

## **Análise estatística do processo de produção de alfaces hidropônicas com base em dados coletados por sensores**

**Carla Adriana Pizarro Schmidt, Marcelo Anderson Carlet, Pedro Luiz de Paula Filho, Lucas Marujo, Jandrei Sartori Spancerski**

**Resumo:** A agricultura vem evoluindo constantemente e a nova era da produção tem sido denominada de Agricultura 4.0, onde se encaixa o cultivo controlado por sensores e por vezes completamente automatizado, pois, as características climáticas do ambiente de cultivo hidropônico podem interferir na qualidade e produtividade das culturas. O presente estudo objetivou instalar dois sensores para controlar três parâmetros de um cultivo hidropônico de alface, a saber: a umidade relativa e a temperatura do ar ambiente dentro da estufa e temperatura da solução nutritiva utilizada no cultivo. Para tanto montou-se uma pequena estufa hidropônica e os sensores foram ligados a um Arduino Uno, os dados foram coletados de 20 em 20 minutos. A análise estatística foi realizada após a coleta de uma amostra de 278 dados, com auxílio da planilha Microsoft® Excel e o *software* Action Stat®. Percebeu-se que os resultados indicaram uma variação nos valores, porém de forma gradativa, o que não ocasionou instabilidade ao processo, que permaneceu sob controle estatístico ao longo de todo o tempo, para todas as variáveis acompanhadas. Observou-se que o clima do local, ao longo do experimento, não foi capaz de fornecer às plantas as faixas ideais de temperatura e umidade relatadas como ótimas pela literatura. Todas as plantas sobreviveram aos 55 dias de cultivo e se desenvolveram bem, apesar das características ideais não terem sido atingidas em todo o tempo. Com a elaboração desse sistema, faz-se possível novas avaliações das plantas produzidas sob diferentes condições climáticas.

**Palavras chave:** Agricultura Inteligente, Análise de Capabilidade do Processo, Arduino.

## **Statistical analysis of the hydroponic lettuce production process based on sensor data**

**Abstract:** Agriculture has been constantly evolving and the new era of production has been called Agriculture 4.0, where it fits sensor-controlled and sometimes fully automated farming, as the climatic characteristics of the hydroponic farming environment can interfere with crop quality and productivity. The present study aimed to install two sensors to control three parameters of a hydroponic lettuce crop, namely: relative humidity and ambient air temperature inside the greenhouse and temperature of the nutrient solution used in the crop. For this purpose a small hydroponic greenhouse was set up and the sensors were connected to an Arduino Uno, the data were collected every 20 minutes. Statistical analysis was performed after collecting a sample of 278 data, using the Microsoft® Excel spreadsheet and Action Stat® software. It was noticed that the results indicated a variation in the values, but gradually, which did not cause instability to the process, which remained under statistical control throughout the time for all variables followed. It was observed that the local climate, during the experiment, was not able to provide the plants with the ideal temperature and humidity ranges reported as optimal by the literature. All plants survived 55 days of cultivation and developed well, although the ideal characteristics were not achieved all the time. With the elaboration of this system, new evaluations of plants produced under different climatic conditions are possible.

**Key-words:** Intelligent Agriculture, Process Capability Analysis, Arduino.

## 1. Introdução

O aumento da população mundial e a melhoria do padrão de vida em muitos países, criaram uma forte demanda por produtos agrícolas de alta qualidade, muitas vezes necessitando-se do cultivo de plantas fora de sua estação normal de cultivo. O resultado dessas tendências foi o uso ampliado de uma vasta gama de sistemas de cultivo protegidos, chegando às estufas totalmente climatizadas, onde inicialmente se utilizava o solo e depois evoluiu-se para o cultivo sem solo, denominado de cultivo hidropônico (RAVIV et al., 2019).

Depois da criação desses sistemas de cultivo, o setor continuou se modernizando, a nova era da produção vem sendo denominada como *Agri-Food 4.0*, ou em tradução livre para português, Agricultura 4.0, nessa tendência, a aplicação de novas tecnologias de informação e comunicação, bem como a construção e aplicação de sensores ou outras tecnologias que possibilitem a automação, conectividade e digitalização são indispensáveis e ocasionam um impacto positivo na melhoria da qualidade do processo produtivo, aumentando a capacidade e o controle da produção, porém seu desenvolvimento e aplicação envolvem os vários campos da engenharia, mecânica, elétrica, eletrônica e algum conhecimento dos softwares e sua programação, sendo dessa forma um campo multidisciplinar (MIRANDA et al., 2019).

Essa evolução da agricultura vem tornando-a cada dia mais “inteligente”, pois com a aplicação de tecnologias modernas, os parâmetros do cultivo podem ser detectados em tempo real, por meio de sensores, instalados dentro dos sistemas de cultivo em estufas. Tal fato, aliado a avaliação dos parâmetros de controle e interligação a sistemas de ação automatizados, pode manter o processo sob controle, tornando-o capaz de manter o ambiente o mais próximo daquele que forneça conforto ideal às plantas, em termos de temperatura, umidade, iluminação, pH e condutividade elétrica, que resulte em um aumento da qualidade e produção agrícola (ALIPIO et al. 2019).

O aumento na concentração de CO<sub>2</sub> em estufas hidropônicas e a elevação da umidade relativa do ar, de acordo com Suzuki et al. (2015), foi capaz de aumentar a produtividade de tomates cultivados em hidroponia. Os mesmos autores ainda ressaltam que a umidade relativa do ar é um componente essencial do controle ambiental das estufas, por interferirem na produtividade das plantas. Cortella et al. (2014), sugerem que a temperatura da solução nutritiva desempenha um papel relevante no crescimento e desenvolvimento de plantas cultivadas em hidroponia, afetando assim a produtividade e a qualidade. Roupheal et al. (2018), explicam que em condições de estufa a temperatura ambiente e a temperatura da zona das raízes possuem igual importância para o desenvolvimento das plantas bem como para a manutenção da qualidade dos vegetais produzidos.

Diante desse contexto, o presente estudo teve por finalidade a construção de uma estufa de hidroponia, com a instalação de dois sensores conectados a um microcontrolador, para coleta e posterior avaliação estatística de uma amostragem de dados, referentes a umidade relativa e temperatura ambientes e temperatura da solução nutritiva, coletados no ambiente da estufa, ao longo do processo de cultivo de alface hidropônica.

## 2. Material e Métodos

Inicialmente, uma estufa hidropônica com 3 m de largura x 4 m de profundidade x 6 m de altura, coberta com plástico transparente e contornada com tela sombrite foi construída nas dependências da UTFPR Campus Medianeira (Figura 1). Foram instalados 10 perfis de PVC para circulação da solução nutritiva com tamanho de 8 cm x 4 cm em barras com 70 cm cada.

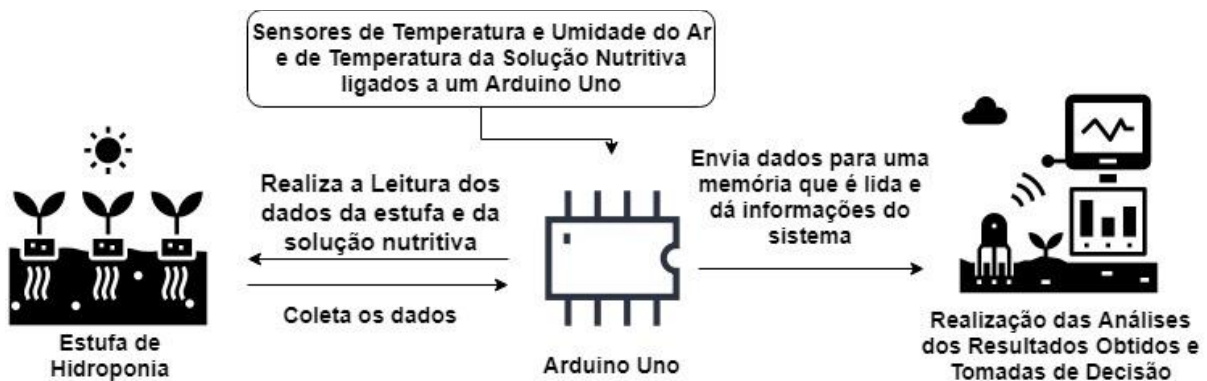


Fonte: Autoria Própria

Figura 2. Esquema ilustrativo do sistema de monitoramento da produção hidropônica de alface implantado nesse estudo.

Para o cultivo escolheu-se a técnica NFT (*Nutrient Film Technique*) descrita por Eek Son et al. (2016), na qual as raízes das plantas crescem dentro de um tubo e ficam circundadas por solução aquosa com nutrientes dissolvidos, a qual nesse estudo foi circulada por meio de uma bomba de 24 volts TSA (838003A).

Para a coleta dos dados, dois diferentes sensores foram ligados a um Arduino Uno, sendo que um dos sensores realizava a leitura da temperatura e umidade do ar (DHT11) e outro a leitura da temperatura da solução nutritiva (DS18B20), utilizada para alimentação do sistema de circulação de nutrientes das plantas de acordo com a Figura 2.



Fonte: Autoria Própria

Figura 2. Esquema ilustrativo do sistema de monitoramento da produção hidropônica de alface implantado nesse estudo.

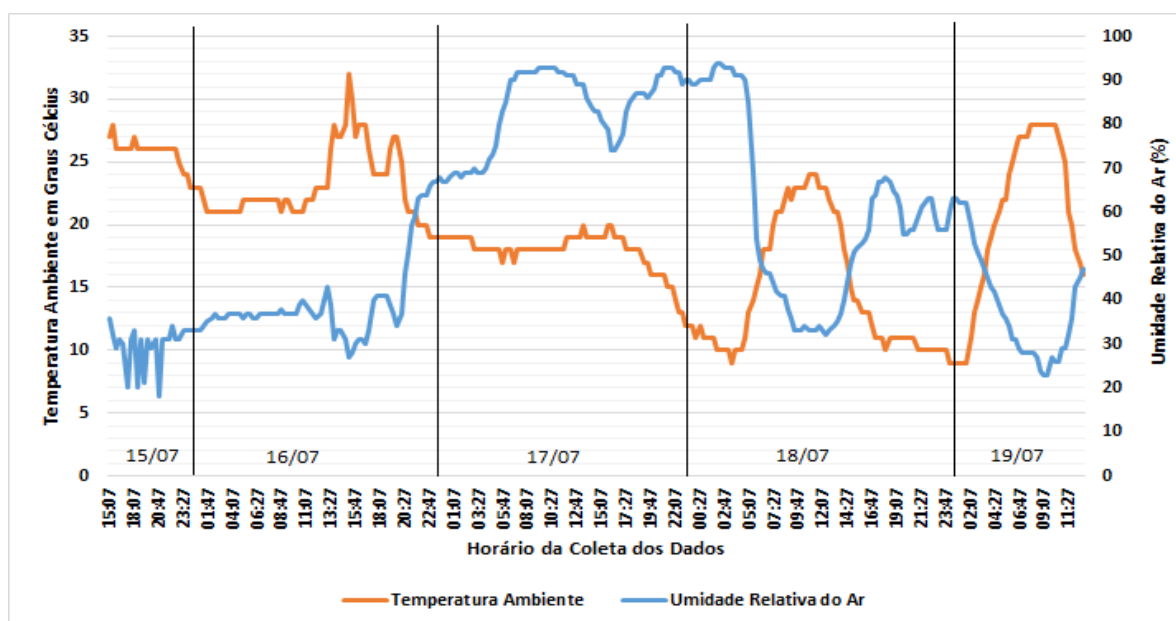
Posteriormente os 278 dados de cada uma das três diferentes variáveis, coletados pelo sistema, em intervalos de 20 minutos, armazenados em uma memória, foram passados para um computador no formato de texto, sendo na sequência importados para planilhas do Microsoft® Excel onde foram construídos gráficos para visualização do comportamento dos dados e com auxílio do software Action® Stat. Elaborou-se uma análise descritiva, uma avaliação de correlação entre os dados e a construção de um modelo de regressão. Na sequência, construiu-se os gráficos de controle estatístico do processo (CEP) e análises de

capabilidade, para as três variáveis do processo de produção acompanhados. Os valores limites superiores e inferiores utilizados para a avaliação da capacidade do processo foram baseados nos indicados por Alipio et al. (2019), umidade relativa entre 50 e 80 %, temperatura da solução nutritiva entre 22 e 28 °C e temperatura ambiente conforme recomendado por Esmaeli e Roshandel (2020), na faixa entre 10 a 22 °C.

A coleta teve início no meio do primeiro dia (15/07) e o período de leitura foi encerrado no meio do quinto dia (19/07). As plantas nesse período tinham 10 dias de plantio no primeiro dia e ao final do período de acompanhamento dos dados estavam com 15 dias. As análises da correlação e regressão, bem como a estatística básica, foram realizadas com o conjunto completo dos dados, enquanto que as análises de CEP e de capacidade foram construídas com os dados diários dos 3 dias completos, visando a avaliação de uma amostragem em triplicata para essas avaliações.

### 3. Resultados e Discussão

Observou-se a priori a variação dos dados de temperatura e umidade relativa do ar no ambiente da estufa, bem como a temperatura da solução nutritiva, por meio da construção de gráficos que ilustraram o comportamento dessas variáveis ao longo do tempo de estudo (Figuras 3 e 4).



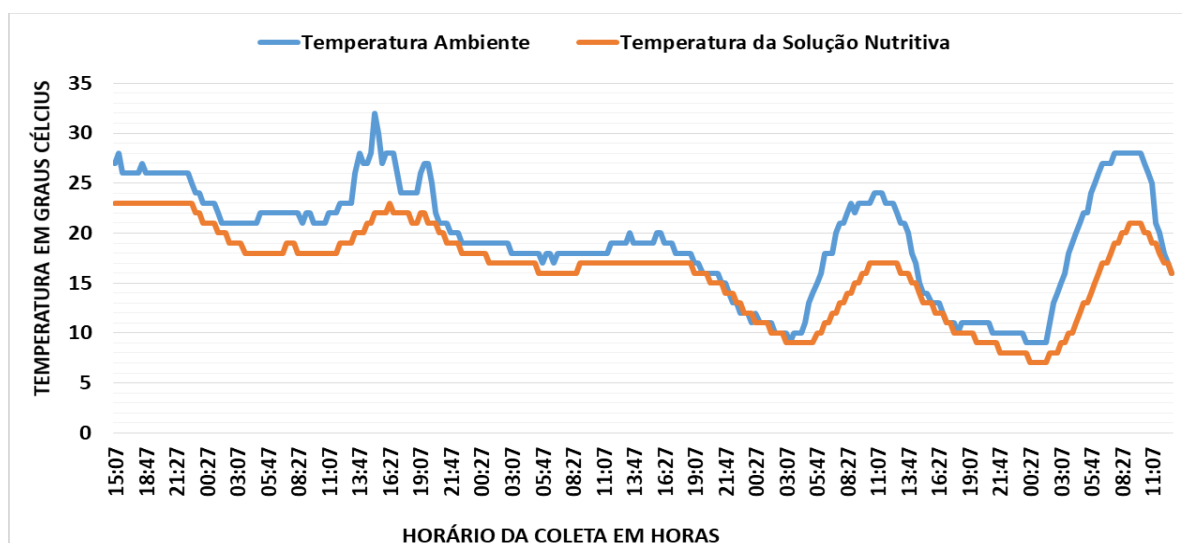
Fonte: Autoria Própria

Figura 3 – Gráfico de tendências da variação da umidade relativa (%) e da temperatura ambiente dentro da estufa de produção hidropônica.

No dia 16/07 a noite ocorreu uma leve chuva, que alterou a umidade relativa do ambiente, porém como foi uma precipitação muito pequena, próxima de 0,2 mm, a umidade do ar voltou a cair nos dias seguintes. Pôde-se observar também que a temperatura ambiente reduziu bastante após a chuva e continuou a baixar ao longo do dia 17/07, tendo voltado a subir apenas nos horários mais quente do dia 18/07.

Ao longo de todo o período acompanhado, percebeu-se um comportamento muito semelhante entre a elevação e redução da temperatura do ambiente e da solução nutritiva, utilizada no processo de produção, entretanto a temperatura do ambiente esteve sempre

mais elevada. Nos maiores picos de elevação, a temperatura da solução nutritiva não foi capaz de acompanhar a temperatura ambiente, não chegando àqueles valores tão elevados.



Fonte: Autoria Própria

Figura 4 – Gráfico de tendências da Temperatura do Ambiente da Estufa e da Temperatura da Solução Nutritiva utilizada na Hidroponia ao longo do período acompanhado.

Realizou-se na sequência uma análise estatística descritiva dos dados e uma avaliação da correlação entre as variáveis acompanhadas, os resultados podem ser observados nas Tabelas 1 e 2. Pelos valores encontrados na análise descritiva, notou-se que a umidade relativa do ar ao longo do período acompanhado variou bastante devido à chuva ocorrida, essa foi a variável que apresentou o maior coeficiente de variação e um elevado desvio padrão, os demais parâmetros apresentaram um comportamento bastante semelhante, com desvios padrão baixos e coeficientes de variação médios.

|                          | Umidade Relativa do Ar Ambiente da Estufa | Temperatura do Ar no Ambiente da Estufa | Temperatura da Solução Nutritiva |
|--------------------------|---|---|----------------------------------|
| Mínimo                   | 18,00                                     | 9,00                                    | 7,00                             |
| Média                    | 55,20                                     | 19,37                                   | 16,16                            |
| Mediana                  | 47,50                                     | 19,00                                   | 17,00                            |
| Máximo                   | 94,00                                     | 32,00                                   | 24,00                            |
| Desvio Padrão            | 23,34                                     | 5,45                                    | 4,51                             |
| Coefficiente de Variação | 0,42                                      | 0,28                                    | 0,28                             |

Fonte: Autoria Própria

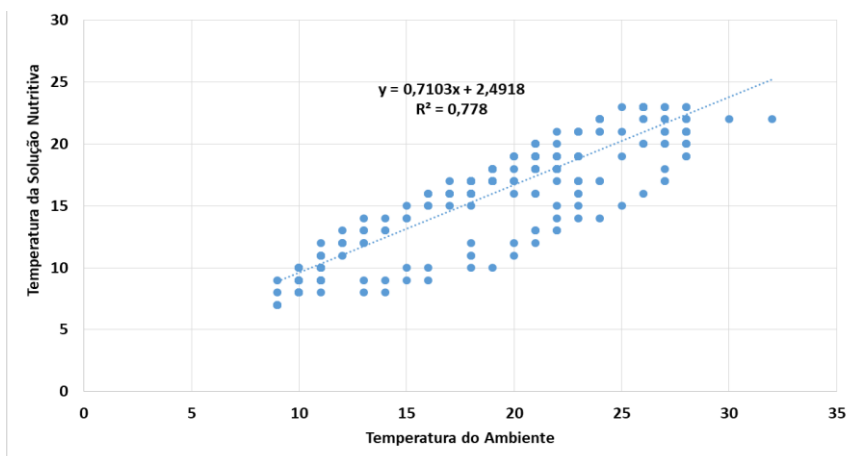
Tabela 1 – Resultados da análise descritiva dos dados das variáveis acompanhadas pelos sensores ao longo do experimento.

| Variáveis Comparadas                  | Horário do Dia | Umidade Relativa do Ar (%) | Temperatura do Ambiente (°C) | Temperatura da Solução Nutritiva (°C) |
|---------------------------------------|----------------|----------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| Horário do Dia                        | 1              | 0,176175                   | -0,45966                     | -0,68005                              |
| Umidade Relativa do Ar (%)            | -              | 1                          | -0,69043                     | -0,48903                              |
| Temperatura do Ambiente (°C)          | -              | -                          | 1                            | 0,892725                              |
| Temperatura da Solução Nutritiva (°C) | -              | -                          | -                            | 1                                     |

Fonte: Autoria Própria

Tabela 2 – Tabela de Correlação entre as variáveis acompanhadas pelos sensores

A maior correlação foi encontrada entre a temperatura ambiente e a temperatura da solução nutritiva, esta foi positiva e da ordem de 89 %, dessa forma, ambas aumentam proporcionalmente. Com isso, realizou-se a construção de um modelo de regressão linear simples entre essas variáveis, para verificar a possibilidade de previsão de uma variável com base na outra a depender do ajuste do modelo o qual se ajustou bem e apresentou um  $R^2$  de 77,8 % (Figura 5).



Fonte: Autoria Própria

Figura 5 – Gráfico ilustrativo da regressão simples encontrada entre a Temperatura do Ambiente da Estufa e a Temperatura da Solução Nutritiva utilizada na Hidroponia.

A obtenção desse modelo estatístico é interessante nesse tipo de estudo, pois, em alguns momentos pode-se ter alguma falha em leituras e a possibilidade de estimar valores dos parâmetros acompanhados para o local específico, com base em valores lidos por um dos outros sensores é interessante. Cabe destacar que para isso, mesmo o modelo tendo ficado relativamente bem ajustado, só deve ser utilizado na faixa de temperatura para a qual foi construído, sendo necessários mais estudos para a avaliação da correlação e adesão do mesmo modelo a dados climáticos diferenciados. É muito provável que a equação não se ajuste em condições de temperaturas mais elevadas, tendo em vista que na observação da Figura 2 já se notou que a temperatura da solução não foi capaz de acompanhar os picos maiores de elevação da temperatura ambiente, fortalecendo a predição supracitada.

Com base nas análises estatísticas utilizadas, percebeu-se que os dados referentes à umidade relativa do ambiente (Figura 6), não apresentaram uma distribuição normal e dessa forma os testes não paramétricos foram escolhidos para realização das análises. Os valores de umidade relativa do ar se alteraram bastante ao longo dos 3 dias, provavelmente por conta do evento de precipitação, tendo em vista que nenhum controle extra de umidade foi utilizado na estufa, porém esta variação se deu de forma gradual, o que não chegou a tirar o processo de controle (Figuras 6B, 6D, 6F). Em relação à capacidade, notou-se que não foi capaz em nenhum dos três dias em se manter dentro dos limites ideais descritos por Alipio et al. (2019) para as plantas, sendo que no primeiro dia houve mais tempo com uma umidade inferior a ideal, no segundo dia a umidade ficou acima do ideal e no último dia teve períodos acima e abaixo do ideal (Figuras 6A, 6C, 6E).

Notou-se que os dados referentes à temperatura do ambiente (Figura 7) também não apresentaram uma distribuição normal, por esse motivo os testes utilizados na análise foram não paramétricos. Os valores encontrados oscilam bastante ao longo dos 3 dias, porém de

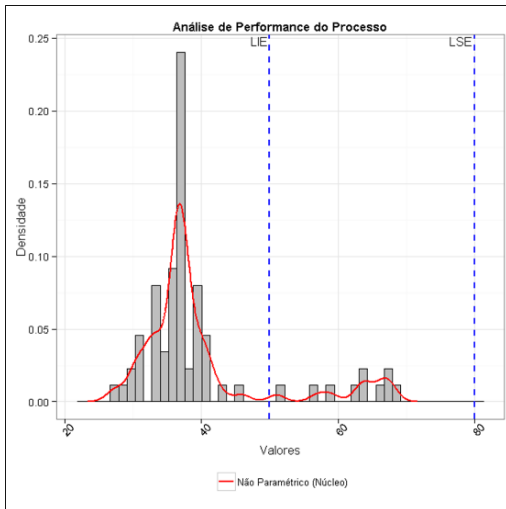
forma gradual, o que não chegou a tirar o processo de controle (Figuras 7H, 7J, 7L). Em relação à capacidade do processo, notou-se que essa variável atende as especificações de temperatura ideal para o cultivo de alface descritas por Esmaeli e Roshandel (2020) apenas no segundo dia, em que as temperaturas se reduziram, provavelmente devido ao evento de precipitação ocorrido (Figuras 7G, 7I, 7K). Tendo em vista que as plantas de alface se adaptam melhor a climas mais frios e que na região de aplicação do estudo o clima é tropical, sendo assim, mais quente que o ideal para as plantas, o cultivo sem nenhum tipo de alteração de temperatura ambiente das estufas dificilmente é capaz de fornecer a temperatura ideal descrita pela literatura. Seabra Junior et al. (2009), explicam que a elevação da temperatura pode levar as plantas a um pendoamento precoce e as folhas podem tornar-se menos macias, se deve a esses fatos a preferência pela manutenção das plantas em cultivos sob temperatura mais amenas.

Em relação aos dados referentes à temperatura da solução nutritiva (Figura 8), também se aplicou a análise não paramétrica pois os dados não seguem uma distribuição normal, e se modificaram bastante ao longo dos 3 dias, igualmente de forma gradual, o que não tirou o processo de controle (Figuras 8N, 8P, 8R). Na análise da capacidade do processo, notou-se que não foi capaz de manter-se dentro dos limites ideais de temperatura da solução nutritiva recomendados por Alipio et al. (2019) para as plantas de alface, sendo que ao longo de todo o período esteve abaixo da temperatura máxima recomendada pelo autor (Figuras 8M, 8O, 8Q). Devido à época de cultivo ter sido realizada no inverno esse fato não é uma surpresa e esperava-se realmente que a solução nutritiva se mantivesse abaixo desse limite superior, mas, neste caso, em todos os dias ela esteve abaixo também do limite inferior o que nos leva a perceber que os limites desejáveis para as plantas não foram atingidos.

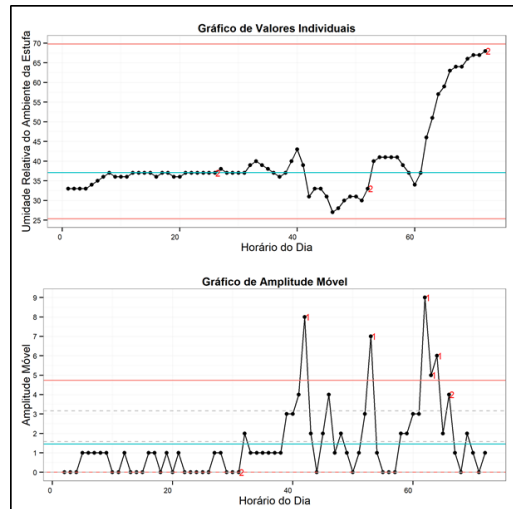
Cometti et al. (2013) perceberam que o resfriamento da solução proporcionou maior acúmulo de massa e elevação dos teores de água presente nas plantas, aumentando a produtividade da alface hidropônica em condições de clima tropical. Em seu experimento, a temperatura variou entre 24 e 29,9 °C na testemunha e não ultrapassou 26 °C no tratamento controlado, com resfriamento da solução. Economakis e Said (2002), ao compararem a solução nutritiva utilizada no cultivo hidropônico de alface a temperatura ambiente de 10 °C, com soluções aquecidas a 15 °C e 20 °C, observaram que o aquecimento da solução resultou em aumento do peso fresco da parte aérea, do conteúdo e absorção de água pelas plantas, do número de folhas por planta, sendo que apenas o peso seco da raiz foi menor na temperatura de 20 °C. Porém nenhum dos trabalhos citados estudaram se o aumento de peso e qualidade seria suficiente para pagar os custos do resfriamento ou aquecimento por eles avaliados. Em países subdesenvolvidos como o Brasil a relação custo-benefício deve ser sempre levada em conta.

Ao longo do tempo de cultivo acompanhado as plantas continuaram seu desenvolvimento normalmente e mesmo após esse período nenhuma das plantas morreu até o final de seu crescimento e posterior colheita, a qual foi realizada após 55 dias de cultivo. A manutenção automatizada das temperaturas e da umidade relativa do ambiente adicionariam custos ao processo produtivo, o que não se sabe ao certo se traria ganhos compatíveis em termos de qualidade e produtividade das plantas, pois pequenos aumentos no peso das plantas poderiam não ser suficientes para pagar os custos de energia que seriam ocasionados ao cultivo para o aquecimento do ambiente e da solução nutritiva e para o aumento da umidade relativa do ambiente. Antes da completa automatização do sistema, recomenda-se mais estudos dos efeitos do clima nas plantas, objetivando o melhor entendimento do grau de influência que climas um pouco fora das faixas ideais descritas pela literatura são capazes de

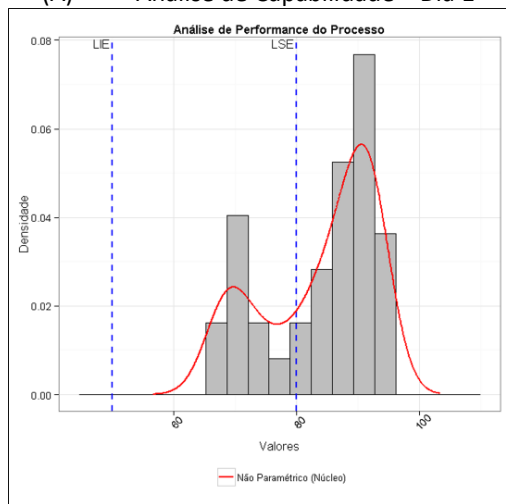
ocasionar nas culturas.



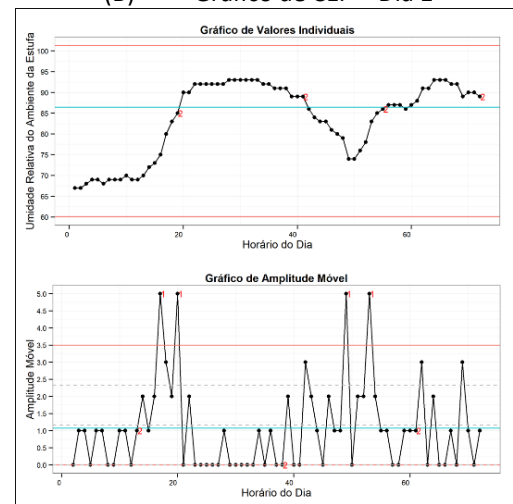
(A) Análise de Capabilidade – Dia 1



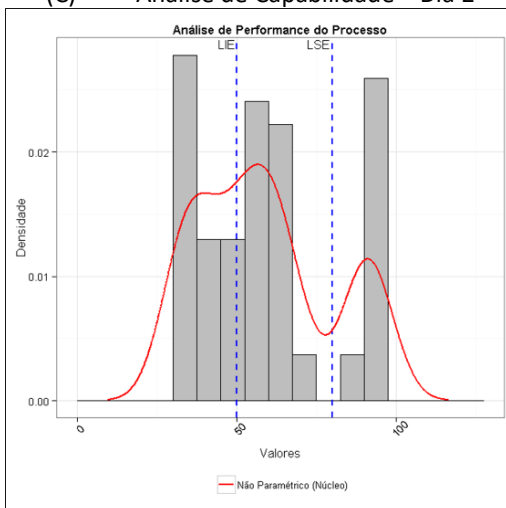
(B) Gráfico de CEP – Dia 1



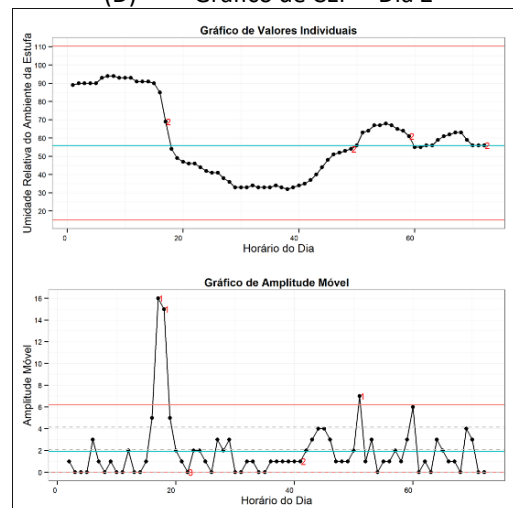
(C) Análise de Capabilidade – Dia 2



(D) Gráfico de CEP – Dia 2



(E) Análise de Capabilidade – Dia 3

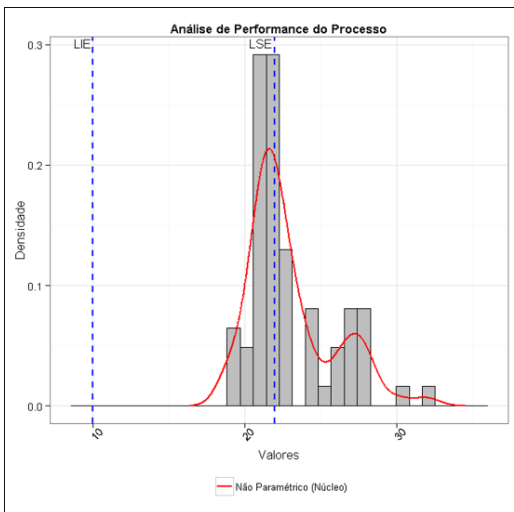


(F) Gráfico de CEP – Dia 3

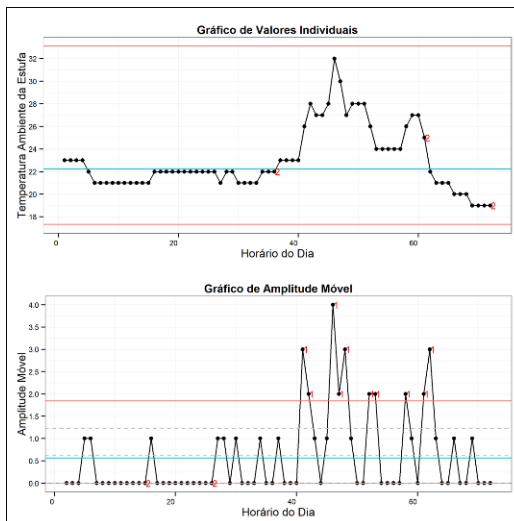
Fonte: Autoria Própria

Figura 6 - Avaliação da Umidade Relativa do Ar por meio de Ferramentas de Controle Estatístico do Processo, Análises de CEP e Capabilidade do Processo

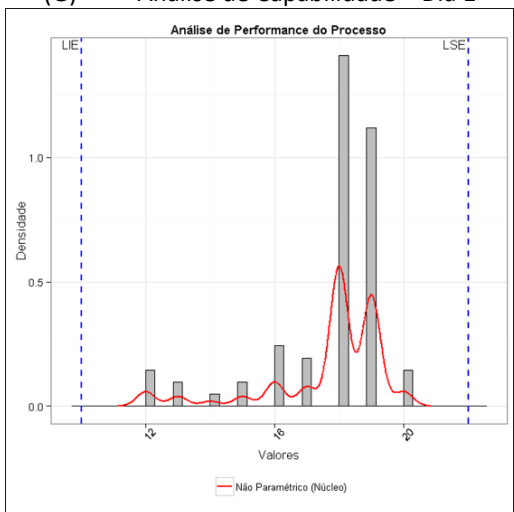




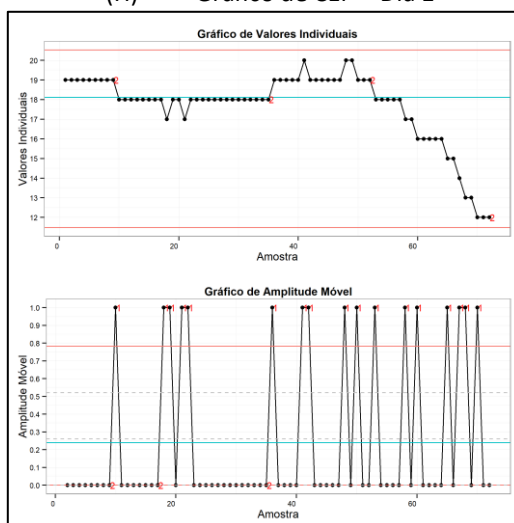
(G) Análise de Capacidade – Dia 1



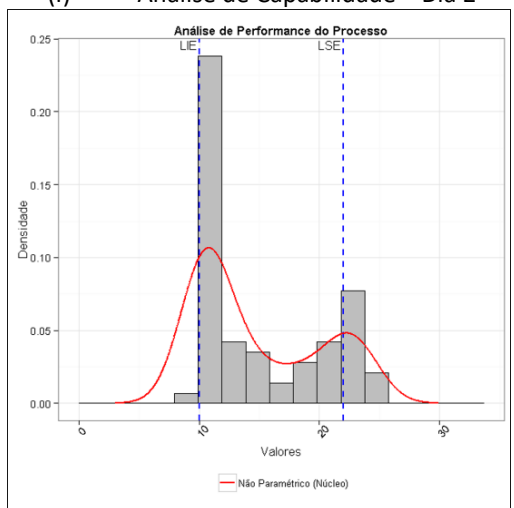
(H) Gráfico de CEP – Dia 1



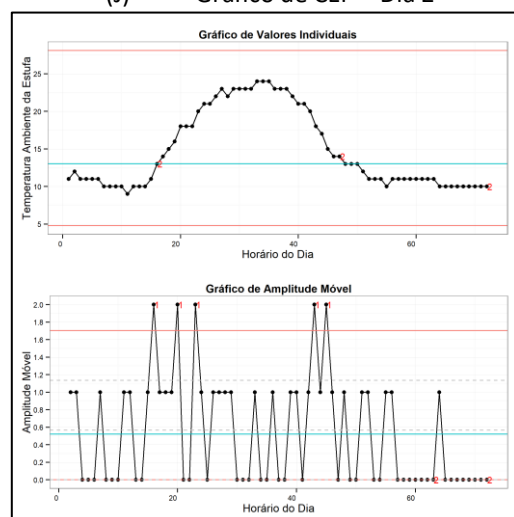
(I) Análise de Capacidade – Dia 2



(J) Gráfico de CEP – Dia 2



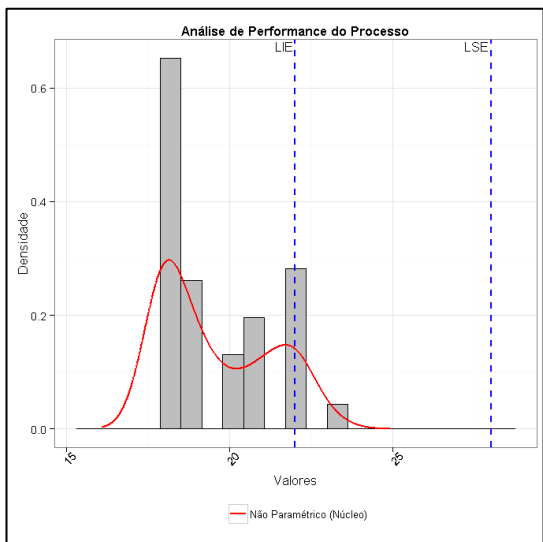
(K) Análise de Capacidade – Dia 3



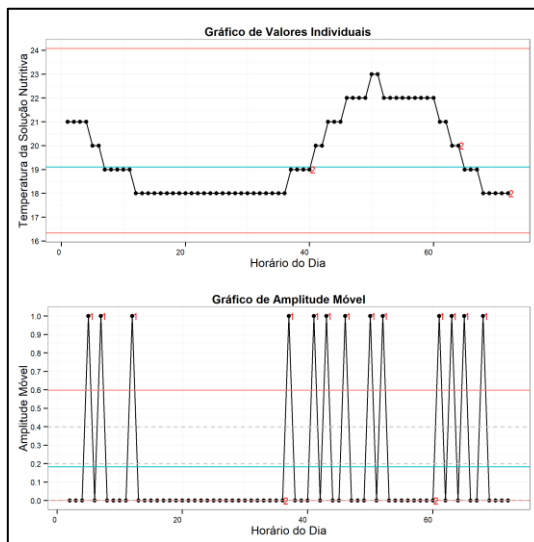
(L) Gráfico de CEP – Dia 3

Fonte: Autoria Própria

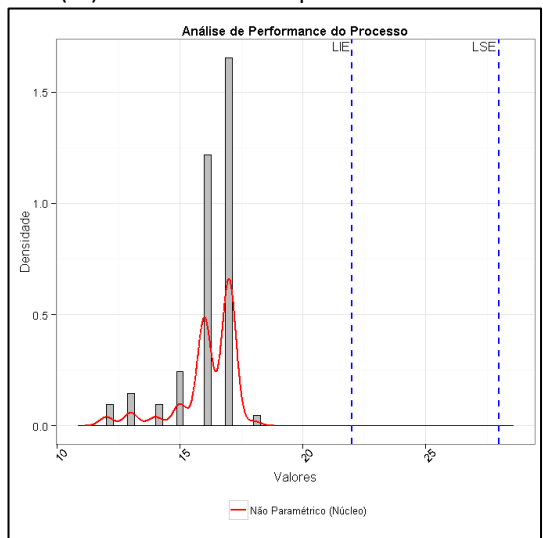
Figura 7 - Avaliação da Temperatura do Ar por meio de Ferramentas de Controle Estatístico do Processo, Análises de CEP e Capacidade do Processo



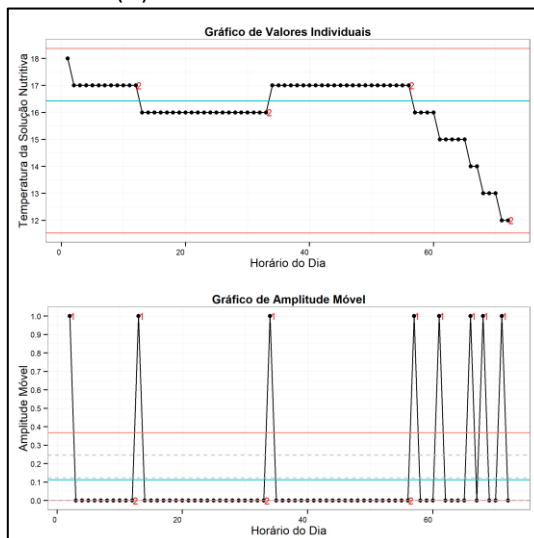
(M) Análise de Capacidade – Dia 1



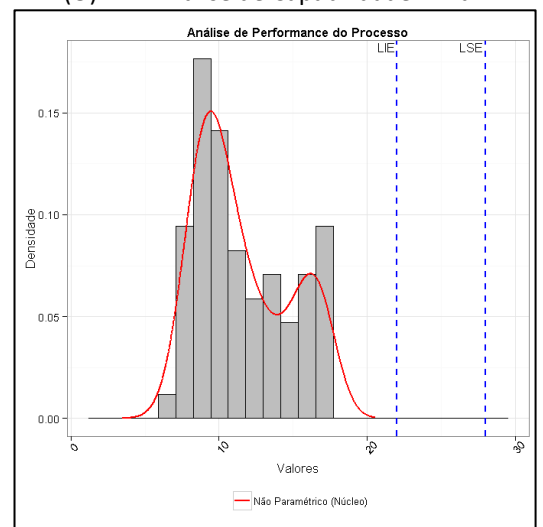
(N) Gráfico de CEP – Dia 1



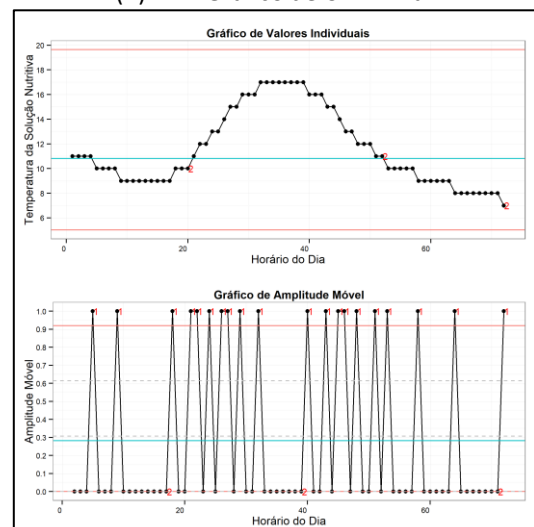
(O) Análise de Capacidade – Dia 2



(P) Gráfico de CEP – Dia 2



(Q) Análise de Capacidade – Dia 3



(R) Gráfico de CEP – Dia 3

Fonte: Autoria Própria

Figura 8 - Avaliação da Temperatura da Solução Nutritiva por meio de Ferramentas de Controle Estatístico do Processo, Análises de CEP e Capacidade do Processo

A instalação de controles que mantivessem o cultivo completamente dentro dos níveis ideais, certamente incorreriam em custos, tanto para aquecimento ou resfriamento do ambiente e da solução nutritiva, quanto para a nebulização intermitente do ambiente da estufa visando o aumento da umidade relativa do ar. Tecnicamente, não se tem como precisar se os valores gastos seriam recuperados por conta de um aumento da qualidade e ou produtividade das plantas, ao menos com os dados presentes, pois depende de uma análise de ciclo completo.

Após esses testes, comprovando-se o correto funcionamento do sistema em estudo, pretende-se realizar o acompanhamento do ciclo de produção completo de alfaces em diferentes épocas do ano sob diferentes temperaturas e umidades relativas com vistas a verificar a influência na produção em termos de qualidade e produtividade.

#### 4. Conclusão

Ao final do estudo, pode-se concluir que mesmo em período de inverno a temperatura na estufa foi superior a indicada pela literatura para o cultivo de alface, apesar da temperatura da solução nutritiva ter conseguido se manter abaixo dos limites máximos recomendados, ficou também em grande parte do tempo abaixo do limite mínimo ideal.

Percebeu-se uma boa correlação entre a temperatura ambiente e a temperatura da solução nutritiva, construiu-se inclusive um modelo de regressão que com 77,8 % de certeza foi capaz de descrever a relação entre essas variáveis, com a ressalva de que o modelo só é recomendado dentro da faixa de temperaturas avaliadas e para o local do experimento.

Devido ao inverno desse ano estar sendo bastante seco, clima característico do local onde se desenvolveu o estudo, a umidade também só se aproximou do ideal após o evento de precipitação ocorrido, que mesmo tendo sido de poucos milímetros, foi capaz de alterar o microclima da estufa por algum tempo, aproximado o local das condições mais adequadas de cultivo.

Os resultados indicam, portanto, que se for para se manter todas as condições ideais recomendadas, haveria a necessidade de se controlar todas as características do ambiente de cultivo o que tornaria a plantação das alfaces muito mais cara, possivelmente inviabilizando a produção. Cabe destacar que mesmo o ambiente não sendo o ideal descrito pela literatura para o cultivo as plantas continuaram se desenvolvendo, sem que nenhum problema fosse observado, destacando-se que não ocorreram mortes de plantas ao longo do período estudado.

A instalação e correto funcionamento dos sensores pôde ser verificada e a obtenção de um acompanhamento dos dados microclimáticos da estufa, o que aproxima o cultivo hidropônico comum de uma hidroponia mais moderna que caminha para a Agricultura 4.0 onde a automação e a agricultura de precisão serão indispensáveis.

Nos próximos cultivos os dados completos poderão ser coletados ao longo de todo o ciclo de cultivo e os resultados dos valores obtidos poderão ser confrontados com a qualidade do produto final obtido. Espera-se que os futuros resultados sejam capazes de trazer maiores informações sobre a adaptação dessa cultura a diferentes condições climáticas, com maior certeza e até mesmo possibilitem se estabelecer melhor os reais limites que as plantas são capazes de suportar, sem danos a sua qualidade e seu potencial de produção.

## Referências

ALIPIO, M. I., DELA CRUZ, A. E. M., DORIA, J. D. A., FRUTO, R. M. S. On the design of Nutrient Film Technique hydroponics farm for smart agriculture. **Engineering in Agriculture, Environment and Food**, [s.l.], v.12, n.3, p. 315-324, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eaef.2019.02.008>.

COMETTI, N. N.; BREMENKAMP, D. M.; GALON, K.; HELL, L. R.; ZANOTELLI, M. F. Cooling and concentration of nutrient solution in hydroponic lettuce crop. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.31, p.287-292, 2013.

CORTELLA, G. et al. Temperature control of nutrient solution in floating system cultivation. **Applied Thermal Engineering**, [s.l.], v. 73, n. 1, p.1055-1065, dez. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.08.068>.

ECONOMAKIS, C.D.; SAID, M. Effect of solution temperature on growth and shoot nitrate content of lettuce grown in solution culture. **Acta Horticulture**, n.579, p.411-415, 2002. <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.579.71>.

EK SON, J.; KIM, H.J.; AHN, T.I. Hydroponic Systems (Cap. 17). In: KOZAI, T; NIU, G; TAKAGAKI, M. **Plant Factory**. Academic Press, 2016, p.213-221. ISBN 9780128017753. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801775-3.00017-2>.

ESMAELI, H.; ROSHANDEL, R. Optimal Design for Solar Greenhouses Based on Climate Conditions. **Renewable Energy**, [s.l.], v.145, p.1255-1265, 2020. [doi:10.1016/j.renene.2019.06.090](https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.090).

MIRANDA, J. et al. Sensing, smart and sustainable technologies for Agri-Food 4.0. **Computers In Industry**, [s.l.], v.108, p.21-36, jun. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compind.2019.02.002>.

RAVIV, M. J.; LIETH, H.; BAR-TAL, A. (Editores). Significance of Soilless Culture in Agriculture (Cap. 01), p;3-14. In: RAVIV, M. J.; LIETH, H.; BAR-TAL, A. (Editores). **Soilless Culture**. 2.ed, Elsevier, 2019. ISBN 9780444636966. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63696-6.00001-3>.

ROUPHAEL, Y. et al. Improving vegetable quality in controlled environments. **Scientia Horticulturae**, [s.l.], v. 234, p.275-289, abr. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.033>.

SEABRA JUNIOR, S.; SOUZA, S.B.S.; THEODORO, V.C.A.; NUNES, M.C.M.; AMORIN, R.C.; SANTOS, C.L.; NEVES, L.G. Desempenho de cultivares de alface tipo crespa sob altas temperaturas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.27, p.3171-3176, 2009.

SUZUKI, M. et al. Effects of relative humidity and nutrient supply on growth and nutrient uptake in greenhouse tomato production. **Scientia Horticulturae**, [s.l.], v. 187, p.44-49, maio 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.02.035>.