricta</i> Fire Bird (c) e <i>H. rauliniana</i> (d).....	63
Figura 10. Gráficos de performace das redes neurais para quatro espécies de <i>Heliconia</i> spp.: <i>H. psittacorum</i> x <i>H. spathocircinata</i> cv. Golden Torch (a), <i>H. psittacorum</i> L.f. Red Opal (b), <i>H. rauliniana</i> (c) e <i>H. stricta</i> Fire Bird (d).	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Coeficientes de correlação de Pearson entre a produção de helicônia (HCM) e Temperatura média do ar (TM), Precipitação (PREC) e Fotoperíodo (N).	50
Tabela 2. Parâmetros estatísticos para a produção de hastes florais mensal de <i>Heliconia</i> spp.	51
Tabela 3. Regressões lineares múltiplas entre a produção semanal (HCS) e as variáveis meteorológicas (TM= X_1 , N= X_2 e PREC= X_3).	67
Tabela 4. Configurações das redes neurais de melhor desempenho para quatro espécies de <i>Heliconia</i> spp.	68
Tabela 5. Configuração das redes neurais escolhidas após o treinamento para quatro espécies de <i>Heliconia</i> spp.	69
Tabela 6. Coeficientes de determinação (R^2) para cada etapa do desenvolvimento da rede neural para quatro espécies de <i>Heliconia</i> spp.	71
Tabela 7. Porcentagem de decréscimo na produção de hastes florais para quatro espécies de <i>Heliconia</i> spp. em dois cenários futuros de aumento de temperatura média do ar (1°C e 3°C).	72

SISTEMAS INTELIGENTES APLICADOS NA MODELAGEM DA PRODUÇÃO DE HASTES FLORAIS DE *Heliconia* spp.

Autor: **RAFAEL JOSÉ GOMES**

Orientador (a): Prof^ª. Dr^ª. **CRISTIANE GUISELINI**

Coorientador (a): Prof^ª. Dr^ª. **VIVIAN LOGES**

RESUMO

Objetivou-se com este trabalho analisar a influência do fotoperíodo (N, horas), temperatura do ar (TM, °C) e precipitação (PREC, mm) na produção de hastes florais de quatro espécies de *Heliconia* spp., avaliar a estabilidade temporal da produção e desenvolver modelos para estimação da produção de hastes florais por meio de Redes Neurais Artificiais (RNA) e regressão múltipla. Os dados utilizados foram provenientes de um experimento conduzido no período de dez/2003 a mar/2012, no município de Camaragibe-PE. Foram avaliadas quatro cultivares de helicônias: *H. psittacorum* L.f. Red Opal, *H. psittacorum* x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch, *H. stricta* Fire Bird e *H. rauliniana*. Foi obtido o número de hastes florais colhidas por touceira por mês (HCM) e por semana (HCS), TM, PREC e N. Para a análise da estabilidade temporal foi conhecida a diferença relativa do parâmetro (HCM) em cada mês. No geral as espécies apresentaram estabilidade na produção de HCM, o que foi possível constatar os meses de menor e maior produção. Os maiores acréscimos da produção foram obtidos pela cv. Golden torch que apresentou no mês de dezembro um HCM 87% maior que a média anual e a *H. rauliniana* com HCM 274% maior para o mês de novembro. A utilização de RNAs comparadas à regressão múltipla mostrou-se mais eficiente para a predição da produção de hastes florais de quatro espécies de *Heliconia* spp. com base na TM, N e PREC. Para todas as espécies estudadas o resultado das predições das simulações de aumento de temperatura do ar indicou queda na produção de hastes florais que variou entre 33,19 a 81,78%.

Palavras-chave: agrometeorologia, redes neurais, estabilidade temporal, flores tropicais

INTELLIGENT SYSTEMS USED IN MODELING OF PRODUCTION OF FLORAL STEMS FROM *Heliconia* spp.

Autor: RAFAEL JOSÉ GOMES

Orientador(a): Prof^a. Dr^a. CRISTIANE GUISELINI

Coorientador(a): Prof^a. Dr^a. VIVIAN LOGES

ABSTRACT

The objective of this work was to analyze the influence of photoperiod (N, hours), air temperature (TM, °C) and precipitation (PREC, mm) in the production of flower stem of four species of *Heliconia* spp., evaluate the temporal stability of production and develop models to estimate the production of flower stem by Artificial Neural Networks (ANNs) and multiple regression. The database used in this study came from an experiment conducted in the period of dec/2003 until mar/2012, in Camaragibe-PE. Four cultivars of heliconias were evaluated: *H. psittacorum* L.f. Red Opal, *H. psittacorum* x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch, *H. stricta* Fire Bird e *H. rauliniana*. We obtained the number of flower stem harvested per plant per month (HCM) and weekly (HCS), TM, PREC and N. To analyze the temporal stability was known the relative difference parameter (HCM) each month. Overall species showed stability in the production of HCM, which we determined the months of lower and higher production. The largest increases in HCS were observed in cv. Golden Torch showed that in the month of December a HCM 87% higher than the average annual and *H. rauliniana* with HCM 274% higher for the month of November. The use of ANNs compared to multiple regression was more efficient for predicting the production of flower stalks of four species of *Heliconia* spp. based on TM, N, and PREC. For all species studied the results of the simulations of increased air temperature indicated a fall in production which ranged from 33.19% to 38.71%.

Keywords: agrometeorology, neural networks, tropical flowers.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A comercialização nacional de flores e plantas registrou um crescimento de 15% em 2010. Entre as razões para este aumento, destacam-se a maior variedade de produtos, maior durabilidade das flores, eficiência do setor, aumento do consumo das classes A e B (principalmente via internet) e C e D (via supermercado e *garden center*), o que comprova a força do mercado interno no setor de flores (IBRAFLOR, 2011a).

Contudo após nove anos de recordes consecutivos na exportação de flores no Brasil, registrou-se no ano de 2010 uma redução de 7,89% nas exportações de flores no geral, o que reflete a conjuntura economicamente depressiva nos principais mercados importadores mundiais (zona do Euro, EUA e Japão). No entanto a grande vantagem da floricultura brasileira tem sido a sua vocação para o abastecimento do seu crescente mercado interno, o que tem permitido manter-se a salvo da crise internacional (IBRAFLOR, 2011b).

Embora a *Heliconia* seja um gênero com origem nas regiões tropicais, muitas espécies apresentam sazonalidade na floração. Alguns autores justificam tal fenômeno à chuva estacional, porém outros trabalhos que envolveram estudos de fenologia do gênero mostraram que fatores como fotoperíodo, temperatura do ar e luminosidade alteraram a floração (GERTSEN, 1990; CRILEY, 2000, 2003).

Além das respostas produtivas característica a cada espécie, cresce as preocupações com as mudanças climáticas e seus efeitos na atmosfera, sobretudo pela adaptabilidade das culturas agrícolas aos cenários futuros. De acordo com o IPCC (2007), o aumento médio da temperatura do ar atmosférico é inequívoco, em que onze dos doze anos anteriores a 2006 estão entre os anos mais quentes do período de 1850, início do registro da temperatura do ar por aparelhos, a 2006.

O relatório do Painel intergovernamental sobre mudanças climáticas (IPCC) aponta aumento linear na temperatura média global de 0,13 °C por década nos últimos 50 anos (1957 a 2006). Esse aumento é aproximadamente duas vezes superior aos observado no período de 1850 a 1956 (IPCC, 2007). Em relatórios mais atuais, fica evidente as preocupações do IPCC em relação a promoção da adaptabilidade às alterações climáticas e gestão dos riscos de

desastres ambientais, fatores estes que contribuem para uma preparação maior da população frente as mudanças do clima (IPCC, 2012).

Ajustar as atividades agrícolas às variabilidades e mudanças do clima, resulta na redução dos riscos de prejuízos na safra. Isso pode ser melhorado por meio das informações geradas pelas estimativas de modelos matemáticos, associadas aos avanços nas áreas de agrometeorologia, climatologia, meteorologia, sensoriamento remoto, geoprocessamento e informática (SENTELHAS & MONTEIRO, 2009; SILVA, 2009a).

Nas ciências agrárias, as redes neurais artificiais (RNA) estão sendo cada vez mais aplicadas para diversas finalidades. Dentre várias aplicações das RNAs, pode-se realizar estimativas mais confiáveis que as modelagens clássicas, com exemplos de aplicações bem sucedidas para estimativa da temperatura do ar (MOREIRA & CECÍLIO, 2008), dos índices zootécnicos (PANDORFI et al., 2011), da produção de eucalipto (SILVA et al. 2009b) e da evapotranspiração de cultura (GUISELINI et al. 2010).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é analisar a influência do fotoperíodo, temperatura do ar e precipitação na produção de hastes florais de quatro genótipos de *Heliconia*, avaliar a estabilidade temporal da produção e desenvolver modelos para estimação da produção de hastes florais, por meio de redes neurais artificiais e regressão múltipla.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A Cultura da *Heliconia* spp.

2.1.1. Origem

As espécies do gênero *Heliconia* são plantas de origem neotropical, nativas da América Tropical (BERRY & KRESS, 1991). Normalmente encontradas nas Américas Central e do Sul, desde o nível do mar até 2.000 m de altitude, e nas ilhas do Pacífico Sul até 500 m de altitude (CRLEY & BROCHAT, 1992; RIBEIRO, 2002). Pertencem à ordem Zingiberales, a qual possui 89 gêneros, diferenciados por meio das inflorescências e 1.800 espécies. O gênero *Heliconia*, anteriormente incluído na família Musaceae, posteriormente passou a formar uma família própria, Heliconiaceae, com apenas este gênero com cerca de 120 a 250 espécies (CASTRO, 1995).

2.1.2. Morfologia

Existem dois grupos distintos de Helicônias. No primeiro grupo encontram-se as espécies originárias das ilhas do Pacífico Sul, pertencentes ao subgênero *Heliconiopsis*, composto de seis espécies com inflorescências de coloração semelhante a das folhas. No segundo grupo, estão as helicônias americanas, sendo encontradas desde o Norte do México central até o Noroeste da Argentina, pertencendo aos subgêneros *Taeniostrobis*, *Stenochlamys* e *Heliconia* (ABALO, 1999).

As plantas são herbáceas, eretas e atingem de 0,5 m a 10,0 m de altura, conforme a espécie (Figura 1). O pseudocaule é constituído pela justaposição do pecíolo ou pelo limbo foliar, que pode apresentar uma camada de cera branca em algumas espécies. O rizoma é subterrâneo e simpodial. Cada folha é formada por um pecíolo e a lâmina foliar, usualmente verde, porém certas espécies apresentam a face abaxial castanha ou vermelha, principalmente ao longo das margens. A inflorescência é terminal e apresenta rápido desenvolvimento, com conformação ereta ou pendular, composta por raquis alongada, na qual se inserem as brácteas espadiformes e formam um arranjo alternado reto ou espiralado (BERRY & KRESS, 1991).



Fonte: Laboratório de Floricultura - UFRPE

Figura 1. Touceira de *H. psittacorum* x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch, Recife, 2009.

As brácteas apresentam tamanhos, texturas e cores variáveis, muitas vezes, compostas por cores contrastantes (Figura 2), o que favorece sua aceitação no mercado, sendo objeto de várias pesquisas para aumentar a durabilidade pós-colheita (LOGES, et al., 2005; PIROMRUEN, 2008; COSTA,

2009). As flores propriamente ditas são envolvidas e protegidas pelas brácteas, são hermafroditas, apresentam seis estames com filetes livres e anteras lineares, um estéril e cinco funcionais. As sépalas e pétalas variam nos tons entre amarelo a branco e as flores exsudam grande quantidade de néctar, tornando-se atrativas aos agentes polinizadores como os beija-flores, alguns insetos e pequenos vertebrados (CASTRO,1995).



Fonte: Laboratório de Floricultura – UFRPE

Figura 2. Inflorescência de Helicônia, Recife, 2009.

As helicônias são popularmente conhecidas por bananeira de jardim, bico de papagaio e paquevira. Desempenham importante papel nos ecossistemas, pois atuam como plantas pioneiras no processo de regeneração natural. Podem participar da recuperação de solos degradados, mantêm importantes relações coevolutivas com espécies animais, as quais são responsáveis por sua polinização. Estas plantas são componentes frequentes nos bosques e sub-bosques da vegetação tropical, ou mesmo compondo a flora de ambientes abertos (LAMAS, 2004).

As espécies são classificadas quanto ao hábito vegetativo, conforme o tipo de arranjo das folhas, nas seguintes categorias: musóides, canóides ou zingiberóides (BERRY & KRESS, 1991). Outra classificação sugerida por Watson e Smith em 1979, baseia-se no tipo de inflorescência: 1. Inflorescência em um único plano; 2. Inflorescência ereta em mais de um plano; 3. Inflorescência pendente em um único plano; 4. Inflorescência pendente em mais de um plano.

2.1.3. Fenologia

Na região neotropical, os beija-flores são polinizadores exclusivos das helicônias, atraídos pelas suas brácteas coloridas, as quais variam entre os tons de vermelho, rosa, laranja e amarelo. Os frutos do tipo baga contêm de uma a três sementes envolvidas por um endocarpo bastante duro, que dificulta a germinação, caracterizando-o como um processo lento e difícil (MARQUES, 2004).

O período de germinação é bastante variado e ocorre na maioria das espécies num prazo de 120 dias, para outras pode alcançar três anos (MARQUES, 2004), pois dependem do grau de desenvolvimento do embrião e das condições do habitat das espécies. As sementes de helicônia são bastante exigentes em luz para a germinação (CASTRO, 1995).

O método convencionalmente utilizado na produção comercial de helicônias é a propagação pela divisão de rizomas. Neste processo as plantas matrizes devem apresentar características como: elevada produtividade, vigor e sanidade. Um rizoma considerado ideal é aquele que apresenta pelo menos três gemas e, dependendo da época do ano podem ser plantados diretamente no campo, ou ainda em substratos acondicionados em sacos de polietileno e preferencialmente colocadas sob irrigação e sombreamento entre 30 e 60%, o que facilita o enraizamento. O tempo de desenvolvimento da planta, desde a brotação até a formação das primeiras flores pode ocorrer de quatro a cinco meses após o plantio (LAMAS, 2004), sendo que dependendo da espécie pode até chegar a três anos o início do florescimento (RODRÍGUEZ, 2013). Entretanto, segundo De Paula (2000) este método dificulta a obtenção de grandes quantidades de mudas e não possibilita a variabilidade genética e Kampf (2000) ressalta ainda que este método facilita a disseminação de agentes patogênicos e microrganismos endofíticos.

Outro método de propagação vegetativa de helicônias é a cultura de tecidos (LAMAS, 2004), com vantagens, como a obtenção rápida de plantas praticamente adultas, propagação de híbridos que dificilmente produzem sementes e na obtenção de plantas idênticas à planta matriz.

Simão & Scatena (2003) acompanhou o desenvolvimento de segmentos de rizoma de *Heliconia velloziana* L. Emygd., em que constataram que os

rizomas emergem raízes a partir de quatro semanas e brotos a partir de quatro a seis semanas, com a formação inicial de catáfilos, e depois dos protófilos.

2.1.4. Importância socioeconômica

No decorrer dos anos 90 o Nordeste brasileiro passou por uma transformação em sua estrutura produtiva. A retração do setor sucroalcooleiro e de algumas produções tradicionais deu lugar a novas culturas como a fruticultura irrigada e a floricultura. Dantas et al. (2008) conjecturavam que o negócio de flores e plantas ornamentais poderia tornar um dos setores-chave para a economia, sendo uma fonte alternativa de geração de emprego e renda, principalmente nos estados do Nordeste.

Junqueira & Peets (2008) ressaltam que o cultivo de diversas espécies de flores tropicais tem grande destaque, pois apresentam características favoráveis à comercialização como beleza, exotismo, diversas cores e formas, resistência ao transporte, durabilidade pós-colheita, além de grande aceitação no mercado externo. Como característica marcante da comercialização nacional de flores, destaca-se a forte concentração sazonal da demanda em datas especiais e comemorativas, como Dia das Mães, Finados e Namorados.

Em 2012, o principal grupo de produtos da floricultura exportados pelo Brasil foi o dos bulbos, tubérculos, rizomas e similares em repouso vegetativo (55,93%), seguido pelo das mudas de plantas ornamentais (33,84%), o que tem contribuído para uma menor queda nas exportações do setor da floricultura (JUNQUEIRA & PEETS, 2013).

A comercialização nacional de flores e plantas registrou um crescimento de 15% em 2010. Entre as razões destacam-se a maior variedade de produtos, maior durabilidade das flores, eficiência do setor, aumento do consumo das classes A e B (principalmente via internet) e C e D (via supermercado e *gard center*), comprovando a força do mercado interno no setor de flores (IBRAFLOR, 2011a). Torna-se evidente que a grande vantagem da floricultura brasileira tem sido a sua vocação para o abastecimento do seu crescente mercado interno, o que tem permitido manter-se a salvo da crise internacional.

Para a região da Mata Úmida do Nordeste a produção de helicônias apresenta-se como alternativa de produção que visa atender à elevada demanda dos Estados das regiões Sul e Sudeste e competir com outros países

na exportação para grandes centros consumidores internacionais. Além de gerar emprego e renda em pequenas áreas e periferias de cidades, ainda pode ser irrigada com águas residuais em razão de não constituírem em cultura alimentar, o que reduz o consumo de água tratada (CERQUEIRA et al., 2008).

2.2. CLIMA

2.2.1. Radiação Solar

Radiação solar é toda radiação eletromagnética proveniente do Sol que atinge o planeta (QUERINO et al. 2006). Essa radiação é de extrema importância para a vida na Terra, pois é responsável pelos principais processos de ordem física, química e biológica, tanto animal quanto vegetal, bem como responsável direto na disposição da energia primária para todos os processos terrestres, desde a fotossíntese, até o desenvolvimento de tempestades, que provocam situações meteorológicas adversas (SOUZA et al., 2005).

Então, o conhecimento da variação da Radiação Solar Global (Rg), formada pelas componentes direta e difusa, é primordial para o entendimento da disponibilidade de energia para os diversos processos de um sistema. A radiação solar possui importância decisiva em todos os processos vitais das plantas, tais como a fotossíntese, transpiração, fotoperiodismo, crescimento dos tecidos, floração, entre outras (BECKMANN et al., 2006;).

Segundo Kress (1999), a diminuição da luz solar pode baixar de forma considerável a produção de inflorescências de helicônias. Em relação ao perfilhamento, de modo geral, Costa et al., (2006) constataram que as helicônias de pequeno porte como, por exemplo, as cultivares e híbridos de *H. psittacorum* perfilham mais que as helicônias de grande porte, em duas condições de plantio, a pleno sol e a meia-sombra. O número de perfilhos por toucera da *H. psittacorum* x *H. spathocircinata* cultivar Golden Torch e *H. bihai* cultivadas a pleno sol e a meia-sombra foram semelhantes, indicando não ser necessário o plantio com sombreamento.

2.2.2. Fotoperíodo

Defini-se fotoperíodo, ou duração efetiva do dia, como o intervalo de tempo transcorrido entre o nascimento e o ocaso do Sol, em determinado local e data (VAREJÃO-SILVA, 2006). Diante da grande influência da radiação solar

na produção agrícola como alterações na floração, Sedyama (1993) considera como o mais importante entre os períodos vegetativos e reprodutivos da planta.

Embora a *Heliconia* seja um gênero de origem das regiões tropicais, muitas espécies apresentam sazonalidade na floração. Alguns trabalhos envolvendo estudos de fenologia do gênero mostraram que fatores como fotoperíodo, temperatura do ar e luminosidade alteraram a floração (GEERTSEN, 1992; CRILEY, 1999, 2003).

Ao avaliar o efeito do fotoperíodo na produção de hastes florais de cultivares de helicônia, considerando um fotoperíodo médio de 12 horas, GEERTSEN (1992) e CRILEY (1999) constataram que ao expor as plantas a um fotoperíodo menor (8 horas) favoreceu a produção de hastes florais para as cultivares *Heliconia aurantiaca* Ghiesbr. ex. Lemaire e *H. stricta* cv. Dwarf Jamaican. Já Criley (2000) observou que o mesmo acontece com a *H. wagneriana* que também tem sua produção favorecida em dias mais curtos e Gomes et al. (2010) notaram que a produção chega a ser nula em fotoperíodo maior, evidencia-se uma variação na sazonalidade para essa espécie na Zona da Mata pernambucana.

Outras cultivares apresentaram comportamento diferente das que foram citadas, pois as produções de hastes florais são mais abundantes nos períodos em que o fotoperíodo é maior que 12 horas. Fato esse observado por Criley (2003), onde constatou que cultivares de *H. orthotricha* apresentaram melhor resposta de florações em dias longos com um menor intervalo entre a emissão do perfilho e a colheita. O mesmo foi observado por Gomes et. al (2010) para a cv. Golden Torch Adrian, onde concluíram que a produção de hastes florais na Zona da Mata de Pernambuco foi mais favorecida em dias longos e temperaturas maiores.

Ao avaliar o efeito da influência da luz solar na longevidade de duas cultivares de helicônia, Uzcategui et. al (2012) realizaram um experimento com três condições de cultivo, 100% de irradiação solar e utilizando malhas de sombreamento obtendo 37 e 16% da irradiação. Constataram que para as duas cultivares a maior vida de vaso observada foi de 16 dias para 16% da intensidade de luz. Enquanto que as menores durabilidades foram para a intensidade mais elevada (100%) com 8 e 12 dias para a 'Eden Pink' e 'Limon'

respectivamente. Sendo assim, a vida de vaso das helicônias também pode ser alterada pela luminosidade a qual foram expostas.

2.2.3. Temperatura do ar

O metabolismo da planta é influenciado pela temperatura, devido às alterações da velocidade das reações químicas e a atividade das enzimas que participam deste processo, inclusive a enzima Ribulose 1,5 Bifosfato Carboxilase (Rubisco) responsável pela fixação de carbono na planta (ANDERSSON & BACKLUND, 2008). MAVI & TUPPER (2004) ressaltam que outros processos são influenciados pela temperatura do ar, tais como, respiração de manutenção, transpiração, repouso vegetativo, duração das fases fenológicas das culturas, indução ao florescimento, conteúdo de óleo em grãos e taxa de germinação de sementes.

Oliari et al. (2010) observaram que rabanetes cultivados sob temperaturas do ar dentro da faixa ótima (7 a 32 °C), apresentaram maior altura, maior peso de massa seca total e maior área foliar, comparados com as que foram cultivadas a temperaturas do ar abaixo do limite crítico inferior, no qual apresentaram menor altura.

Por lado, Santos et al. (2009) ao cultivar alface em canteiros com temperaturas máximas do ar que variaram de 27,2 a 41,2 °C, valores que segundo Puiatti & Finger (2005) estão acima da faixa ideal da cultura (4 a 27 °C), observaram que a produção foi prejudicada, pois as altas temperaturas do ar impediu a cultura de expressar todo o seu potencial genético, conseqüentemente afetou o desenvolvimento das folhas e comprometeu a produção. Os autores obtiveram valores de produção que variaram de 52,5 a 111,5 g planta⁻¹, muito abaixo dos obtidos por Salatiel et al. (2001) que foi entre 249,4 a 257,8 g planta⁻¹, para alfaces cultivados a uma temperatura média de 22 °C.

Duarte et al. (2011) relatam que o conhecimento da variação da temperatura do ar no local em que a cultura é cultivada, é de extrema importância, visto que em todas as fases fenológicas a planta dependerá dela. Ao utilizar seringueiras consorciadas ao cultivo de café Valentini et al. (2010) observaram uma redução de até 3 °C nas temperaturas máximas diárias

durante o verão e primavera, o que resultou no melhor desenvolvimento do cafeeiro.

A obtenção dos dados de temperatura do ar é por meio do monitoramento realizado diariamente pelas estações meteorológicas convencionais ou automáticas. No entanto, quando a rede de estações meteorológicas é insuficiente para permitir a caracterização térmica da região, a temperatura do ar pode ser estimada por equação de regressão múltipla com base na altitude, latitude e longitude (CARGNELUTTI FILHO et al., 2006; ANTONINI et al., 2009).

Na região da Mata Úmida do Nordeste brasileiro existem grandes plantações de flores tropicais, com destaque para os Estados de Pernambuco e Alagoas (JUNQUEIRA & PEETZ, 2005). Em relação às boas condições de temperatura do ar para o desenvolvimento de flores tropicais, Lamas (2002) relata que a faixa ideal para o cultivo é entre 22 a 25 °C. Para as helicônias Kress (1999) afirma que a temperatura do ar média ideal é de 21 °C no período noturno e 26 °C no diurno. No entanto o autor salienta que a altitude pode ser um fator importante na influencia da tolerância térmica de cada espécie, que pode variar de 14 a 34 °C.

2.2.4. Umidade relativa do ar

A umidade relativa do ar é uma variável que atua de diversas formas indiretas sobre as culturas, sua influência afeta o poder evaporante do ar, condiciona a transpiração, por interferir na condutância estomática e pode afetar a turgência dos tecidos alterando processos metabólicos ligados ao crescimento da planta, como por exemplo, a absorção de nutrientes. (SENTELHAS & MONTEIRO, 2009; ANDRIOLO, 1999). Sentelhas & Monteiro (2009) salientam que o aumento excessivo na transpiração da maioria das plantas é ocasionado pela exposição a ambientes muito secos, o que pode provocar danos indiretos resultantes de desordens fisiológicas. Além desses aspectos, seu efeito sobre a interação entre as plantas e microorganismos também é importante, especialmente com fungos e bactérias, causadores de doenças.

No plantio de café com três espaçamentos (2,5 x 0,5 m, 2,5 x 0,75 m e 2,5 x 1,0 m), Morais et al. (2011) constataram que o maior adensamento,

correspondente a 8000 plantas/ha (2,5 x 0,5 m), o que favoreceu a mudança no microclima, com aumento na umidade relativa do ar, o que resultou em plantas de maior altura, diâmetro da copa e número de ramos.

Cunha et al. (2009) observaram que a umidade relativa do ar influenciou a produção de miniestacas de eucalipto cultivado em dois tipos de minijardim clonal. Observaram que maior luminosidade e menor umidade relativa do ar favoreceram tanto o enraizamento de miniestacas, quanto a produção de miniestacas pelas minicepas. No entanto, para a média da umidade relativa de 80% foram observadas correlações negativas para a produção de miniestacas, o que mostra que umidade mais elevada influencia negativamente o desenvolvimento de miniestacas.

A umidade do ar é um dos elementos meteorológicos que favorece a ocorrência de doenças em plantas ornamentais tropicais, o que reduz a qualidade das flores e limita a produção (SANTANA et al., 2009). Alguns autores relatam doenças ocasionadas por fungos em helicônias como o inóculo de *Petalotiopsis pusicata* e *Bipolaris cynodontis*, que ocasionam a mancha foliar em *Heliconia* cv. Golden Torch (SERRA & COELHO, 2007; COSTA, 2007; SANTANA et al., 2009).

Segundo Santos et al. (2009) a umidade do ar pode ter contribuído para o surgimento dos fungos *Cladosporium* sp., *Colletotrichum gloeosporioides* e *Curvularia* sp. em plantios experimentais de helicônias em Juazeiro – BA. Freire (2006) salienta que o *Colletotrichum gloeosporioides* é responsável pela antracnose, encontrada em helicônias de todo o Brasil, o que faz estar entre as principais doenças fúngicas de flores tropicais das espécies de helicônias.

Para cada fase da produção agrícola, são exigidas diferentes faixas de temperatura do ar e umidade relativa do ar. Essas medidas são de grande importância para o sucesso da produção, sobretudo no planejamento e tomada de decisão ao longo do ciclo da cultura. Nesse sentido os fabricantes de instrumentos meteorológicos têm-se preocupado em oferecer grande variedade de sensores com aplicação em diversos setores. No entanto, devem ser aferidos com precisão toda vez que se deseja determinar o que ocorre no ar e como ele varia. A exatidão das medidas vai depender, em grande parte, da precisão instrumental utilizada (SILVA, 2000).

Para as helicônias a faixa de umidade relativa do ar ideal para o cultivo é de 60 a 80%, sendo suficiente para o desenvolvimento satisfatório da planta (LUZ et al., 2005).

2.2.5. Precipitação

A precipitação de um modo geral caracteriza-se como o retorno ao solo, do vapor d'água que se condensou e transformou-se em gotas de dimensões suficientes para quebrar a força da gravidade. Essa água em trânsito entre a atmosfera e o solo chama-se precipitação e apresenta um aspecto quantitativo para cada local, com distribuição anual irregular em todo o planeta (LIRA et al., 2006).

A precipitação desempenha um papel importante para o desenvolvimento das plantas. Santos et al. (2007) e Silva et al. (2008) constataram que as atividades biológicas de muitas espécies, como floração, frutificação, dispersão, germinação, crescimento, incremento e mortalidade populacional são sincronizadas com o período chuvoso.

Por exemplo, na região semiárida do Brasil a caatinga é a formação vegetacional de maior extensão e é fortemente marcada pela estacionalidade e irregularidade na distribuição das chuvas (ARAÚJO et al., 2007; ARAÚJO, 2008).

Brachtvogel et al. (2009) cita que a precipitação, juntamente com a radiação solar e temperatura do ar, é um dos elementos climáticos que mais influencia a resposta da planta, pois atua diretamente nas atividades fisiológicas, interferindo na produção de matéria seca e de grãos.

Em um estudo realizado na Paraíba foi observado fortes correlações entre as precipitações pluviais durante o período chuvoso e as produtividades de algodão herbáceo no Sertão paraibano ($r = 0,92$) e para o sisal no Cariri/Curimataú ($r = 0,92$). Esses resultados associados a estimativas de precipitações, poderá auxiliar o agricultor na decisão de plantar, reduzindo os riscos de prejuízos na safra agrícola (SILVA, 2009b).

Oliveira et al. (2011) observaram que o número de espécimes de ácaros coletados em *Heliconia bihai*, principalmente pertencente às famílias Tanuipalpidae, variou de acordo com a precipitação, em que a menor

quantidade foi coletada no mês de abril, período com maior intensidade de chuvas na região do experimento, isso ocorre pela fragilidade desses organismos que são facilmente lavados pelas gotas de chuva. Segundo Morais e Flechtman (2008) os Tenuipalpidae são ácaros-planos que causam danos aos cultivos, principalmente como vetores de viroses, o que pode afetar a produtividade das plantas.

Gondim et al. (2004) estimou a necessidade hídrica para a *H. biihai* para o município de Paraipara – CE, no qual obteve uma necessidade hídrica bruta de 68,0 mm para o mês de abril ou tempo de irrigação de 7,35 horas.mês⁻¹, no qual corresponde ao início do florescimento.

2.2.6. Mudanças Climáticas

Um dos maiores desafios que as nações já se depararam é a chamada mudanças climáticas. Esse fenômeno tem implicações para o meio ambiente e pode levar a significantes mudanças no uso de recursos naturais, como apontam vários estudos elaborados por organizações internacionais, como a Organização das Nações Unidas – ONU (ISO, 2007).

A verificação das mudanças climáticas no mundo é decorrente das pesquisas nas áreas de climatologia, meteorologia e hidrologia, no qual a precipitação pluvial e a temperatura do ar são os elementos meteorológicos que melhor evidenciam esses fenômenos. Pode-se comprovar tais mudanças com a avaliação de séries temporais, sendo assim, essas séries são importantes instrumentos para avaliar tendências climáticas futuras (CARGNELUTTI FILHO et. al, 2008).

O “Relatório n. 6 de mudanças climáticas e possíveis alterações nos biomas da América do Sul” apontam que essas mudanças climáticas têm um impacto nos ecossistemas naturais e especificamente na distribuição de biomas, e por extensão na biodiversidade, na agricultura e nos recursos hídricos (NOBRE et al., 2007).

De acordo com o IPCC (2007), o aumento médio da temperatura do ar atmosférico é inequívoco, pois onze dos doze anos anteriores a 2006 estão entre os anos mais quentes do período de 1850, início da medição da temperatura do ar por aparelhos, a 2006. Ainda, segundo o relatório, foi observado na temperatura média global do ar aumento linear de

aproximadamente 0,13 °C por década nos últimos 50 anos (1957 a 2006). Aumento, aproximadamente, duas vezes superior aos observado no período de 1850 a 1956.

Ao simular os impactos de três cenários de aumento de temperatura média do ar (1, 3 e 5,8 °C), segundo o relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), Assad et. al (2004) apontaram uma redução de área apta para a cultura do café superior a 95%, em Goiás, Minas Gerais e São Paulo, para um aumento de 5,8 °C se mantidas as características genéticas e fisiológicas do café arábica cultivada no Brasil.

Para o Nordeste brasileiro Assad & Pinto (2008) estimaram que ocorram redução da área para produção das culturas do milho, arroz, feijão, algodão e girassol. Os autores preveem queda na produção da mandioca no semiárido nordestino, porém em outras regiões como o Sudeste, as condições serão mais favoráveis ao desenvolvimento dessa cultura. A tendência de migração de áreas favoráveis ao desenvolvimento poderá também acontecer com a cana-de-açúcar, que deverá dobrar sua produtividade nas próximas décadas. No entanto, Pellegrini et. al. (2007) mostra que o efeito das mudanças climáticas poderá repercutir na redução de área cultiváveis de até 18% para o arroz, 11% para o feijão, 39% para a soja, 58% para o café e 7% para o milho.

Para amenizar os efeitos desses impactos, foram desenvolvidas e implementadas várias iniciativas, nacional e internacionalmente, com o objetivo de limitar as concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera da Terra, como as medidas regulatórias por meio de normas e regulamentos técnicos e incentivos econômicos (taxas, subsídios, permissões comercializáveis, entre outros) (FERMAM, 2011).

Em virtudes das possíveis mudanças climáticas, sobretudo no meio agrícola, onde a produção e o clima estão diretamente relacionados, torna-se necessário o desenvolvimento de ferramentas de predição para a produção relacionada com as variáveis climáticas, inclusive nos cenários futuros. Sendo assim, o produtor poderá saber como estará sua produção e quais alternativas terá que tomar para que não venha a ter maiores prejuízos, ou seja, saberá planejar melhor as safras futuras decorrentes dessas mudanças.

2.3. PLANEJAMENTO E ESTIMATIVAÇÃO DE PRODUÇÃO

2.3.1. Estabilidade temporal

Segundo Cruz & Regazzi (1997) parâmetros importantes como a estabilidade (previsibilidade do genótipo em responder à melhoria do ambiente) pode ser estimada, em experimentos em que são realizados cortes sucessivos e avaliações periódicas de cultivares ao longo do tempo. Sendo assim, Valério, et. al. (2009) ressaltam que o uso de avaliações em diferentes gerações e anos de cultivo é indispensável para uma melhor resposta para a estabilidade.

Alguns autores preferem utilizar o termo estabilidade para se referir a resposta de cultivares ao longo de diferentes anos, num dado local (estabilidade temporal). Essa seria a estabilidade que mais interessa ao produtor. Quando os ambientes são constituídos de diferentes locais, num dado ano, prefere-se usar o termo adaptabilidade (estabilidade geográfica) (Vencovsky e Barriga, 1992).

No entanto, existem várias metodologias para a análise de estabilidade e adaptabilidade, que diferem em conceitos e a princípios estatísticos (Nascimento et, al., 2010). Como exemplos, têm-se as metodologias baseadas em regressão linear simples e múltipla, assim como as análises não paramétricas (Carneiro, 1998), centroides múltiplos e centroides ampliados (Nascimento et, al., 2009).

No método de Playsed & Person (1959), o parâmetro de estabilidade é definido como a média aritmética dos componentes de variância da interação entre pares de genótipos por ambientes, que envolve um genótipo em particular. Já o método de Kang (1988) utiliza como base os estimadores de Playsed & Person seguido de um ranqueamento crescente de cada genótipo segundo o estimador e decrescente para produção, um menor valor da soma dos “ranks” indica maior estabilidade e maior produção.

Ao aplicar esses dois método Daher, et. al (2003) encontraram ótima estabilidade e produtividade para o clone de capim elefante (CNPGL 91 F 11-2) e a cultivar Pioneiro, destacando-se como promissores para as condições de Campos de Goytacazes no Rio de Janeiro.

Com a finalidade de analisar a estabilidade da produtividade de híbridos de milho por meio da metodologia de Lin & Binns (1988), Machado et. al (2008) identificaram que em média os híbridos duplos apresentaram maior

estabilidade. Esse resultado encontrado pode estar relacionado ao fato de que híbridos duplos possuem maior heterogeneidade genética.

O método de Eberhart e Russel (1966) considera o desvio da regressão para a estimativa da estabilidade. Esse desvio estima a estabilidade de produção, entendida como a previsibilidade do genótipo sob o estímulo ambiental. Ao utilizarem este método Silveira et al. (2010) determinaram a adaptabilidade e estabilidade do rendimento de grãos de genótipos de trigo, no qual foram constatados genótipos adaptados a todas as densidades de semeaduras e, outros genótipos com adaptabilidade específica e resposta previsível apenas em ambientes favoráveis e desfavoráveis, o que resultou na necessidade de ajuste da densidade de semeadura para determinados genótipos, para a obtenção de melhor rendimento dos grãos de trigo.

Já Vachaud et al. (1985), ao representar a umidade do solo, com reduzido esforço amostral, propuseram o conceito de estabilidade temporal. Kachanoski & De Jong (1988) expandiram o conceito, em que a correlação entre valores medidos em instantes consecutivos pode ser utilizada como ferramenta para análise de estabilidade temporal. Esse teste, mais simples que o anterior, permite avaliar estatisticamente o grau de persistência temporal da distribuição espacial.

Ao verificar a condutividade hidráulica em um Latossolo Vermelho no município de Piracicaba (SP), Melo Filho & Libardi (2005) aplicaram o método da estabilidade temporal, o que permitiu identificar com precisão os locais mais adequados para as amostragens, possibilitando a redução do número de amostras necessárias e do custo de execução do esforço amostral para o planejamento de sistemas de uso e manejo de água na agricultura.

Rocha et al. (2005) verificaram que para armazenagem de água, em um solo cultivado com citros, os valores apresentaram padrão espacial no tempo. No mesmo trabalho ao aplicar a técnica da diferença relativa os autores identificaram o ponto 28 como a média geral do campo e dois pontos distintos (5 e 15), o mais úmido e o mais seco na área amostral, respectivamente.

No entanto, algumas metodologias podem proporcionar estimativas inadequadas, podendo classificar incorretamente quanto à estabilidade e a adaptabilidade quando ocorrem nos dados pontos discrepantes, não refletindo a verdadeira relação entre a variável ambiental e a genotípica. Como exemplo

de não adequação a determinados conjuntos de dados, têm-se as estimativas baseada em análise de regressão, a de Lin & Binn (1988), a de Carneiro (1998) e a metodologia do centroide. Sendo assim, buscam-se novas metodologias para a estimação dos parâmetros de estabilidade e adaptabilidade que melhor estimem a relação entre a cultivar e o ambiente (Nascimento, et al. 2010).

2.3.2. Multivariada

A análise de Regressão Múltipla, uma forma de modelagem linear geral, é uma metodologia estatística multivariada para examinar a relação de uma variável de resposta por meio de um conjunto de variáveis preditoras. Esta metodologia pode ser utilizada também para a avaliação dos efeitos das variáveis preditoras como previsoras da variável de resposta (HAIR et al., 2005).

O formato geral da equação de Regressão Linear Múltipla é:

$$Y = A + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

Y é a Variável Resposta;

A corresponde a um coeficiente técnico fixo, a um valor de base a partir do qual começa Y;

b_k corresponde aos coeficientes técnicos atrelados às Variáveis preditoras;

x_k as Variáveis preditoras.

Segundo Hair et al. (2005) a finalidade das variáveis preditoras adicionais é melhorar a capacidade de predição em confronto com a regressão linear simples. Isto é, reduzir o coeficiente do intercepto, o qual, em regressão, significa a parte da variável resposta explicada por outras variáveis, que não a considerada no modelo. Sendo assim a combinação linear de variáveis preditoras é formada para ser o preditor ótimo da medida dependente.

Rolim et al. (2011) utilizou regressões lineares no cultivo de jiló para estimativa de número de frutos acumulados por planta e produção acumulada por planta em função do índice térmico a partir da primeira data de

florescimento e constatou a eficiência dos modelos de regressão para estimativas do segundo ano produtivo das cultivares Cardoso e Bernacci.

Guarnieri (2006) constatou que por meio da análise de regressão múltipla a estimação da irradiação solar incidente com oito preditores em Florianópolis-SC obteve melhor estimação ($R^2 = 0,80$) em comparação ao modelo de previsão da ETa/CPTEC ($R^2 = 0,76$). A regressão linear múltipla pôde ser utilizada para a estimação da evapotranspiração de cultura da gérbera, cultivada em duas situações de cultivo protegido, em que Guiselini (2006) verificou que a estimação em função da radiação solar global e da área foliar da planta foi satisfatória ($R^2 > 0,70$) nos dois ambientes cultivados.

A regressão múltipla foi utilizada por Marin et. al (2007) para elaboração de equações para predição da deficiência hídrica em São Paulo para o cultivo da cana-de-açúcar, segundo os autores 80% da área total do Estado apresentaria restrição hídrica para o cenário mais pessimista de aumento de temperatura (4 °C).

No entanto, muitas vezes as equações de regressão não tem precisão suficiente para serem utilizadas ou não realizam estimativas confiáveis (MEDEIROS et al., 2005). Busca-se então alternativas que façam uma estimativa mais confiável.

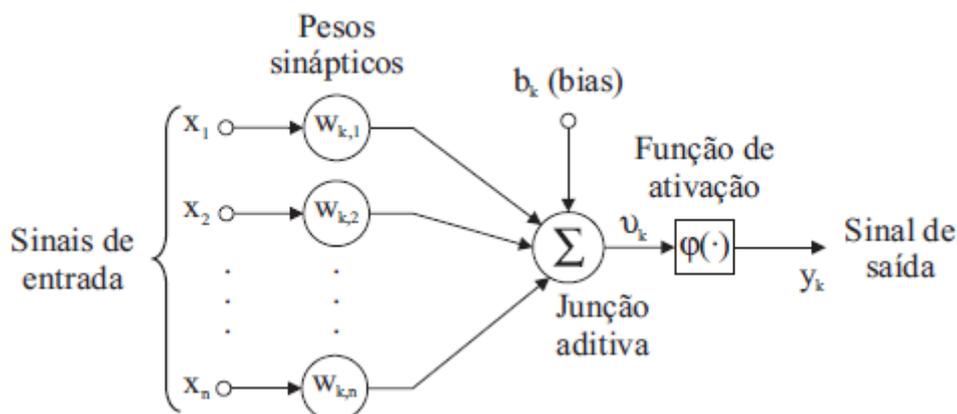
2.3.3. Redes Neurais Artificiais

As Redes Neurais Artificiais (RNA) são técnicas computacionais que apresentam um modelo matemático inspirado na estrutura neural de organismos inteligentes e que adquirem conhecimento por meio da experiência (MENDES FILHO, 2000). Nesse sistema, o conhecimento é adquirido por um processo chamado "treinamento" ou "aprendizagem" que fica armazenado em forças de conexões entre os neurônios, chamadas pesos sinápticos (HAYKIN, 2001).

Segundo Braga et al. (2007), as RNA são capazes de aprender por meio de um conjunto reduzido de exemplos e depois generalizar o conhecimento adquirido; sendo assim, ao ser fornecido dados desconhecidos as RNA são capazes de dar respostas coerentes.

O desenvolvimento de uma RNA consiste em determinar sua arquitetura, isto é, os números de camadas e de neurônios em cada camada, bem como

ajustar seus parâmetros livres (w 's e b 's), fase conhecida como treinamento (Figura 3).



Fonte: ZANETTI, et al. (2008).

Figura 3. Esquema de uma estrutura de uma Rede Neural Artificial.

Com as redes neurais, pode-se realizar estimativas mais confiáveis que as equações de regressões como, por exemplo, a estimativa da temperatura do ar, MOREIRA & CECÍLIO, 2008 observaram melhores estimativas de temperatura mínima, média e máxima obtidas com a utilização das redes neurais desenvolvidas para a região Nordeste do Brasil.

Nas ciências agrárias as RNAs estão sendo cada vez mais aplicada para diversas finalidades. Na pecuária, por exemplo, variáveis como a temperatura do ar e a frequência respiratória e fêmeas gestantes suínas foram utilizadas para a predição de índices zootécnicos (peso dos leitões ao nascer e número de leitões mumificados), a aplicação da RNA para essa predição mostrou-se confiável, podendo ser empregada para essa estimativa (PANDORFI, et al., 2011).

Ao utilizar uma rede neural com três entradas (temperatura do ar, UR% e radiação solar) para estimativa da evapotranspiração em ambiente protegido, Guiselini et al. (2010) constataram que as aproximações dos valores apresentaram ótima caracterização dos dados reais, pois obtiveram $R^2 = 0,94$.

Uma melhor eficiência da técnica da RNA foi observada ao comparar a estimativa de produção de álcool utilizando RNA com técnica de modelagem de séries temporais, resultados mostraram melhor previsão, consequentemente

os autores recomendam as RNAs na aplicação de padrões não lineares e na previsão (OLIVEIRA et al., 2010).

Já Silva (2009) constatou que as redes neurais apresentaram boa adequação ao problema da estimação do volume de madeira de eucalipto em função do diâmetro, altura e do clone. Observou também boa adequação dos outros modelos para essa estimação, como o modelo volumétrico de Schumacher e Hall por diferentes algoritmos. No entanto, a estimação por RNA foi altamente recomendada para realização de prognose da produção de floresta plantadas.

2.4. REFERÊNCIAS

- ABALO, J.E. Heliconias for the ornamental industry. *Acta Horticulturae*, n. 486, p. 313-315, 1999.
- ADRIOLO, J.L. *Fisiologia das culturas protegidas*. Santa Maria, Editora UFSM, 141p., 1999.
- ANDERSSON, I.; BACKLUND, A. Structure and function of Rubisco. *Plant Physiology and Biochemistry*, v.46, p.275-291, 2008.
- ANTONINI, J.C.A.; SILVA, E.M.; OLIVEIRA, L.F.C.; SANO, E.E. Modelo matemático para estimativa da temperatura média diária do ar no Estado de Goiás. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.44, n.4, p.331-338, 2009.
- ARAÚJO, E.L.; NOGUEIRA, R.J.M.C.; SILVA, S.I.; SILVA, K. A.; SANTOS, A.V.C.; SANTIAGO, G.A. Ecofisiologia de plantas da caatinga e implicações na dinâmica das populações e do ecossistema pp. 329-361, 2008. In: MOURA, A.N.; ARAÚJO, E.L.; ALBUQUERQUE, U.P. (Eds.). *Biodiversidade, potencial econômico e processos ecofisiológicos em ecossistemas nordestinos*. Recife: Editora Comunigraf, 2008.
- ARAÚJO, E.L.; ALBUQUERQUE, U.P.; CASTRO, C.C.. Dynamics of Brazilian caatinga - a review concerning the plants, environment and people. *Functional Ecosystems and Communities*. v. 1, p. 15-29, 2007.
- ASSAD, E.D.; PINTO, H.S.; JUNIOR, J.Z.; AVILA, A.M.H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. *Revista Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.39, n.11, p.1057-1064. 2004.
- ASSAD, E.; PINTO, H. S. *Aquecimento Global e a nova Geografia da Produção agrícola no Brasil*. São Paulo - Agosto de 2008.
- BRACHTVOGEL, E.L.; PEREIRA, F.R.S.; CRUZ, S.C.S.; BICUDO, S.J. Densidades populacionais de milho em arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas. *Ciência Rural*, v.39, n.8, p.2334-2339, 2009.
- BRAGA, A. P.; LUDENIR, T. B.; CARVALHO, A. C. P. L. F. *Redes Neurais Artificiais: Teorias e Aplicações*. Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro. 2007.
- BECKANN, M. Z.; DUART, G.; BURCK, R.; PAULA, V. A. Radiação solar em ambiente protegido cultivado com tomateiro nas estações verão-outono do Rio Grande do Sul. *Ciência Rural*, v.36, n.1, p.86-92, 2006.
- BERRY, F.; KRESS, W.J. *Heliconia: An identification guide*. Smithsonian Institution Press. Washington and London, 334p, 1991.

CARGNELUTTI FILHO, A.; MALUF, J.R.T.; MATZENAUER, R.; STOLZ, A.P. Altitude e coordenadas geograficas na estimativa da temperatura mínima média decendial do ar no Estado do Rio Grande do Sul. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.41, p.893-901, 2006.

CARGNELUTTI FILHO, A.; MATZENAUER, R. MALUF, J.R.T. FONTANA, D.C. Análise decadal da temperatura do estado do Rio Grande do Sul. Revista de Biologia e Ciência da Terra, Campina Grande, v.8,n. 1, p. 258-263, 2008.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 5, p. 89-97, 1997.

CASTRO, C.E.F. Produção de. Helicônia para exportação: aspectos técnicas da produção. Brasília: MAARA-SDR-FRUPEX/SPI, 199 (FRUPEX - Publicações Técnicas), 44p, 1995.

CERQUEIRA, L.L.; FADIGAS, F.S.; PEREIRA, F.A.; GLOAGEN, T.V.; COSTA, J.A. Desenvolvimento de *Heliconia psittacorum* e *Gladiolus hortulanus* irrigados com águas residuárias tratadas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.12, n.6, p.606–613, 2008.

COSTA, A.S.; LOGES, V.; CASTRO, A.C.R.; VERONA, A.L.; PESSOA, C.O.; SANTOS, V.F.. Perfilhamento e expansão de touceiras de helicônias. Horticultura Brasileira, v. 24, p. 460-463, 2006.

COSTA, A.S. Conservação pós-colheita, sintomas e respostas fisiológicas da senescência e injúria por frio em hastes florais de *Helicônia bihai* (L). Tese (Doutorado em Botânica), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.

COSTA, C. R. Fungos associados às plantas ornamentais tropicais no Distrito Federal. Instituto de Ciências Biológicas de Brasília – Departamento de Fitopatologia. Distrito Federal. (dissertação). 2007.

CRILEY, R.A.; BROCHAT, T.K. Heliconia: botany and horticulturage of new floral crop. Horticulturage Review, v.14, p.1-55, 1992.

CRILEY, R.A.; SAKAI, W.S.; LEKAWATANA, S.; KWON, E. Photoperiodism in the genus heliconia and its effects upon seasonal flowering. Acta Hort. n. 486, 1999.

CRILEY, R.A. Seasonal Flowering Patterns For Heliconia Shown By Grower Records. Acta Horticulturae, v. 541,p.159-165. 2000.

CRILEY, R.A.; UCHIDA, J.Y.; ZHENGGING FU, Z.F. Productivity and periodicity of flowering in *Heliconia orthotricha* cultivares. Acta Hort. (ISHS), n. 624, p. 207-212, 2003.

CUNHA, A.C.M.C.M. da; PAIVA, H.N. de; LEITE, H.G.; BARROS, N.F.; LEITE, F.P. Relações entre variáveis climáticas com produção e enraizamento de miniestacas de eucalipto. R. Árvore, Viçosa-MG, v.33, n.2, p.195-203, 2009.

DANTAS, A.B. SICSÚ, A.B. OLIVEIRA, E.S. SANTOS, S. A. Caracterização da floricultura tropical da Zona da Mata alagoana. Economia política do desenvolvimento, v. 1, n. 3, p. 49-68, 2008.

DE PAULA, C. C. Cultivo de bromélias. Viçosa: Editora Aprenda Fácil, p. 140, 2000.

DUARTE, L. A.; SCHOFFEL, E.R.; MENDEZ, M.E.G.; SCHALLENBERG, E. Alterações na temperatura do ar mediante telas nas laterais de ambientes protegidos cultivados com tomateiro. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.15, n.2, p.148–153, 2011.

FERMAM, R.K.S. Comércio internacional e mudanças climáticas: o papel da cadeia de avaliação de conformidade. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v.2, n.1, 2011.

FREIRE, F. C. O. Doenças atuais e potenciais das principais frutíferas e flores ornamentais no nordeste. Fitopatologia Brasileira, Lavras, v. 31, p. S38-S44, 2006..

GALVANI, E.; KLOSOWSKI, E.S.; ESCOBEDO, J.F.; CUNHA, A.R. da. Modelo de estimativa de temperatura mínima do ar para a região de Maringá – PR. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v. 2, n. 1, p. 105 – 110, 2000.

GEERTSEN, V. Influence of Photoperiod and Temperature on the growth and flowering of *Heliconia aurantiaca*. HortScience. v.25, p. 646-648. 1990.

GOMES, R.J; LOGES, V.; GUISELINI, C. Influência do fotoperíodo e temperatura do ar no florescimento de hastes florais de *Heliconia* spp. Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belém, 2010.

GONDIM, R.S.; GOMES, A.R.M.; BEZERRA, F.C.; COSTA, C.A.G.; PEREIRA, N.S. Manejo da irrigação na produção de heliconia (*H. bisha*). Circular Técnica, EMBRAPA, Fortaleza, 2004.

GUISELINI, C. Manejo da cobertura de ambientes protegidos: alterações micrometeorológicas e efeitos na produção e na qualidade da gérbera. 2006, 96 p. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

GUISELINI, C.; SENTELHAS, P. C.; PANDORFI, H.; GOMES, R. J. . Uso de redes neurais na predição da evapotranspiração da *Gerbera jamesonii* cultivada em ambiente protegido. In: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2010, Belém - PA. Anais do XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2010.

GUARNIERI, R.A. Emprego de Redes Neurais Artificiais e Regressão Linear Multipla no refinamento de radiação solar do modelo ETa. Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais – INPE. São José dos Campos. (Dissertação). 2006.

HAIR, J. F.; TATHAM, R.L.; ANDERSON, R.L.; BLACK, W. Análise multivariada de dados. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 600 p. 2005.

HAYKIN, S. Redes Neurais - Princípios e Práticas. BOOKMAN, São Paulo, 2th ed. 2001.

IBRAFLOR – Instituto Brasileiro de Floricultura. Uma visão do mercado de flores. Disponível em: <<http://www.ibraflor.com/publicacoes/vw.php?cod=21>>. Acesso em 15/08/2011a.

IBRAFLOR – Instituto Brasileiro de Floricultura. Boletim de análise conjuntural do mercado de flores e plantas ornamentais no Brasil março de 2011. Holambra, 7 p. 2011b.

IPCC. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: HOUGHTON, J.T. (Ed.). Climate Change. New York: Cambridge University Press, 2007.

IPCC. Managing the risk of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, e New York, 582 p.2012.

ISO. ISO 14065:2007 - Greenhouse gases: requirements for greenhouse gas validation and verification bodies for use in accreditation and other forms of recognition. 2007.

ITEP – Instituto de Tecnologia de Pernambuco. 2008.

JUNQUEIRA, A. H.; PEETZ, M. S. Comercialização: aspectos de mercado e manuseio pós-colheita. In: TERAPO, D.; CARVALHO, A. C. P. P.; BARROSO, T. C. S. F. (Eds.) Flores tropicais. Brasília: EMBRAPA, 225p, 2005.

JUNQUEIRA, A.H. e PEETZ, M.S. Mercado Interno para os produtos da floricultura brasileira: características, tendências e importância socioeconômica recente. Revista Brasileira de Horticultura Ornamental. v. 14, n. 1 p.37-52. 2008.

- JUNQUEIRA, A.H. e PEETZ, M.S. 2012: Boletim de Análise Conjuntural do Mercado de Flores e Plantas Ornamentais no Brasil. Hórtica. Boletim técnico. Disponível em:
http://www.hortica.com.br/artigos/2012_Balanco_do_Comercio_Exterior_da_Floricultura_Brasileira.pdf. Acesso em 11/03/2013.
- KÄMPF, A. N. Produção comercial de plantas ornamentais. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, p. 254, 2000.
- QUERINO, C.A.S., MOURA, M.A.L., R.F.F. LYRA, MARIANO, G.L. Avaliação e comparação de radiação solar global e albedo com ângulo zenital na região Amazônica. Rev. Bras. de Meteorologia. v. 21(3a), p. 42 – 49, 2006.
- LAMAS, A da M.; Flores: produção, pós-colheita e mercado. Fortaleza: Instituto Frutal, 109p., 2002.
- LAMAS, A.M. Floricultura Tropical: Técnicas de Cultivo. SEBRAE – PE, 2004.
- LAMEP/ITEP – Laboratório de Meteorologia de Pernambuco. Disponível em<
http://www.itep.br/index.php?option=com_content&view=article&id=877&Itemid=549>. Acesso em 20/04/2012.
- LEGATES, D. R.; McCABE Jr., G. J. Evaluating the use of “goodness-of-fit” measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. Water Resources Research, Washington, v. 35, n. 1, p. 233-241, 1999.
- LIRA, M. L.; OLIVEIRA M.; DANTAS, R. T.; SOUZA, W. M. Alterações da precipitação em municípios do Estado de Pernambuco. Engenharia Ambiental, 3(1), p. 52-61, 2006.
- LOGES, V.; TEIXEIRA, M.C. F.; CASTRO, A.C.R.; COSTA, A.S. Colheita, pós-colheita e embalagem de flores tropicais em Pernambuco. Horticultura Brasileira, Brasília, v.23, n.3, p.699-702, 2005.
- LYRA, G.B.; NASCIMENTO FILHO, M.F.; MOURA, M.A.L. Avaliação Agroclimática do desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum ssp.*) no estado de Alagoas. Anais do Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro, 2000.
- LUZ, P.B.; ALMEIDA, E.F.A.; PAIVA, P.D.O.; RIBEIRO, T.R. Cultivo de flores tropicais. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.26, n.227, p.62-72, 2005.
- MARQUES, J. M. Estudos da variabilidade genética entre indivíduos de populações de *Heliconia bihai* e *Heliconia rostrata*. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, Embrapa, Brasília, n. 69, 15p., 2004.

MAIER, H. R.; DANDY, G. C. Neural networks for the prediction and forecasting of water resources variables: a review of modelling issues and applications. *Environmental Modelling and Software*, Oxford, v. 15, p. 101-123, 2000.

MARIN, F.R.; ASSAD, E.D.; BARBARISI, B.F.; PILAU, F.G.; PACHECO, L.R.F.; JÚNIOR, J.Z.; PINTO, H.S. Efeito das mudanças climáticas sobre a aptidão climática para a cana-de-açúcar no estado de São Paulo. *Anais do XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia*, Aracaju-SE, 2007.

MAVI, H.S.; TUPPER, G.J. *Agrometeorology – Principles and application of climate studies in agriculture*. New York: Food Products Press. 364p. 2004.

MELO FILHO, J.F.; LIBARDI, P.L.; Estabilidade temporal de medidas do teor e do potencial mátrico da água no solo em uma transeção. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29. p. 497-506, 2005.

MORAIS, H.; SERA, T.; NAGASHIMA, G.T.; CARAMORI, P.H.; MARUR, C.J.; ANDRÉ, J.; SOARES, A.G.G.; NAGAI, F.F.; MOTTA, V.B. Microclima, fisiologia e produção de café em dois espaçamentos de plantio. VII Simpósio de pesquisa de cafés do Brasil, Araxá-MG, 2011.

MORAES, G.J.; FLECHTMANN, C. H. W. *Manual de acarologia: acarologia básica e ácaros de plantas cultivadas no Brasil*. Ribeirão Preto: Holos, 308p. 2008.

MOREIRA, M.C.; CECÍLIO, R.A. Estimativa das temperaturas do ar utilizando redes neurais artificiais, para a região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.16, n. 2, p.181-188, 2008.

NOBRE, C.A.; SALAZAR, L.F.; OYAMA, M.; CARDOSO, M.; SACHS, I. *Estratégias de transição para o século XXI: desenvolvimento e meio ambiente*. São Paulo: Studio Nobel, 2007.

OLIARI, I.C.R.; UMBURANAS, R.C.; ESCHEBACK, V.; KAWAKAMI, J. Efeito da restrição de luz solar e aumento da temperatura no crescimento de plantas de rabanete. *Revista Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia* v.3, n.3, 2010.

OLIVEIRA, A.C.S. SOUZA, A.A.; LACERDA, W.S.; GONÇALVES, L.R. Aplicação de Redes Neurais Artificiais na produção de álcool. *Revista Ciência agrotécnica*, v. 34, n. 2, p. 279-284, 2010.

OLIVEIRA, L.L.; COSTA, N.N.F.; RAFAEL, R.; SANTOS, R.N.V.; SILVA, E.A. Ácaros associados às Plantas Helicônia (*Heliconia* spp.), Bastão do Imperador (*Etilingera* spp), e Sorvete (*Zingiber spectabile* Griff.) Cultivadas em Diferentes Quintais. *Cadernos de Agroecologia -ISSN 2236-7934 -Vol 6, No. 2, 2011*.

PANDORFI, H.; SILVA, I.J.O.; SARNIGHAUSEN, V.C.R.; VIEIRA, F.M.O; NASCIMENTO, S.T.; GUISELINI, C. Uso de redes neurais artificiais para

predição de índices zootécnicos nas fases de gestação e maternidade na suinocultura. Revista Brasileira de Zootecnia [online]. vol.40, n.3, p. 676-681, 2011.

PELLEGRINI, G. Q.; ASSAD, E. D.; MARIN, F. R. Mudanças Climáticas Globais e a Agricultura no Brasil. Revista Multiciência, 8ªEd. Campinas, 2007.

PIROMRUEN, B.; BUANONG, M; KANLAYANARAT, S. Effect of Thidiazuron on Quality and Vase Life of Heliconia (*Heliconia* spp. cv. Bigbug). Acta Hort. n. 804, 2008.

PUIATTI, M.; FINGER, F.L. Fatores climáticos. In: PAULO, C.R.F. Olericultura teoria e prática. 1.ed. Rio Branco: Suprema, v.1, p.17-38. 2005.RIBEIRO, T.R.; LOPES, G.G.O.; VIANNA, F.D. Produção de Mudanças e Flores de Plantas Ornamentais Tropicais. Petrolina-PE, Embrapa, 41p, 2002.

ROCHA, G.C.; LIBARDI, P.L.; CARVALHO, L.A.; CRUZ, A.C.R. Estabilidade temporal da distribuição espacial da armazenagem de água em um solo cultivado com citros. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 29, p. 41-50, 2005.

RODRÍGUEZ, F.M.S. Cultivo del género heliconia. Cultivos Tropicales, v. 34, n. 1, p. 24-32, 2013.

SAEG – Sistema para análises estatísticas e genéticas. Versão 5.0. Viçosa: Fundação Arthur Bernardes, 2003.

SANTANA, C.V.S. da; SANTOS, A.S. da; ALMEIDA, A.C. de; NASCIMENTO; A.R.P.; FRANÇA, F.S. dos. Manchas de bipolares em Helicônias (*Heliconia spp.*) no submédio São Francisco. Revista Verde, Mossoró – RN, v.4, n.2, p. 05-08, 2009.

SANTOS, J.M.F.F.; ANDRADE, J.R.; LIMA, E.N.; SILVA, K.A.; ARAÚJO, E.L. Dinâmica populacional de uma espécie herbácea em uma área de floresta tropical seca no Nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Biociências. v. 5, p. 855-857, 2007.

SANTOS, C.L. dos; SEABRA JUNIOR, S.; LALLA, J.G. de; THEODORO, V.C.A.; NESPOLI, A. Desempenho de cultivares de alface tipo crespa sob altas temperaturas em Cáceres-MT. Agrarian, v.2, n.3, p.87-98, 2009.

SANTOS, A.S.; SANTANA, C.V.S.; ALMEIDA, A.C.; NASCIMENTO, A.R.P.; FRANÇA, F.S. Fungos associados a manchas foliares em *Heliconia psittacorum* cv. Golden Torch, no submédio São Francisco. Revista Verde, Mossoró- RN, v.4, n.4, p. 01- 04, 2009.

SEDIYAMA, T.; PEREIRA, M. G.; SEDIYAMA, C. S.; GOMES, J. L. L. Cultura da soja I parte. Viçosa: UFV, 96 p.1993.

SENTELHAS, P.C. Duração do período de molhamento foliar: aspectos operacionais da sua medida, variabilidade espacial em diferentes culturas e sua estimativa a partir do modelo de Penman-Monteith. Piracicaba: ESALQ/USP (Tese de Livre-Docência). 161p. 2004.

SENTELHAS, P.C.; MONTEIRO, J.E.B. Capítulo 1: Informações para uma agricultura sustentável. Livro: Agrometeorologia dos cultivos - O fator meteorológico na produção agrícola. 2009.

SERRA, I.M.R.S. & COELHO, R.S.B. Mancha de *Pestalotiopsis* em Helicônia: Caracterização da doença e Potenciais de Resistência. Fitopatologia brasileira v. 32, Jan-Fev, 2007.

SILVA, K.O. Desenvolvimento de sistema automatizado de baixo custo para aquisição de dados de umidade e temperatura do ar. 2000. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

SILVA, K.A.; LIMA, E.N.; SANTOS, J.M.F.F.; ANDRADE, J.R.; SANTOS, D.M.; SAMPAIO, E.V.S.B.; ARAÚJO, E.L. Dinâmica de gramíneas em uma área de caatinga de Pernambuco-Brasil Pp. 105-129, 2008.

SILVA, L.L. da; COSTA, R.F. da; CAMPOS, J.H.B.C.; DANTAS, R.T. Influência das precipitações na produtividade agrícola no Estado da Paraíba. Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental. vol.13, n.4, p. 454-461, 2009a.

SILVA, M.L.M.; BINOT, D.H.B.; GLERIANE, J.M.; LEITE, H.G. Ajuste do modelo de Schumacher e Hall e aplicação de redes neurais artificiais para estimar volume de árvores de eucalipto. Revista Árvore, v. 33, n. 6, 2009b.

SIMÃO, D.G.; SCATENA, V.L. Morphological aspects of the propagation in *Heliconia velloziana* L. Emygd. (Zingiberales: Heliconiaceae). Brazilian Archives of Biology and technology, Curitiba, v. 46, n. 1. P. 65 -72, 2003.

SOUZA, J.L. DE.; NICÁCIO, R.M.; MOURA, M.A.L. Global solar radiation measurements in Maceió, Brazil. Renewable Energy. v. 30, p. 1203 – 1220, 2005.

KACHANOSKI, R.G. & DE JONG, E. Scale dependence and the temporal persistence of spatial patterns of soil water storage. Water Res. Res., v. 24, p. 85-91, 1988.

KOVÁCS, Z.L. "Redes Neurais Artificiais - Fundamentos e Aplicações", Edição Acadêmica, Brasil, 1996.

KRESS, W.J.; BETANCUR, J; ECHEVERRY, B – Heliconias – Llamadas de la selva colombiana. Cristina Uribe Editores, Colombia, 1999.

UZCATEGUI, M.; MACIEL, N.; PÉREZ, M. Effect of three levels of sunlight during growth of *Heliconia orthotricha* 'Eden Pink' and 'Limon' in the inflorescence color and vase life. 10th International Symposium on Postharvest Quality of Ornamental Plants, Porto de Galinhas-PE, 2012.

VACHAUD, G.; PASSERAT DE SILANS, A.; BALABANIS, P.; VAUCLIN, M. Temporal stability of spatially measured soil water probability density function. Soil Sci. Soc. Am. J., n. 49:822-827, 1985.

VALENTINI, L.S.P.; CAMARGO, M.B.P.; ROLIM, G.S.; SOUZA, G.S.; GALLO, P.B. Temperatura do ar em sistemas de produção de café arábica em monocultivo e arborizados com seringueira e coqueiro-anão na região de Mococa, SP. Bragantia, Campinas, v. 69, n. 4, p1005-1010, 2010.

VAREJÃO-SILVA, M. A. Meteorologia e climatologia: versão digital. Recife: INMET, 516 p. 2006.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. Genética biométrica no fitomelhoramento. Ribeirão Preto: [s.n.], 496 p.1992.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. Physical Geography, Silver Spring, v. 2, p. 184-194, 1981.

CAPÍTULO I

ESTABILIDADE TEMPORAL DA PRODUÇÃO DE HASTES FLORAIS DE *HELICONIA* SPP.

RESUMO

A instabilidade da produção de hastes florais de helicônia durante o ano pode estar relacionada com as variações de alguns elementos climáticos, o que demanda informações mais apuradas para o planejamento da produção. No intuito de investigar esse fato, objetivou-se com este trabalho analisar a estabilidade temporal da produção de hastes florais de quatro genótipos de helicônia. Para a análise da estabilidade temporal foi conhecida a diferença relativa do parâmetro hastes florais colhidas por mês (HCM), no período de maio/2004 a março/2012. Resultados mostraram que a cv. Golden Torch apresentou HCM mais estável em abril, setembro foi o mês em que houve maior queda de produção (39,46%) e dezembro com uma produção maior de 87,02%, comparados com a média anual. A cv. Red Opal no mês de setembro apresentou um HCM 31,43% maior, sendo julho considerado um mês estável e fevereiro um mês de queda na produção de 44,8%. Para a *H. rauliniana* o mês mais estável foi setembro, com um aumento na produção mais acentuado no mês de novembro (274,8%). Já para a cv. Fire Bird o mês mais estável foi abril, sendo novembro com menor HCM e o mês de março com uma produção maior de 65%. No geral, o conhecimento da estabilidade temporal para as cultivares analisadas servirá de suporte para o planejamento da produção para os agricultores de helicônias na Zona da Mata de Pernambuco.

Palavras-chave: agrometeorologia, flores tropicais, monitoramento agrícola, variabilidade temporal.

TEMPORAL STABILITY OF PRODUCTION OF FLORAL STEMS FROM *Heliconia* spp.

ABSTRACT

The instability of production of heliconia flower stalks during the year can be linked to variations of some climatic elements, which results in more accurate demand information for production planning. In order to investigate this fact, the aim of this work was to analyze the temporal stability of the production of flower stalks of four genotypes of heliconia. To analyze the temporal stability was known the relative difference parameter (HCM) each month, between May/2004 to March/2012. Results showed that cv. Golden Torch HCM showed more stable in April, September was the month in which there was a greater decrease in production (39,46%) and December is 87,02% increase, compared with the annual average. The cv. Red Opal in September showed a greater HCM 31,43%, being July one month considered stable and February a month of fall in production of 44,8%. For *H. rauliniana* stable over the month was September, with a more pronounced increase in production in November (274,8%). About cv. Fire Bird stable over the month was April, November with the lower HCM and March with increase in production of 65%. Overall knowledge of temporal stability for the cultivars analyzed serve as support for production planning for farmers heliconias in the Forest Zone of Pernambuco.

Keywords: agrometeorology, tropical flowers, agricultural monitoring, temporal variability.

INTRODUÇÃO

A exportação de flores do Brasil após nove anos de recordes consecutivos registrou uma redução de 7,89%. Isso reflete a conjuntura econômica depressiva nos principais mercados importadores mundiais (zona do Euro, EUA e Japão). Porém a floricultura brasileira tem investido no abastecimento do mercado interno para manter-se a salvo da crise internacional (IBRAFLOR, 2011).

A *Heliconia* é um gênero com origem nas regiões tropicais e muitas espécies apresentam sazonalidade na floração. Criley (2000) e (2003) ao realizar trabalhos que envolveram estudos de fenologia do gênero *Heliconia* observou que fatores como fotoperíodo, temperatura do ar e luminosidade alteraram a floração.

Segundo Cruz & Regazzi (1997) parâmetros importantes como a estabilidade (previsibilidade do genótipo em responder à melhoria do ambiente) pode ser estimada, com experimentos em que são realizados cortes sucessivos e avaliações periódicas de cultivares ao longo do tempo. Sendo assim, Valério et. al. (2009) ressaltam que. o uso de avaliações em diferentes gerações e anos de cultivo é indispensável para uma melhor resposta para a estabilidade.

No entanto, existem várias metodologias para a análise de estabilidade e adaptabilidade, que diferem em conceitos e a princípios estatísticos (Nascimento et, al., 2010). Ao aplicar dois métodos de estabilidade, o de Playsed & Person (1959) e o de Kang (1988), Daher, et. al (2003) encontraram uma ótima estabilidade e produtividade para o clone de capim elefante (CNPGL 91 F 11-2) e a cultivar Pioneiro, que se destacaram como promissores para as condições de Campos de Goytacazes no Rio de Janeiro.

Ribeiro et al. (2009) em experimento com 16 cultivares de feijão, a adaptabilidade e estabilidade foram avaliadas utilizando os métodos de Eberhart & Russel e de Linn & Binns, no qual as cultivares foram submetidas a 20 ambientes no Rio Grande do Sul, durante dois anos agrícolas de 2004/2005 a 2006/2007. As duas metodologias aplicadas concordaram na identificação da cultivar Guapo Brilhante como estável para a produtividade de grãos.

Gouvêa et. al. (2011) utilizaram cinco métodos para avaliar a estabilidade temporal do rendimento da seringueira. Sendo eles: o método de

Wricke, Eberhart & Russell, Lin & Binns, análise dos efeitos aditivos principais e interação multiplicativa (AMMI) e média harmônica da performance relativa dos valores genéticos (MHPRV). Como resultado constataram que as análises de estabilidade baseadas em diferentes princípios mostram concordância na indicação de genótipos estáveis.

Já Vachaud et al. (1985), ao representar a umidade do solo, com reduzido esforço amostral, propuseram o conceito de estabilidade temporal e Kachanoski & De Jong (1988) expandiram o conceito, em que a correlação entre valores medidos em instantes consecutivos pode ser utilizada como ferramenta para análise de estabilidade temporal. Esse teste, mais simples que o anterior, permite avaliar estatisticamente o grau de persistência temporal da distribuição espacial.

Os problemas relativos à condutividade hidráulica podem ser resolvidos por meio da verificação da estabilidade temporal, sobretudo para problemas relativos à amostragem. A medição de propriedades do solo com alta variabilidade e a aplicação da análise de variabilidade temporal gera informações científicas mais claras, cujos resultados poderão ser utilizados com grande confiança (MELO FILHO & LIBARDI, 2005).

No entanto, algumas metodologias podem proporcionar estimativas inadequadas, podendo classificar incorretamente quanto à estabilidade e a adaptabilidade quando ocorrem nos dados pontos discrepantes, não refletindo a verdadeira relação entre a variável ambiental e a genotípica. Como exemplo de não adequação a determinados conjuntos de dados, têm-se as estimativas baseada em análise de regressão, a de Lin & Binn (1988), a de Carneiro (1998) e a metodologia do centroide. Sendo assim buscam-se novas metodologias para a estimação dos parâmetros de estabilidade e adaptabilidade que melhor estimem a relação entre a cultivar e o ambiente (Nascimento, et al. 2010).

Diante do exposto, objetivou-se com esse experimento determinar a estabilidade temporal da produção de hastes florais de quatro genótipos de helicônia.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados para as análises foram fornecidos pelo Laboratório de Floricultura da UFRPE, estes dados foram gerados a partir de coletas,

observações e medições de experimentos que foram conduzidos no período de dezembro de 2003 a março de 2012, sendo de dez/2003 a jun/2006 foi implantado o primeiro experimento e o período de jan/2007 a mar/2012 foi implantado o segundo, na área experimental do Banco de Germoplasma de Helicônias da UFRPE, localizada no município de Camaragibe (Aldeia km 13) - PE, latitude 7°56'33" Sul, longitude 35°1'50' Oeste e 100 m de altitude. O município possui clima tropical quente e úmido do tipo As', segundo a classificação climática de Köppen. A temperatura do ar média anual da região é de 25,1 °C e a precipitação média mensal de 171 mm, com máxima de 377 mm e mínima de 37 mm (ITEP, 2008).

Dentre os dados gerais da coleção, foram selecionados quatro genótipos de helicônias para a avaliação da produção de hastes florais, para o presente estudo, por apresentarem características diferenciadas como: a *H. psittacorum* L.f. Red Opal (Figura 4a), inflorescências de pequeno porte e produtiva, *H. psittacorum* x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch (Figura 4b), com grande aceitação no mercado, produtiva e produzida em todo o Brasil, a *H. stricta* Fire Bird (Figura 4c), inflorescência de médio porte e a *H. rauliniana* (Figura 4d), com períodos de produção sazonal, mas muito produtiva nos períodos de floração.

As hastes florais foram colhidas duas vezes por semana, quando estas apresentaram duas ou três brácteas abertas, para o acompanhamento da produção de hastes florais colhidas por touceira por mês (HCM).

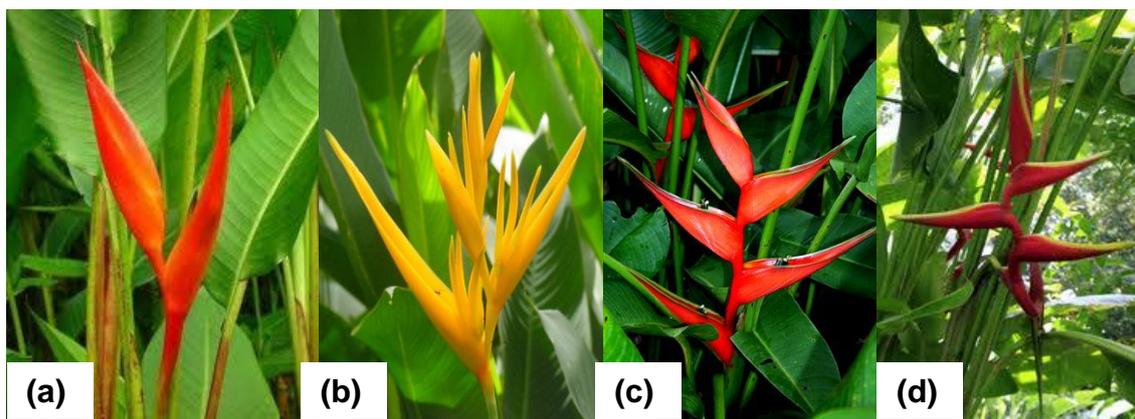


Figura 4. Hastes florais de quatro genótipos de *Heliconia* spp.: *H. psittacorum* L.f. Red Opal (a), *H. psittacorum* x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch (b), *H. stricta* Fire Bird (c) e *H. rauliniana* (d).

As variáveis meteorológicas foram obtidas a partir de dados diários, onde foram calculadas as médias mensais de temperatura do ar média (TM); temperatura do ar mínima (Tmin) e temperatura do ar máxima (Tmax), assim como foi realizado um somatório das precipitações diárias para a obtenção dos dados mensais de precipitação (PREC). Esses dados foram obtidos por meio de uma estação meteorológica localizada a aproximadamente 3 km da implantação do experimento, no período de janeiro de 2003 a junho de 2006 e entre setembro de 2007 a março de 2012 (LAMEP/ITEP, 2012). No local do experimento foi implantado um sistema de irrigação do tipo canhão, ou seja, a condução do experimento foi sem restrição hídrica.

Os dados foram analisados com o auxílio do programa STATISTICA 7, para obtenção dos principais parâmetros estatísticos (média, variância, desvio-padrão, coeficiente de variação, valor mínimo, valor máximo, assimetria, curtose e distribuição normal por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade de erro. O mesmo programa foi utilizado para construção dos gráficos do tipo Box-plot.

A estabilidade temporal da produção de hastes florais (HCM) foi determinada usando a técnica desenvolvida por Vachaud et al. (1985), baseada no cálculo da diferença relativa, o que permitiu a análise dos desvios entre valores independentes, os valores observados e a média desses valores. Foi calculada a diferença relativa para os quatro genótipos de *Heliconia* spp. para a variável HCM, conforme a Equação 2:

$$DR_{ij}(\Theta) = \frac{\Theta_{ij} - \bar{\Theta}_j}{\bar{\Theta}_j} \cdot 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que,

DR_{ij} é a diferença relativa entre a determinação individual para um local i no tempo j ;

Θ_{ij} é o HCM no mês i e no tempo j ;

$\bar{\Theta}_j$ é o HCM média para todas as posições no tempo j N posições, no momento j .

A média para a diferença relativa (\overline{DR}) foi calculada pela seguinte equação (Equação 3):

$$\overline{DR}(\Theta) = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^n DR(\Theta) \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que,

$DR(\Theta)$ é a diferença relativa entre a determinação individual para um local i no tempo j ;

m e n é o número de observações no tempo j .

Após a determinação dos valores de diferença relativa e seu respectivo desvio-padrão, foi realizada a análise do coeficiente de correlação de Pearson entre a produção (HCM) e as variáveis meteorológicas (TM, PREC e N). Primeiramente foi conhecida a covariância entre duas variáveis, conforme a Equação 4 e em seguida calculado o coeficiente de correlação linear de Pearson (r), cujo estimador é apresentado na Equação 5.

$$S_{X,Y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n-1} \quad (\text{Eq. 4})$$

Em que,

S_{xy} é a covariância amostral entre as variáveis X e Y ;

x e y são as médias aritméticas de cada uma das variáveis;

n é o tamanho da amostra;

x_i e y_i são as observações simultâneas das variáveis.

$$r = \frac{S_{X,Y}}{S_X S_Y} \quad (\text{Eq. 5})$$

Em que,

r = coeficiente de correlação de Pearson

S_{xy} é a covariância amostral entre as variáveis X e Y

S_X e S_Y são os desvios padrão das amostras

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nota-se pelas Figuras 5a e b que no primeiro experimento o início do florescimento ocorreu em maio de 2004, cinco meses após o plantio e a cv. Golden torch foi a primeira das quatro cultivares a florescer. O mesmo foi observado no segundo experimento no qual a cv. Golden torch foi a mais precoce para o florescimento, o que possibilitou a coleta de hastes florais no ponto de colheita, em setembro de 2007, sete meses após o plantio. Foi observado que a *H. rauliniana* floresceu mais tarde tanto no primeiro quanto no segundo experimento.

As maiores temperaturas médias do ar favoreceram o HCM para a cv. Fire Bird, cv. Golden Torch e alguns meses para a *H. rauliniana* (Figura 5a), o que pode ser explicado pela correlação positiva dessas cultivares para a temperatura do ar, com $r = 0,10$, $r = 0,26$ e $r = 0,30$, respectivamente (Tabela 1). As temperaturas menores favoreceram o aumento de HCM para a cv. Red Opal, com exceção para setembro de 2008, no entanto pode ter relação com uma maior precipitação nos meses precedentes (Figura 5a). Os maiores valores de fotoperíodo favoreceram o HCM para a *H. rauliniana*, podendo ser constatado pela correlação positiva de 0,58 para as duas variáveis (Tabela 1). Já para a cv. Golden Torch e cv. Red Opal menores valores de fotoperíodos, ou seja, dias mais curtos favoreceram a colheita de hastes florais (Figura 5b), no entanto foi comprovado uma leve correlação negativa de 0,09 para a cv. Golden Torch e uma correlação negativa maior ($r = -0,30$) para a cv. Red Opal.

A variação da precipitação mostra que para a *H. rauliniana* houve maior HCM para os meses de menor precipitação, para os meses de maiores precipitações não houve produção (Figura 5b), o que pode ser comprovado pela correlação negativa de 0,40 (Tabela 1). Já a cv. Fire Bird obteve os maiores HCM no início do período chuvoso. Esses resultados corroboram com o afirmado por Brachtvogel et al. (2009), no qual a temperatura do ar e precipitação estão entre os elementos climáticos de maior influência na fisiologia da planta.

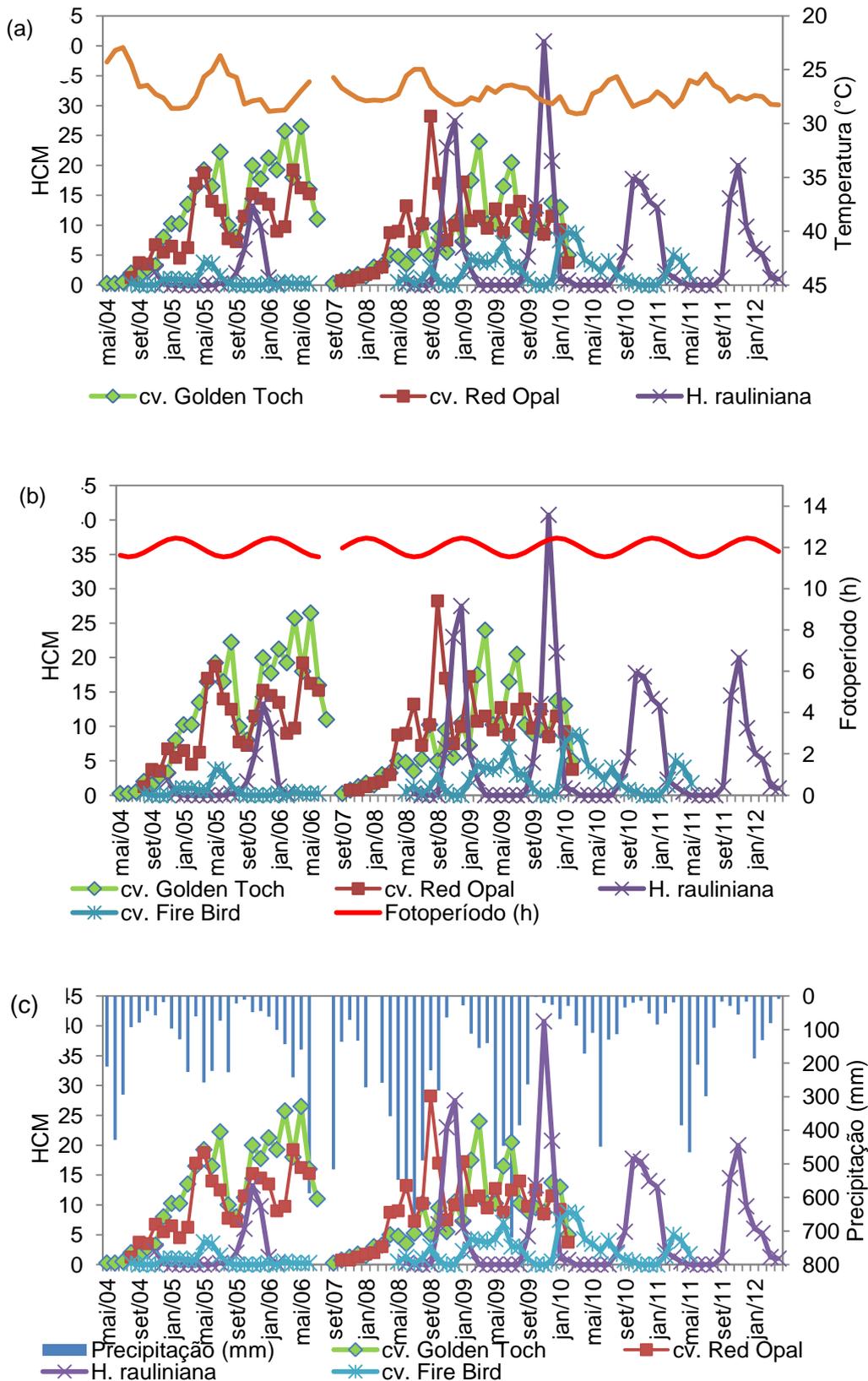


Figura 5. Produção de hastes florais mensal (HCM) de *H. psittacorum* L.f. Red Opal, *H. psittacorum* x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch, *H. stricta* Fire Bird e *H. rauliniana*. a) Produção e Temperatura média mensal; b) Produção e Fotoperíodo médio mensal; c) Produção e Precipitação mensal.

Tabela 1. Coeficientes de correlação de Pearson entre a produção de helicônia (HCM) e Temperatura média do ar (TM), Precipitação (PREC) e Fotoperíodo (N).

Genótipo	TM x HCM	PREC X HCM	N X HCM
<i>H. psittacorum</i> x <i>H. spathocircinata</i> cv. Golden Torch	0.26	-0.07	-0.09
<i>H. psittacorum</i> L.f. Red Opal	-0.08	0.18	-0.30
<i>H. rauliniana</i>	0.30	-0.40	0.58
<i>H. stricta</i> Fire Bird	0.10	0.11	-0.24

Na Tabela 2 verificam-se os principais parâmetros estatísticos da produção de hastes florais referentes às cultivares estudadas. Gomes (1976) classifica o coeficiente de variação como baixo (<10%), médio (10% - 20%), alto (20% - 30%) e muito alto (>30), desta maneira, os dados apresentaram coeficiente de variação muito alto. O que pode ser explicado pelo fato de que a produção de flores durante o tempo é instável, sobretudo em espécies onde apresentam maior sazonalidade, fato este que pode ter influência das variáveis climáticas. Outros trabalhos sobre fenologia do gênero em *Heliconia* mostraram que o fotoperíodo, a temperatura do ar e a luminosidade alteraram a floração, fazendo com que algumas cultivares apresentassem sazonalidade na produção de hastes florais (GEERTSEN, 1992; CRILEY, 1999, 2003; GOMES et al, 2010)

Nota-se que apenas para cv. Golden Torch e cv. Red Opal a distribuição foi considerada normal referente o conjunto de dados, conforme constatado pelo teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov com probabilidade de erro de 5% (Tabela 2). Os valores de média e mediana para os dados de produção mensal de hastes florais estão bem próximos para as duas cultivares, no entanto um padrão diferente na cv. Golden Torch foi observado quando analisados os valores de assimetria e curtose (0,46 e -0,74, respectivamente).

Segundo Isaaks & Srivastava (1989) o coeficiente de assimetria é mais sensível à presença de valores extremos, quando comparado com a média, mediana e desvio padrão, sendo assim um único valor extremo pode comprometer os resultados de coeficiente de assimetria. Isso pode ser observado na cv. Fire Bird e na *H. rauliniana* com valores de assimetria 2,19 e 1,51, respectivamente, o que demonstra o maior número de valores extremos nos conjuntos de dados (Tabela 2). Esses valores estão associados a variação

sazonal dessas cultivares com produção nula em alguns meses, o que pode ser observado nos valores mínimos para as duas cultivares.

Tabela 2. Parâmetros estatísticos para a produção de hastes florais mensal de *Heliconia* spp.

	Genótipo			
	<i>H. psittacorum</i> x			
	<i>H. spathocircinata</i> cv. Golden Torch	<i>H. psittacorum</i> L.f. Red Opal	<i>H. rauliniana</i>	<i>H. stricta</i> Fire Bird
Média	10,15	9,86	5,01	1,81
Mediana	10,00	9,63	1,00	0,88
Variância	53,00	31,28	67,68	4,99
DP	7,28	5,59	8,23	2,23
CV %	0,72	0,57	1,64	1,23
Mínimo	0,25	0,75	0,00	0,00
Máximo	26,50	28,25	40,75	8,75
Assimetria	0,46	0,54	2,19	1,51
Curtose	-0,74	0,94	5,39	1,84
D	0,112 n	0,055 n	0,286 Ln	0,225 Ln

DP: Desvio-padrão. CV: Coeficiente de variação. n: Dados que apresentam distribuição normal. D: Desvio máximo em relação à distribuição normal. n: Dados que apresentam distribuição normal. Ln: Dados que apresentam distribuição Lognormal (probabilidade de erro de 5% pelo teste de Kolmogorov-Smirnov).

Os valores extremos e discrepantes para o HCM na *H. rauliniana*, ocorreu por se tratar de uma cultivar sazonal (Figura 6). O mesmo efeito foi observado por Gomes et al. (2010) para a *H. wagneriana* cultivada a pleno sol e por Criley (2000) para a *H. stricta* cv. Dwarf Jamaican cultivada em ambiente controlado.

A cultivar Fire Bird também apresenta característica de sazonalidade, porém, apresentou poucos valores extremos. No entanto, a maior parte do conjunto de dados se encontram mais próximo do limite interquartil inferior, o que demonstra que maior parte dos dados encontram-se próximo a zero, ou seja, produção nula (Figura 6). Já os valores de média e mediana nas cv. Golden Torch e cv. Red Opal, encontram-se bem próximos indicando uma simetria na distribuição dos dados.

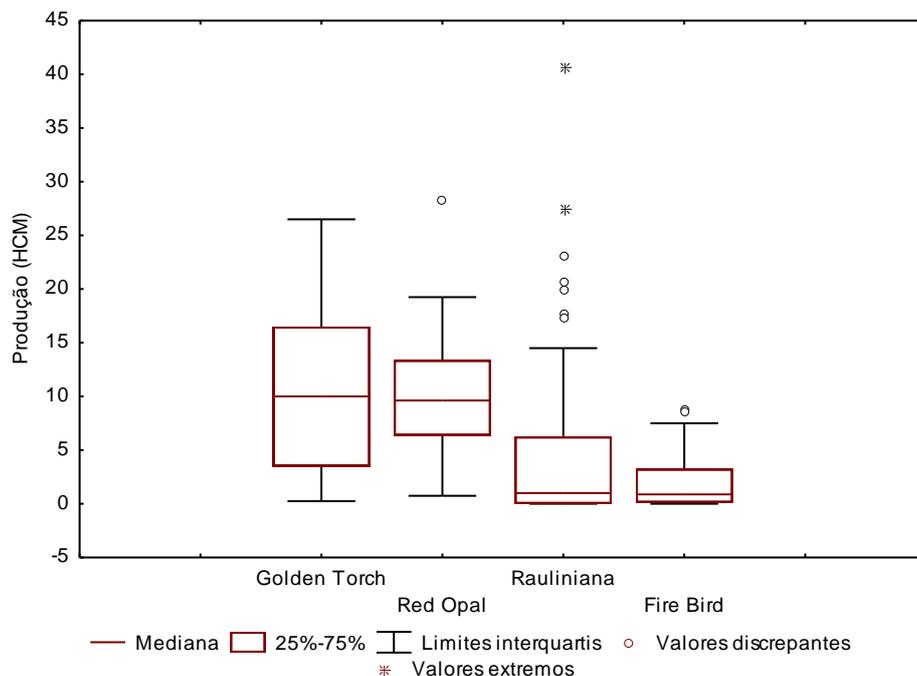


Figura 6. Produção de hastes florais mensal (HCM) de *H. psittacorum* L.f. Red Opal, *H. psittacorum* x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch, *H. stricta* Fire Bird e *H. rauliniana*.

O valor médio para todas as cultivares para o período estudado foi de 5,82 HCM (Figura 7). Nota-se que a cv. Fire Bird apresentou valor médio de 1,81 HCM, o menor valor comparados com as demais. A *H. rauliniana* também ficou a baixo da média geral com o valor de 5,00 HCM. Já as cultivares Golden Torch e Red Opal apresentaram as maiores médias de HCM (10,14 e 9,85, respectivamente). Na produção conjunta mensal das quatro cultivares o mês de maio/2006 e dez/2009 obtiveram os maiores valores de produção mensal (14,33 e 14,5, respectivamente). Já no mês de nov/2011 foi o maior pico de produção com média de 20 HCM, no entanto não estava sendo avaliada as cultivares Golden Torch e Red Opal, por ter cessado a avaliação das mesmas no mês de fev/2010.

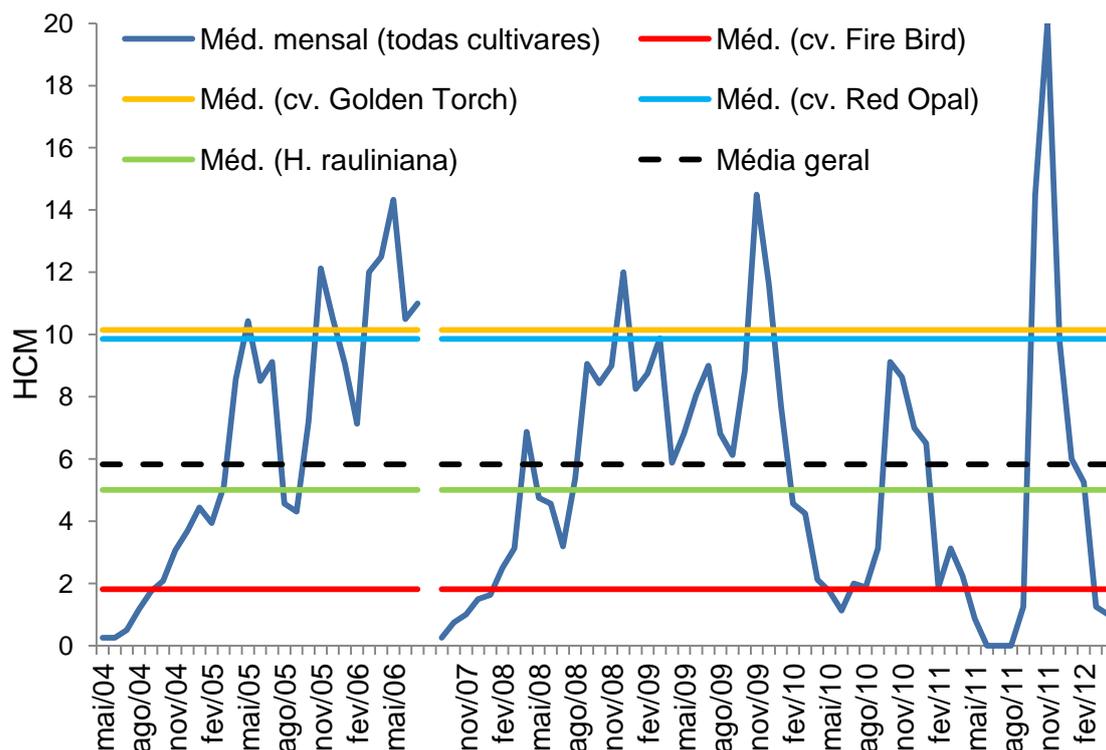


Figura 7. Médias de produção de hastes florais de *H. psittacorum* x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch, *H. psittacorum* L.f. Red Opal, *H. rauliniana* e *H. stricta* Fire Bird.

A Figura 8 mostra os desvios e as diferenças relativas para as quatro cultivares. Melo Filho & Libardi (2005) ressaltam que o desvio padrão relacionado com a diferença relativa estima o grau da confiabilidade da medida da diferença relativa, ou seja, quanto menor for o desvio-padrão mais confiável é o valor da diferença relativa. Sendo assim a cultivar Golden Torch apresentou maior estabilidade para o mês de abril, ou seja, nesse mês os valores de HCM ficaram mais próximos da média para todo o ano. Desta maneira pode-se dizer que para a cv. Golden Torch a produção de hastes florais em setembro é 39,46% ($\pm 23,5\%$) menor que a HCM média do ano, ao passo que no mês de dezembro é 87,02% maior, no entanto por apresentar um desvio alto (0,95) essa estimativa não é muito confiável (Figura 8a).

A Figura 8b mostra que a cv. Red Opal apresentou no mês de fevereiro menor diferença relativa média (-0,448), o que representa um HCM de 44,8% menor em relação a média anual. No mês de setembro apresentou HCM 31,43% maior em comparação a média, no entanto obteve desvio muito alto

(0,90). O mês de julho apresentou a menor diferença relativa juntamente com um desvio mais próximo do zero, o que representa o mês onde a produção de hastes florais é mais próxima da média anual. Já no mês de dezembro o aumento na produção é da ordem de 19,57% ($\pm 17,7\%$) comparado com a média de HCM para o período estudado.

Para a *H. rauliniana* a estabilidade da produção de hastes florais é no mês de setembro, com um aumento na produção mais acentuado no mês de novembro, em que a diferença relativa é 274,8% ($\pm 139,81\%$) (Figura 8c). Valor este que está relacionado ao fato da *H. rauliniana* mostrar uma variação sazonal, o que pode estar diretamente relacionado com as variáveis climáticas mostradas nas Figuras 5a e 5b, sendo assim o produtor terá que ajustar seu planejamento para a comercialização dessa cultivar.

Para a cv. Fire Bird a Figura 8d mostra que o mês mais estável foi abril, o que apresentou menores valores de diferença relativa e desvio. O mês de novembro apresentou maior queda na produção, com uma diferença relativa média de 87,6% ($\pm 27,5\%$) comparado com a média anual. Já o mês de março apresentou maior aumento na produção, com uma diferença relativa média de 65,4% ($\pm 65,0\%$).

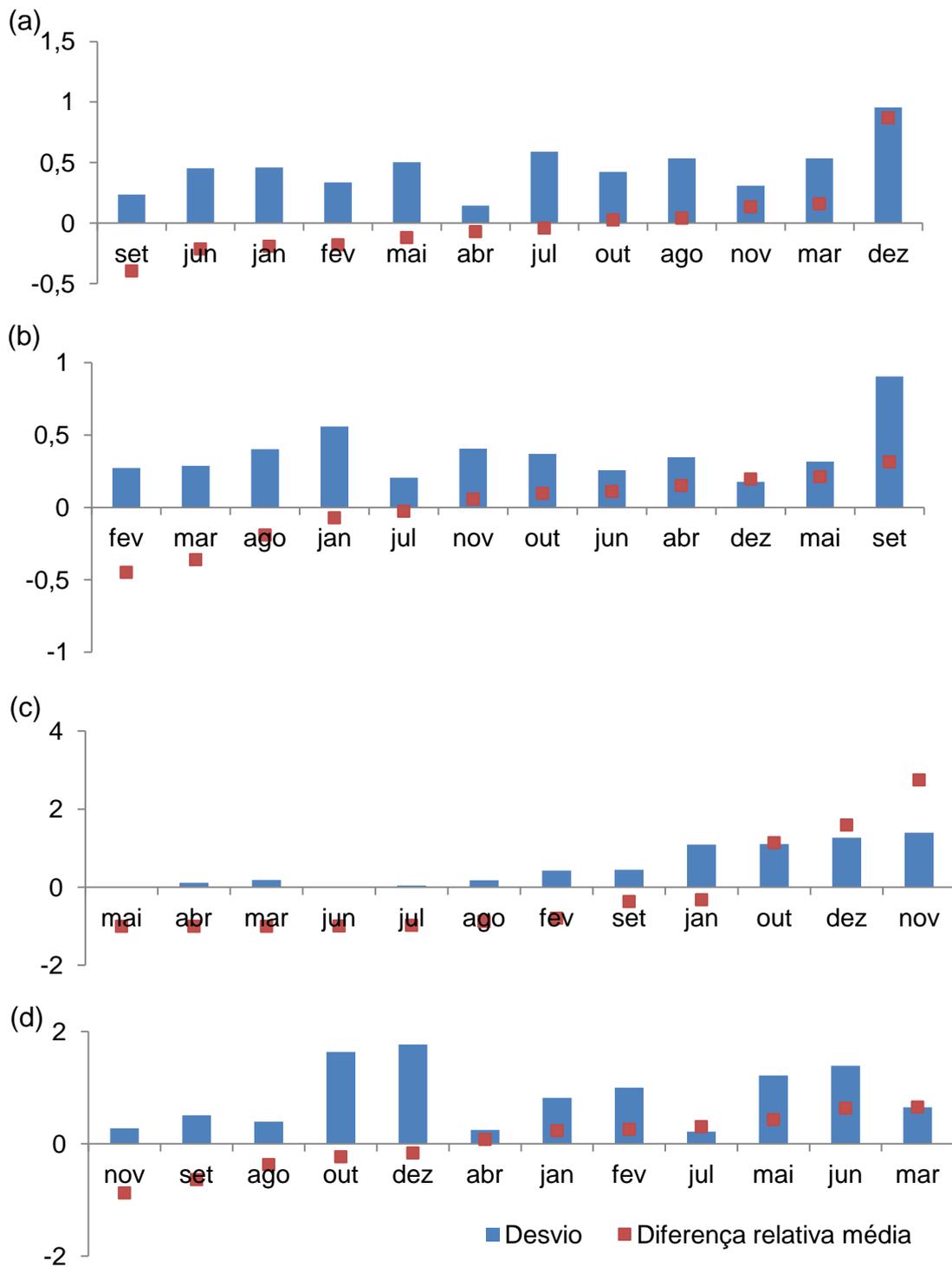


Figura 8. Desvio e diferença relativa média da produção de hastes florais mensal (HCM). a) *H. psittacorum* x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch; b) *H. psittacorum* L.f. Red Opal; c) *H. rauliniana* e d) *H. stricta* Fire Bird.

CONCLUSÕES

Para a cv. Golden Torch a produção de hastes florais foi mais estável em abril, no entanto setembro é o mês em que houve uma maior queda de produção, no qual apresentou HCM 39,46% ($\pm 23,5\%$) menor que a HCM média do ano, ao passo que no mês de dezembro é 87,02% maior. Já a cv. Red Opal o mês de setembro apresentou um HCM 31,43% maior, sendo o mês de julho considerado um mês estável e fevereiro um mês de queda na produção de 44,8%.

Para a *H. rauliniana* a estabilidade da produção de hastes florais é no mês de setembro, com um aumento na produção no mês de novembro, onde a diferença relativa média é 274,8%. Já para a cv. Fire Bird o mês mais estável foi abril, sendo novembro o mês que apresentou maior queda no HCM e o mês de março com maior aumento na produção, com uma diferença relativa média de 65%, comparado com a média anual.

O conhecimento da estabilidade temporal para as cultivares analisadas servirá de suporte para o planejamento da produção para os agricultores de helicônias na Zona da Mata de Pernambuco.

REFERÊNCIAS

- BRACHTVOGEL, E.L.; PEREIRA, F.R.S.; CRUZ, S.C.S.; BICUDO, S.J. Densidades populacionais de milho em arranjos espaciais convencional e equidistante entre plantas. *Ciência Rural*, v.39, n.8, p.2334-2339, 2009.
- CARGNELUTTI FILHO, A.; MATZENAUER, R. MALUF, J.R.T. FONTANA, D.C. Análise decadal da temperatura do estado do Rio Grande do Sul. *Revista de Biologia e Ciência da Terra, Campina Grande*, v.8,n. 1, p. 258-263, 2008.
- CARNEIRO, P.C.S. Novas metodologias de análise da adaptabilidade e estabilidade de comportamento. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 168p. 1988.
- CRILEY, R.A. Seasonal Flowering Patterns For Heliconia Shown By Grower Records. *Acta Horticulturae*, v. 541,p.159-165. 2000.
- CRILEY, R.A.; UCHIDA, J.Y.; ZHENGGING FU, Z.F. Productivity and periodicity of flowering in *Heliconia orthotricha* cultivares. *Acta Hort. (ISHS)*, n. 624, p. 207-212, 2003.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa: UFV, 390 p.1997.

DAHER, R.F.; PEREIRA, M.G.; AMARAL JÚNIOR, A.T.; PEREIRA, A.V.; LÉDO, F.J.S. Estabilidade da produção forrageira de clones de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum). *Ciênc. agrotec.*, Lavras. V.27, n.4, p.788-797, jul./ago., 2003.

GOMES, R.J.; LOGES, V.; GUISELINI, C. Influência do fotoperíodo e temperatura do ar no florescimento de hastes florais de *Heliconia* spp. Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belém, 2010.

GOUVÊA, L.R.L.; SILVA, G.A.P.; SCALLOP JÚNIOR, E.J.; GONÇALVES, P.S. Different methods to assess yield temporal stability in rubber. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.46, n.5, p.491-498, 2011.

IBRAFLO – Instituto Brasileiro de Floricultura. Boletim de análise conjuntural do mercado de flores e plantas ornamentais no Brasil março de 2011. Holambra, 7 p. 2011.

ITEP – Instituto de Tecnologia de Pernambuco. 2008.

ISAACS, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. An introduction to applied Geostatistics. New York: Oxford University Press, 1989.

KACHANOSKI, R.G. & DE JONG, E. Scale dependence and the temporal persistence of spatial patterns of soil water storage. *Water Res. Res.*, v. 24, p. 85-91, 1988.

KANG, M. J. A rank-sum method for selecting high-yielding, stable corn genotypes. *Cereal Research Communities*, Szeged, v. 16, p. 113-115, 1988.

PLAISTED, R. L.; PETERSON, L. C. A technique for evaluating the ability of selections to yield consistently in different locations or seasons. *American Potato Journal*, Orono, v. 36, p. 381-385, 1959.

LIN, C.S.; BINNS, M.R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. *Canadian Journal of Plant Science*, Ottawa, v. 68, n. 3, n. 1, p. 193-198, 1988.

MACHADO, J.C.; Souza, J.C.; RAMALHO, M.A.P.; LIMA, J.L. Estabilidade de produção de híbridos simples e duplos de milho oriundos de um mesmo conjunto genético. *Bragantia*, Campinas, v.67, n.3, p.627-631, 2008.

MELO FILHO, J.F.; LIBARDI, P.L.; Estabilidade temporal de medidas do teor e do potencial mátrico da água no solo em uma transeção. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29. p. 497-506, 2005.

NASCIMENTO, M.; CRUZ, C.D.; CAMPANA, A.C.M.; TOMAZ, R.S.; SALGADO, C.C; FERREIRA, R. de P. Alteração no método centroide de avaliação da adaptabilidade genotípica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.44, p.263-269, 2009.

NASCIMENTO, M; FERREIRA, A; FERRÃO, R.G.; CAMPANA, A.C.; BHERING, L.L.; CRUZ, C.D.; FERRÃO, M.A.G.; FONSECA, A.F.A.

Adaptabilidade e estabilidade via regressão não paramétrica em genótipos de café. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.45, n.1, p.41-48, 2010.

SILVEIRA, G.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C.; VALÉRIO, I.P.; BENIN, G.; RIBEIRO, G.; CRESTANI, M.; LUCHE, H.S.; SILVA, J.A.G. Efeito da densidade de semeadura e potencial de afilhamento sobre a adaptabilidade e estabilidade em trigo Bragantia, Campinas, v.69, n.1, p.63-70, 2010.

RIBEIRO, N.D.; SOUZA, J.F.; ANTUNES, I.F.; POERSCH, N.L. Estabilidade de produção de cultivares de feijão de diferentes grupos comerciais no estado do Rio Grande do Sul. Bragantia, Campinas, v.68, n.2, p.339-346, 2009.

VACHAUD, G.; PASSERAT DE SILANS, A.; BALABANIS, P.; VAUCLIN, M. Temporal stability of spatially measured soil water probability density function. Soil Sci. Soc. Am. J., n. 49:822-827, 1985.

VALÉRIO, I.P.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C.; LORENCETTI, C.; SOUZA, V.Q.; SILVA, J.A.G.; HARWING, I.; SCHIMIDT, D.A.M.; BERTAN, I.; RIBEIRO, G. Estabilidade da produção e da capacidade de combinação de diferentes populações de aveia. Ciências Agrárias, Londrina, v. 30, n. 2, p. 331-346, abr./jun. 2009.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. Genética biométrica no fitomelhoramento. Ribeirão Preto: [s.n.], 496 p.1992.

CAPÍTULO II

MODELOS DE PREDIÇÃO DA PRODUÇÃO DE HASTES FLORAIS DE *HELICONIA* SPP. POR MEIO DE REGRESSÃO LINEAR MULTIVARIADA E REDES NEURAS ARTIFICIAIS

RESUMO

Objetivou-se com esse experimento desenvolver equações de estimação por meio de regressões múltiplas e obter estruturas de redes neurais artificiais (RNA) capazes de prever a produção de hastes colhidas por semana (HCS) de quatro espécies de *Heliconia* spp. a partir de variáveis meteorológicas. Foram utilizados dados semanais de Temperatura do ar média (TM, °C), fotoperíodo (N, horas), precipitação (PREC, mm). Os dados utilizados para treinamento e validação foram obtidos aleatoriamente de um histórico entre 2004 e 2012 e posteriormente realizado o teste. As melhores tipologias de RNAs para predição do HCS foram utilizadas para simulação dos efeitos do aumento da temperatura do ar em dois cenários (1°C e 3°C). Os coeficientes de determinação (R^2) para a predição do HCS utilizando as RNAs resultaram em valores que variaram entre 0,48 a 0,78. Resultados estes melhores que os encontrados pela estimativa realizada pela regressão múltipla que variou entre 0,11 a 0,29. A utilização de RNAs comparadas à regressão múltipla mostrou-se mais eficiente para a predição da produção de hastes florais de quatro espécies de *Heliconia* spp. com base na TM, N e PREC. Para todas as espécies estudadas o resultado das predições das simulações de aumento de temperatura do ar (acréscimo de 1 e 3°C) indicou queda na produção de hastes florais que variou entre 33,19% a 81,78%.

Palavras-chave: agrometeorologia, flores tropicais, inteligência artificial, modelagem.

**MODELS FOR PREDICTING THE PRODUCTION OF FLORAL STEMS
HELICONIA SPP. THROUGH A MULTIVARIATE LINEAR REGRESSION
AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS**

ABSTRACT

The objective of this experiment develop estimating equations using multiple regressions and obtain structures of artificial neural networks (ANN) capable of predicting the production of stems harvested per week (HCS) of four species of *Heliconia* spp. by meteorological variables. Data were used weekly average air temperature (TM, °C), photoperiod (N, h), precipitation (PREC, mm). Were randomly selected year for training and validation, between 2004 and 2012 and subsequently conducted the test. The best ANNs types of prediction for HCS were used to simulate the effects of increased air temperature in two scenarios (1°C and 3°C). The coefficient of determination (R^2) for the prediction of HCS using NNAs resulted in values ranging from 0.48 to 0.78. These results better than those found by the estimate made by multiple regression that ranged from 0.11 to 0.29. The use of NNAs compared to multiple regression was more efficient for predicting the production of flower stalks of four species of *Heliconia* spp. based on TM, N, and PREC. For all species studied the outcome of the predictions of the simulations of increased air temperature indicated a fall in production of flower stalks which ranged from 33.19% to 81,78%.

Keywords: agrometeorology, tropical flowers, artificial intelligence, numerical modeling.

INTRODUÇÃO

A modelagem agrometeorológica é uma importante ferramenta para quantificar o efeito do clima no crescimento e desenvolvimento da planta, e consequente previsão de produtividade e produção para várias culturas (DOURADO NETO et al., 2004).

As equações de regressão são utilizadas para resolução de problemas em diversas áreas de estudo. Na agricultura são bastante utilizadas para prever a produção, como constatado por Rolim et al. (2011), no qual obteve eficientes modelos de regressão para a estimativa de produção acumulada por planta de jiló. No entanto, Medeiros et al. (2005) salienta que para algumas ocasiões não se obtém boas estimativas, sendo necessário outras alternativas para estimativas mais confiáveis.

As Redes Neurais Artificiais (RNA) podem ser uma alternativa para a modelagem de fenômenos biológicos, que dificilmente são explicados pela matemática, física e estatística clássica. As RNA são compostas por unidades de processamento simples, denominadas neurônios, que computam determinadas funções matemáticas, geralmente não-lineares, a partir de entradas recebidas. Estas unidades são dispostas paralelamente constituindo camadas, que são interligadas com as unidades de camadas vizinhas por conexões geralmente associadas a pesos. Por analogia às interligações dos neurônios no cérebro humano, as conexões entre unidades de uma rede neural são chamadas sinapses, sendo os pesos denominados pesos sinápticos (Guarnieri, 2006).

Segundo Demuth et al. (2012) o treinamento de uma rede neural com parada antecipada consiste em dividir os dados disponíveis em um conjunto de treinamento e um conjunto de validação. O ajuste dos pesos é realizado com o conjunto de treinamento, o conjunto de validação é utilizado para avaliação da capacidade da RNA generalizar para um conjunto de dados diferente daquele utilizado no aprendizado. Assim, ao longo do treinamento, o erro de ambos os conjuntos é medido, e o treinamento é interrompido quando o erro para o conjunto de validação começar a subir.

Alguns autores utilizaram as redes neurais para resolução de problemas nas ciências agrárias. Pandorfi et al. (2011) utilizaram a rede para predição de índices zootécnicos, Guiselini et al. (2010) para estimativa da

evapotranspiração em ambiente protegido e Oliveira et al. (2010) encontraram uma melhor eficiência na estimativa de produção de álcool.

Diante do exposto, objetiva-se com esse experimento realizar previsões de produção de hastes florais de helicônia utilizando regressão múltipla e Redes Neurais Artificiais, comparar as duas técnicas e simular para dois cenários de aumento de temperatura do ar.

MATERIAL E MÉTODOS

Utilizou-se os dados dos experimentos do Laboratório de Floricultura da UFRPE, que foram conduzidos no período de dezembro de 2003 a março de 2012, sendo de dez/2003 a jun/2006 foi implantado o primeiro experimento e o período de jan/2007 a mar/2012 foi implantado o segundo. Foram conduzidos na área experimental do Banco de Germoplasma de Helicônias da UFRPE, localizada no município de Camaragibe (Aldeia km 13) - PE, latitude 7°56'33" Sul, longitude 35°1'50' Oeste e 100 m de altitude. O município possui clima tropical quente e úmido do tipo As', segundo a classificação climática de Köppen. A temperatura do ar média anual da região é de 25,1 °C e a precipitação média mensal de 171 mm, com máxima de 377 mm e mínima de 37 mm (ITEP, 2008).

Para o plantio foram adquiridos rizomas doados por produtores da região. Os rizomas foram lavados, as raízes cortadas e em seguida submetidos a tratamento fitossanitário, com nematicida, inseticida e fungicida. Os rizomas dos genótipos foram plantados em covas no espaçamento de 3,0 m entre rizomas na linha e 4,0 m entre as linhas.

Foram escolhidos quatro genótipos de helicônias para a avaliação da produção de hastes florais, por apresentarem características diferenciadas como: a *H. psittacorum* L.f. Red Opal (Figura 9a), inflorescências de pequeno porte e produtiva, *H. psittacorum* x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch (Figura 9b), com grande aceitação no mercado, produtiva e produzida em todo o Brasil, a *H. stricta* Fire Bird (Figura 9c), inflorescência de médio porte e a *H. rauliniana* (Figura 9d), com períodos de produção sazonal, mas muito produtiva nos períodos de floração.

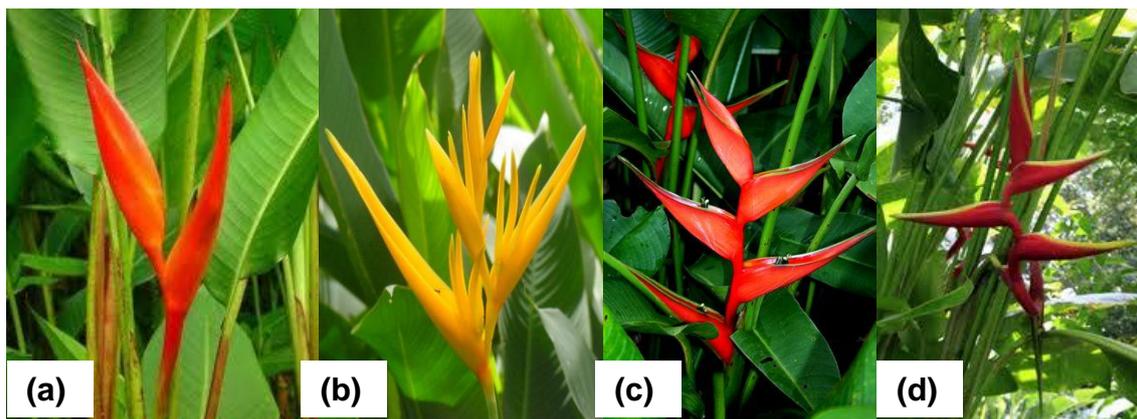


Figura 9. Hastes florais de quatro genótipos de *Heliconia*: *H. psittacorum* L.f. Red Opal (a), *H. psittacorum* x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch (b), *H. stricta* Fire Bird (c) e *H. rauliniana* (d).

As hastes florais foram colhidas duas vezes por semana, quando estas apresentaram duas ou três brácteas abertas, para o acompanhamento do número de hastes florais colhidas por touceira por semana (HCS).

As variáveis meteorológicas foram obtidas a partir de dados diários, no qual foram calculadas as médias semanais de temperatura do ar média (T_m , °C) por meio das temperaturas do ar mínima (T_{min} , °C) e temperaturas do ar máximas (T_{max} , °C), assim como foi realizado um somatório das precipitações diárias para a obtenção dos dados semanais de precipitação (PREC, mm). Esses dados foram obtidos por meio de uma estação meteorológica localizada a aproximadamente 3 km da implantação do experimento, no período de janeiro de 2003 a março de 2012 (LAMEP/ITEP, 2012). No local do experimento foi implantado um sistema de irrigação do tipo canhão, ou seja, a condução do experimento foi sem restrição hídrica.

O fotoperíodo (N , h) para cada dia foi obtido pela Equação (6), expressa em horas e em seguida realizada a média semanal.

$$N = 0,133 x (\arcsin - \text{tg} \phi \delta) \quad (\text{Eq. 6})$$

Em que:

N = Fotoperíodo diário, horas

δ - Declinação solar para cada dia, graus

ϕ - Latitude, graus

Para a estimativa de HCS utilizando a Regressão Linear Múltipla, o conjunto total de dados foi separado em dois conjuntos.

O primeiro conjunto foi utilizado para gerar os coeficientes das equações de regressão múltipla em função das variáveis meteorológicas e da planta. Foi relacionado à produção (HCS) com a TM (°C), N (h) e PREC (mm).

Posteriormente as equações foram testadas por meio de substituição simples das variáveis preditoras do primeiro pelo segundo conjunto de dados, obtendo a produção estimada (HCS). Foi comparada a produção de hastes florais medida em campo foi comparada com a produção estimada, por meio da análise de regressão linear múltipla.

Para a estimação da HCS, variável de saída, por meio de Redes Neurais Artificiais, foram utilizados dados semanais de Temperatura do ar média (TM, °C), fotoperíodo (N, horas) e precipitação (PREC, mm), sendo estas as variáveis de entrada. Foram obtidos aleatoriamente os anos para treinamento e para validação, entre 2004 e 2012.

As RNAs foram treinadas para a predição da produção de hastes florais, no entanto para aumentar a capacidade de generalização das RNAs, foi utilizada uma variante da técnica de treinamento por validação cruzada conhecida como leaving one out. Dessa forma definiu-se as arquiteturas e números de ciclos de treinamento que melhor se ajustassem ao problema, para, então, realizar o treinamento das RNAs.

Foram testadas as arquiteturas do tipo 3-n1-n2-1, que correspondem a um vetor de entrada com três variáveis de entrada, duas camadas intermediárias com n1 e n2 neurônios artificiais, e um neurônio na camada de saída. O vetor de entrada para cada RNA foi composto pelos valores das variáveis meteorológicas, como temperatura média do ar (TM, °C), fotoperíodo (N, h) e precipitação (PREC, mm).

Definiu-se o número de neurônios na camada oculta (camada intermediária entre as camadas de entrada e de saída), que foram determinados por meio de testes, seguidos das funções de transferência e treinamento.

No neurônio da camada de saída e para as camadas intermediárias, foi empregada uma função de ativação do tipo tangente hiperbólica sigmóide para fornecer o valor de hastes colhidas por semana (HCS). A fim de garantir que

cada parâmetro de entrada recebesse igual atenção durante o treinamento, tanto os dados de entrada quanto de saída foram normalizados para o intervalo entre 0 e 1, com a utilização da Equação 7:

$$pn = \frac{p - \min p}{\max p - \min p} \quad (\text{Eq. 7})$$

Em que,

pn = valor normalizado, adimensional;

p = valor observado;

$\min p$ = valor mínimo da amostra;

$\max p$ = valor máximo da amostra.

No treinamento das RNAs foi utilizado o algoritmo de aprendizado de Retropropagação do Erro, que é um algoritmo iterativo para minimizar o erro quadrático médio entre o valor simulado e o valor esperado de hastes colhidas por semana (HCS) na amostra de treinamento. Em cada iteração, os parâmetros w 's e b 's da RNA foram atualizados por meio de uma regra de treinamento, no qual foi utilizado a Levenbert-Marquardt. No treinamento das RNAs, foi utilizado a toolbox neural network do programa computacional MathWorks MATLAB.

Sabido que, no início do treinamento, os parâmetros w 's e b 's são gerados aleatoriamente e que esses valores iniciais podem influenciar o resultado final do treinamento, cada arquitetura de RNA foi treinada várias vezes, sendo escolhida a RNA que apresentou o menor erro quadrático médio (EQM), o qual foi calculado pela Equação 8:

$$\text{EQM} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - E_i)^2 \quad (\text{Eq. 8})$$

Em que,

EQM = erro quadrático médio;

N = número de semanas da amostra teste;

O_i = valor da produção observado na semana i

E_i = valor da produção estimado pela RNA para a semana i

As RNAs que obtiveram os melhores resultados encontrados para treinamento, validação, teste e melhor desempenho, foram utilizados as mesmas tipologias na simulação dos impactos na produção de hastes florais de quatro cultivares de helicônia em dois cenários do aumento de temperatura média do ar. No primeiro cenário foi acrescentado 1 °C na temperatura média do ar e no segundo cenário foi acrescentado 3 °C na temperatura média do ar.

Para analisar o desempenho das RNAs em relação ao procedimento comumente utilizado para estimativa, foram comparados os valores estimados pelas RNAs com os obtidos pelas equações de regressão múltipla. Além disso, foram comparados os valores do coeficiente de determinação (R^2).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verifica-se na Tabela 3, a estimação da produção de hastes florais (HCS) por meio de regressões múltiplas a partir das variáveis meteorológicas, para quatro cultivares de helicônia. No geral os coeficientes de determinação (R^2) foram muito abaixo do esperado. A *H. stricta* Fire Bird apresentou o menor coeficiente ($R^2 = 0,11$), enquanto que a *H. rauliniana* o maior ($R^2 = 0,29$). Assim, para a melhor estimação encontrada, 29% dos dados explicam a produção de hastes florais, número esse considerado baixo por Cargnelutti Filho & Storck (2007), no qual consideram índices inferiores a 0,57 precisão insuficiente para a estimativa ao considerar cultivares de milho.

Não foram encontrados melhores valores para o coeficiente de determinação quando as estimativas foram realizadas somente com duas variáveis preditoras, nesse caso as variáveis meteorológicas. A utilização de equações múltiplas para a estimação da produção de *Heliconia* spp. por meio das variáveis meteorológicas (TM, °C; N, h; e PREC, mm), para a região estudada não obtiveram acurácia na estimação. Fato esse que pode estar relacionado a uma maior complexidade na natureza dos dados. Segundo Medeiros et al. (2005) deve-se, então, empregar outras técnicas para uma melhor estimação.

Tabela 3. Regressões lineares múltiplas entre a produção semanal (HCS) e as variáveis meteorológicas (TM= X_1 , N= X_2 e PREC= X_3).

Espécie	Equações	R ²
<i>H. psittacorum</i> x <i>H. spathocircinata</i> cv. Golden Torch	$Y = 73,9567 + 3,3872 * X_1 - 12,7000 * X_2 - 0,0283 * X_3$	0,26
<i>H. psittacorum</i> L.f. Red Opal	$Y = 125,8802 + 1,0036 * X_1 - 11,9010 * X_2 - 0,0333 * X_3$	0,19
<i>H. stricta</i> Fire Bird	$Y = 18,2719 - 0,1132 * X_1 - 1,2030 * X_2 - 0,0025 * X_3$	0,11
<i>H. rauliniana</i>	$Y = -139,8991 - 0,9709 * X_1 + 14,0790 * X_2 + 0,0004 * X_3$	0,29

TM= Temperatura média semanal, N= Fotoperíodo médio semanal e PREC= Somatório da precipitação semanal.

As arquiteturas de rede neurais foram inicialmente testadas com as funções de transferência logarítmica sigmoidal e tangente sigmoidal, e com a função de treinamento traingda e traingdm. Assim, as configurações que apresentaram maior coeficiente de correlação e menor erro quadrático médio (EQM) foram escolhidas.

As configurações de RNA para cada cultivar, isto é, as que apresentaram melhores desempenhos com a mínima configuração possível. No geral, a configuração constituiu-se de uma entrada com 3 variáveis (TM, N e PREC), uma camada oculta e uma camada de saída (Tabela 4).

O fato das redes escolhidas, que apresentaram melhores desempenhos, terem apenas uma camada oculta, está de acordo com os resultados encontrados por Kumar et al. (2002), pois esses autores também concluíram que uma RNA com apenas uma camada oculta foi suficiente para representar a relação não-linear entre os elementos meteorológicos e a evapotranspiração de referência (Eto).

Para todas as cultivares a função de treinamento para as camadas oculta e de saída foram do tipo tangente sigmoidal e o número de neurônios na camada oculta foi de 25, com exceção para a cv. Red Opal, no qual a rede de melhor desempenho foi obtida com 20 neurônios na camada oculta. O que corrobora com o mesmos 20 neurônios utilizado por Zanetti et al. (2008), em que encontraram ótimas estimativas para a evapotranspiração de referência a partir de dados de temperatura e coordenadas geográficas.

Tabela 4. Configurações das redes neurais de melhor desempenho para quatro espécies de *Heliconia* spp.

Espécie	Entrada	Camadas	NCO	Saída	FTCO	FTCS
<i>H. psittacorum</i> x <i>H. spathocircinata</i> cv. Golden Torch	3	2	25	1	Tangente sigmoidal	Tangente sigmoidal
<i>H. psittacorum</i> L.f. Red Opal	3	2	20	1	Tangente sigmoidal	Tangente sigmoidal
<i>H. stricta</i> Fire Bird	3	2	25	1	Tangente sigmoidal	Tangente sigmoidal
<i>H. rauliniana</i>	3	2	25	1	Tangente sigmoidal	Tangente sigmoidal

NCO= Neurônios na camada oculta, FTCO= Função de treinamento na camada oculta e FTCS= Função de treinamento na camada de saída.

Observa-se na Figura 10, o número de ciclos em que ocorreu o melhor desempenho de treinamento da rede. Para as quatro cultivares o número de vezes que o conjunto de dados foi reapresentado a rede, com ajuste dos pesos sinápticos, até a sua convergência na superfície de erro variou de 567 a 1000 ciclos. O conjunto de dados da cv. Golden Torch precisou de 567 ciclos para um melhor desempenho do treinamento, a cv. Fire bird alcançou seu melhor desempenho com 700 ciclos, já a cv. Red Opal e a *H. rauliniana* precisaram de 1000 ciclos para uma melhor performance. Fonseca et al. (2012) encontraram que para maior parte das redes para a predição de consumo energético o melhor desempenho ficou na casa dos 99.900 ciclos, Já Pandorfi et al. (2011) encontraram melhor desempenho com 567 ciclos para redes que estimaram índices zootécnicos, mesmo valor encontrado nesse trabalho para a cv. Golden Torch.

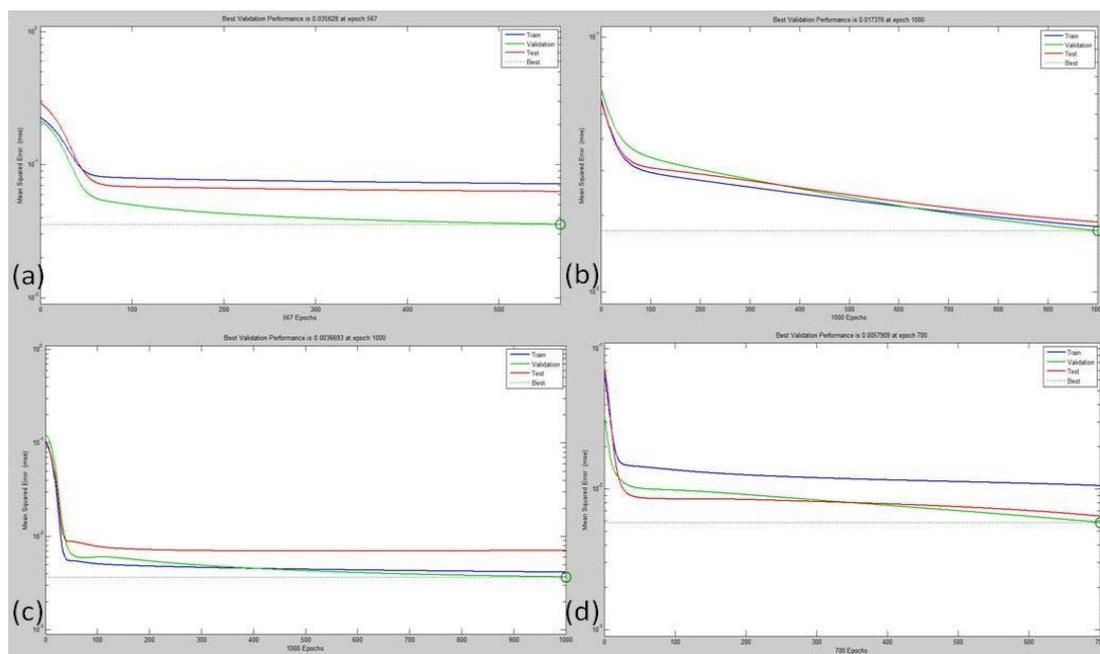


Figura 10. Gráficos de performance das redes neurais para quatro espécies de *Heliconia spp.*: *H. psittacorum* x *H. spathocircinata* cv. Golden Torch (a), *H. psittacorum* L.f. Red Opal (b), *H. rauliniana* (c) e *H. stricta* Fire Bird (d).

Segundo Costa (2001) cada configuração de rede deve ser testada e para cada rede um valor de erro é calculado, neste caso, o erro quadrático médio (EQM). Para estimar a redução do consumo de energia em prédios com iluminação natural por meio de redes neurais, Fonseca et al. (2012) encontraram ótimas redes que obtiveram valores de EQM que variaram entre 0,02 e 0,05, com média de 0,0303. O EQM dos conjuntos de testes para as redes escolhidas das quatro cultivares de helicônia variaram entre 0,0036 e 0,0356, inferiores a 0,05, como recomenda Fonseca et al. (2012), o que resultou nas tipologias descritas na Tabela 5, pois apresentaram os menores EQM e foram as quais forneceram as previsões mais próximas aos valores observados para as quatro cultivares de helicônia.

Tabela 5. Configuração das redes neurais escolhidas após o treinamento para quatro espécies de *Heliconia spp.*

Espécie	Ciclos (epochs)	EQM
<i>H. psittacorum</i> x <i>H. spathocircinata</i> cv. Golden Torch	567	0,0356
<i>H. psittacorum</i> L.f. Red Opal	1000	0,0173
<i>H. stricta</i> Fire Bird	700	0,0057
<i>H. rauliniana</i>	1000	0,0036

EQM = Erro Quadrático Médio.

Os coeficientes de determinação (R^2) para cada etapa do desenvolvimento das redes neurais para as espécies analisadas apresentam-se na Tabela 6. O processo de desenvolvimento das RNAs para estimar o HCS para as quatro cultivares obteve coeficientes de determinação que variou entre 0,33 a 0,78. Em todas as fases de desenvolvimento da RNA considerando as quatro cultivares foi encontrado coeficientes acima de 0,57, em que índices maiores a este é recomendado por Cargnelutti Filho & Storck (2007) para estimativa.

Na fase de treinamento as redes escolhidas apresentaram coeficientes de determinação entre 0,49 a 0,61, para a cv. Red opal e a *H. rauliniana*, respectivamente. O treinamento foi interrompido e assumiu tais valores porque segundo Haykin (1994) o erro atingiu um valor mínimo pré-estabelecido ou porque a taxa de variação desse erro atingiu um valor definido como critério de parada.

Na fase de validação os melhores resultados foram obtidos para a cv. Golden Torch e a cv. Fire Birde, com $R^2 = 0,71$ e $R^2 = 0,68$, respectivamente. Segundo Demuth et al. (2012) tais valores mostram a capacidade da rede neural generalizar para um conjunto de dados diferente daquele utilizado no treinamento. Já na fase de teste os maiores valores para as redes escolhidas foram obtidos para a cv. Rede Opal ($R^2 = 0,78$) e para a cv. Fire Bird ($R^2 = 0,73$), o que resultou numa boa eficiência das RNAs para estimativa de dados, já que nessa fase os dados são estimados e comparados com os observados.

Moreira & Cecílio (2008) ao aplicarem RNAs para estimativa de temperatura encontraram bons coeficientes de determinação para a fase de teste que variou entre 0,65 a 0,90. Nesse trabalho os coeficientes de determinação para a predição do HCS utilizando as RNAs resultaram em valores que variaram entre 0,48 a 0,78 (Tabela 6). Resultados estes melhores que os encontrados pela estimativa realizada pela regressão múltipla que variou entre 0,11 a 0,29 (Tabela 3). Sendo assim as tipologias de RNAs escolhidas aumentaram o grau de eficiência para a predição da produção de hastes florais em quatro espécies de *Heliconia* spp.

Tabela 6. Coeficientes de determinação (R^2) para cada etapa do desenvolvimento da rede neural para quatro espécies de *Heliconia* spp.

Espécie	Treinamento	Teste	Validação
<i>H. psittacorum</i> x <i>H. spathocircinata</i> cv.			
Golden Torch	0,50	0,48	0,71
<i>H. psittacorum</i> L.f. Red Opal	0,49	0,78	0,33
<i>H. stricta</i> Fire Bird	0,50	0,73	0,68
<i>H. rauliniana</i>	0,61	0,50	0,35

TRIGO et al. (2005) após aplicarem as RNAs para prever indicadores de desempenho da colheita da cana-de-açúcar, integraram as RNAs a uma ferramenta de suporte para decisão gerencial, desse modo o agricultor tem conhecimento do lote no qual deverá ser colhido primeiro. Nesse sentido os gestores agrícolas podem prever esses indicadores e poderão selecionar os lotes de acordo com suas necessidades. Os autores também sugerem que tais técnicas sejam estendidas a diversas culturas desde que sejam feitas modelagem adequadas ao problema. Portanto, as RNAs podem auxiliar aos agricultores de flores tropicais, sobretudo de *Heliconia* spp. no planejamento da produção de hastes florais.

Os resultados da simulação dos efeitos do aumento da temperatura do ar em dois cenários: 1°C e 3°C; na produção de hastes florais de quatro espécies de *Heliconia* spp. indicaram queda na produção de hastes florais para todas as espécies (Tabela 7). Ao considerar um aumento de 1°C na temperatura média do ar o decréscimo na produção variou entre 33,28% a 38,71%, já com o aumento de 3°C na temperatura média do ar o decréscimo na produção variou entre 34,51% a 81,78%. A queda de produção de flores tropicais como as estimadas para a espécie de *Heliconia* spp., contribui para as estimativas realizadas por Assad & Pinto (2008), no qual preveem queda na produção de diversas culturas no nordeste como o milho, arroz, feijão, algodão e girassol.

Em um estudo realizado por Assad et al. (2004) encontraram que, com o um aumento de temperatura média de 3 °C, a cultura do cafeeiro seria considerado de alto risco para ser cultivado no estado de Goiás, mesmo com a irrigação exercendo a função de suprir água e atuar como regulador térmico. Esse mesmo aumento de temperatura ocasionou os maiores decréscimos na produção de hastes florais da cv. Fire Bird (81,78%) observado na simulação deste trabalho.

No entanto, cabe ressaltar que para o aumento de 3 °C a *H. rauliniana* apresentou menor decréscimo na produção comparado ao aumento de 1 °C, o que pode ser explicado pelo EQM relacionado a essa cultivar que foi da ordem de 0,0036. A *H. rauliniana* apresentou menor amplitude de decréscimo da produção da ordem de 4,2% entre as simulações de aumento de 1 e 3 °C, esse fato pode estar relacionado com uma maior tolerância a temperaturas mais elevadas para essa espécie (Tabela 7). Fato este que pode indicar esta espécie a ser objeto de estudo para melhoramento genético para cultivares de *Heliconia* spp..

Tabela 7. Porcentagem de decréscimo na produção de hastes florais para quatro espécies de *Heliconia* spp. em dois cenários futuros de aumento de temperatura média do ar (1°C e 3°C).

Espécie	+ 1°C	+ 3°C
<i>H. psittacorum</i> x <i>H. spathocircinata</i> cv. Golden Torch	33,28%	52,98%
<i>H. psittacorum</i> L.f. Red Opal	38,19%	73,25%
<i>H. stricta</i> Fire Bird	34,72%	81,78%
<i>H. rauliniana</i>	38,71%	34,51%

Mendonça (2006) afirma que as mudanças climáticas exigirão alterações nos sistemas de irrigação, adubação, seleção de culturas e controle de pragas, o que faz exigir altos investimentos, o que irá ocasionar dificuldades, principalmente para o pequeno produtor. O autor também afirma que as alterações climáticas promoverão mudanças na distribuição espacial das culturas, algumas não serão mais viáveis em certas regiões. Essas afirmações podem ser consideradas para aquelas espécies de *Heliconia* spp. que apresentaram queda na produção de hastes florais muito acentuadas, maior que 70%, como a cv. Fire Bird e cv. Red Opal.

CONCLUSÕES

A utilização de redes neurais artificiais comparadas à regressão múltipla mostrou-se mais eficiente para a predição da produção de hastes florais de quatro espécies de *Heliconia* spp. com base na temperatura média do ar, fotoperíodo e precipitação, na zona da mata de Pernambuco.

Para todas as espécies estudadas o resultado das predições das simulações de aumento de temperatura do ar indicou queda na produção de

hastes florais que variou entre 33,19% a 38,71% para aumento de 1°C e entre 34,51% a 81,78% para aumento de 3°C, com queda na produção menor para a *H. rauliniana* (34,51%) e maior queda para a cv. Fire Bird (81,78%).

REFERÊNCIAS

ASSAD, E.D.; PINTO, H.S.; JUNIOR, J.Z.; AVILA, A.M.H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. Revista Pesq. agropec. bras., Brasília, v.39, n.11, p.1057-1064. 2004.

ASSAD, E.; PINTO, H. S. Aquecimento Global e a nova Geografia da Produção agrícola no Brasil. São Paulo - Agosto de 2008.

COSTA, G. C. F. Uma Avaliação do Consumo de Energia Com Transportes em Cidades do Estado de São Paulo. 103 f. São Carlos, 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L. Estatísticas de avaliação da precisão experimental em ensaios de cultivares de milho. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.42, p.17-24, 2007.

DEMUTH, H.; BEALE, M.; HAGAN, M. Neural network toolbox user's guide – Version 8 – for use with MATLAB®. The MathWorks Inc, 2012.

DOURADO NETO, D.; SPAROVEK, G.; FIGUEREDO JUNIOR, L. G. M.; Fancelli, A. L.; Manfron, P. A.; Medeiros, S. L. P. Modelo para estimação da produtividade de grãos de milho deplecionada com base no balanço hídrico no solo. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.12, p.359-367, 2004.

FONSECA, R.W.; DIDONÉ, E.L.; PEREIRA, F.O.R. Modelos de predição da redução do consumo energético em edifícios que utilizam a iluminação natural através de regressão linear multivariada e redes neurais artificiais. Ambiente Construído, v. 12, n. 1, p. 163-175. 2012.

GUARNIERI, R. A. Emprego de redes neurais artificiais e regressão linear múltipla no refinamento das previsões de radiação solar do modelo ETA. Dissertação (Mestrado), São José dos Campos-INPE, 2006.

GUISELINI, C.; SENTELHAS, P. C.; PANDORFI, H.; GOMES, R. J. . Uso de redes neurais na predição da evapotranspiração da *Gerbera jamesonii* cultivada em ambiente protegido. In: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2010, Belém - PA. Anais do XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2010.

HAYKIN, S. Neural networks: a comprehensive foundation. New York: Macmillan College Publishing Company, 1994.

ITEP – Instituto de Tecnologia de Pernambuco. 2008.

KUMAR, M.; Raghuwanshi, N. S.; Singh, R.; Wallender, W. W.; Pruitt, W. O. Estimating evapotranspiration using artificial neural network. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v.128, n.4, p.224-233, 2002.

OLIVEIRA, A.C.S. SOUZA, A.A.; LACERDA, W.S.; GONÇALVES, L.R. Aplicação de Redes Neurais Artificiais na produção de álcool. *Revista Ciência agrotécnica*, v. 34, n. 2, p. 279-284, 2010.

PANDORFI, H.; SILVA, I.J.O.; SARNIGHAUSEN, V.C.R.; VIEIRA, F.M.O.; NASCIMENTO, S.T.; GUISELINI, C. Uso de redes neurais artificiais para predição de índices zootécnicos nas fases de gestação e maternidade na suinocultura. *Revista Brasileira de Zootecnia [online]*. vol.40, n.3, p. 676-681, 2011.

ROLIM, G.S.; NOVO, M.C.S.S; PANTANO, A.P.; TRANI, P.E. Modelagem Agrometeorológica para estimação do desenvolvimento e da produção de jiló. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v. 15, n. 8, p. 832-837, 2011.

LAMEP/ITEP. Laboratório de Meteorologia de Pernambuco/Instituto de Tecnologia de Pernambuco, 2012.

MEDEIROS, S. S.; CECÍLIO, R. A.; MELO JÚNIOR, J. C. F.; SILVA JÚNIOR, J. L. C. Estimativa e espacialização das normais das temperaturas do ar mínimas, médias e máximas na Região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 9, n. 2, p. 247-255, 2005.

MENDONÇA, F. Aquecimento global e suas manifestações regionais e locais: Alguns indicadores da região sul do Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, vol. 2, p. 71-86, 2006.

MOREIRA, M.C.; CECÍLIO, R.A. Estimativa das temperaturas do ar utilizando redes neurais artificiais, para a região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.16, n. 2, p.181-188, 2008.

TRIGO, T.R; BATISTA JÚNIOR, P.C.S da.; NETO, F.B.L. Redes neurais artificiais em colheita de cana-de-açúcar. V Congresso brasileiro de Agroinformática, Londrina, 2005.

ZANETTI, S.S.; SOUSA, E.F.; CARVALHO, D.F.; BERNADO, S. Estimação da evapotranspiração de referência no estado do Rio de Janeiro usando redes neurais artificiais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, n. 2, p. 174-180, 2008.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos realizados indicaram os meses de estabilidade, de maior queda e de maior acréscimo na produção de quatro espécies de *Heliconia* spp. Os maiores acréscimos foram encontrados para o mês de dezembro na cv. Golden Torch e em setembro para *H. rauliniana*. Tais conhecimentos servirá de suporte para o planejamento da produção de hastes florais de *Heliconia* spp. para os agricultores da Zona da Mata de Pernambuco. Visto que os produtores terão que desenvolver alternativas para suprir a queda de produção em determinados meses do ano, uma delas seria a aquisição de cultivares no qual alternem seus picos de produção, para que a produção total seja mais estável durante todo o ano.

As Redes neurais artificiais comparando com a regressão múltipla, predizeram com maior eficiência a produção de hastes florais de *Heliconia* spp. por meio das variáveis meteorológicas: temperatura média do ar, precipitação e fotoperíodo. Sendo assim uma alternativa para os produtores de helicônias estimarem as produções futuras, o que faz melhorar seu planejamento e comercialização das hastes florais.