

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS ARARANGUÁ**

Cristiano Santos Pereira de Abreu e Tiago Jampietro Bastos

**AUTOMAÇÃO DE ABRIGOS DE CULTIVOS PARA
CULTURAS HIDROPÔNICAS**

Araranguá

2015

Cristiano Santos Pereira de Abreu e Tiago Jampietro Bastos

AUTOMAÇÃO DE ABRIGOS DE CULTIVOS PARA CULTURAS HIDROPÔNICAS

**Trabalho de Conclusão de
Curso submetido à Universi-
dade Federal de Santa Cata-
rina, como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do
Grau de Bacharel em Tecno-
logias da Informação e Comu-
nicação.**

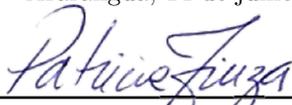
Araranguá, julho de 2015.

Cristiano Santos Pereira de Abreu e Tiago Jampietro Bastos

AUTOMAÇÃO DE ABRIGOS DE CULTIVOS PARA CULTURAS HIDROPÔNICAS

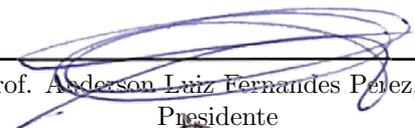
Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado aprovado para a obtenção do Título de “Bacharel em Tecnologias da Informação e Comunicação”, e aprovado em sua forma final pela Curso de Graduação em Tecnologias da Informação e Comunicação.

Araranguá, 14 de julho 2015.



Prof^a. Patricia Jantsch Fiuza, Dr^a
Coordenador do Curso

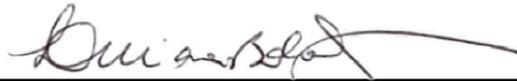
Banca Examinadora:



Prof. Anderson Luiz Fernandes Perez, Dr
Presidente



Prof^a. Eliane Pozzebon, Dr^a



Prof^a. Luciana Bolan Frigo, Dr^a

Aos Meus pais, Darci Pereira de Abreu *in*
memoriam e Odete Silveira dos Santos.
Cristiano Santos Pereira de Abreu

Aos meus pais, Maria Elisa de Sá Jampi-
etro e Erasmo Bastos Filho.
Tiago Jampietro Bastos

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao orientador, Professor Anderson Luiz Fernandes Perez, que eu considero como um segundo pai, pela disposição em orientar este trabalho, meu tio Sérgio Luiz Varela Pereira por doar materiais para construção do mini abrigo utilizado na avaliação do trabalho e a todos os meus amigos do LARM: Ronaldo Tadeu Murguero Júnior, Vinícios Luneburger Anacleto, Elder Dominghini Tramontin, Rafael Gustavo Ferreira Morales pesquisador da EPAGRI-SC, que nos ajudou a desenvolver esta pesquisa, nos deu a oportunidade de conhecer de perto uma produção de hidropônicos e demais colegas que colaboraram na realização deste Trabalho de Conclusão de Curso. (*Cristiano Santos Pereira de Abreu*)

Ao meu orientador, professor Anderson Luiz Fernandes Perez, que acreditou neste projeto e incentivou a finalizá-lo com sucesso. Aos meus colegas de LARM que estiveram presentes durante essa jornada, principalmente ao Ronaldo Tadeu Murguero Júnior, o Vinícios Luneburger Anacleto e o Elder Dominghini Tramontin, que estiveram ligados de forma muito importante nesse trabalho. Ao Rafael Gustavo Ferreira Morales pesquisador da EPAGRI-SC, que nos ajudou a desenvolver esta pesquisa, nos deu a oportunidade de conhecer de perto uma produção de hidropônicos. À minha família e amigos que sempre acreditaram e me apoiaram nesses anos todos. (*Tiago Jampietro Bastos*)

“Não é possível convencer um crente de coisa alguma, pois suas crenças não se baseiam em evidências; baseiam-se numa profunda necessidade de acreditar.”

Carl Sagan

RESUMO

Um abrigo de cultivo hidropônico é um ambiente protegido, empregado como uma solução adotada na agricultura que visa proteger a cultura das intempéries da natureza em relação ao cultivo convencional em solo ou em céu aberto. Entretanto, todo o controle do abrigo, que é necessário para o melhor desenvolvimento da cultura, é executado manualmente ou semiautomaticamente, através de instrumentos como termo-higrômetros, sistema de sombreamento e ventilação. Este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema para automação de abrigos de cultivos, baseado na coleta das condições climáticas do ambiente tais como luminosidade, temperatura e umidade através de sensores instalados no interior do abrigo.

Palavras-chave: automação agroindustrial, computação embarcada, hidroponia, abrigos de cultivo.

ABSTRACT

A hydroponic greenhouse is a protected environment, employed as a solution adopted in agriculture that aims to protect the culture of the nature of inclement weather compared to conventional culture in ground or in open sky. However, all control of the greenhouse, which is necessary for the best development of culture is performed manually or semi-automatically, as thermo-hygrometers, shading and ventilation system. This paper proposes the development of an system for automation of a greenhouse, based on the collection of environmental soil and weather conditions such as light, temperature and humidity using sensors installed inside the environment.

Keywords: agroindustrial automation, embedded computing, hydroponic, green houses.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Exemplo de um sistema hidropônico de pavio.	30
Figura 2	<i>a.canais de cultivo/b.detalhe da ligação para circulação da solução/c.detalhe do tanque de armazenamento de solução/d.visão do sistema de retorno de solução para o tanque.</i>	31
Figura 3	Exemplo de um sistema DFT.	32
Figura 4	Exemplo de um sistema gotejamento com retorno de solução.	33
Figura 5	Exemplo de um sistema de sub-irrigação.	34
Figura 6	Exemplo de um sistema aeropônico.	35
Figura 7	Exemplo de um abrigo de cultivo.	36
Figura 8	Modelo de estufas utilizados na hidroponia.	37
Figura 9	Exemplo de colhedora agrícola.	39
Figura 10	Sistema de irrigação de grandes áreas.	40
Figura 11	Savage ZEUS.	42
Figura 12	Mirai Co., Ltd. Japão.	43
Figura 13	Robô Prospero.	44
Figura 14	Hortibot.	44
Figura 15	Imagem do esquema elétrico do robô.	46
Figura 16	Imagem do VANT.	47
Figura 17	Ilustração do robô manipulador de mudas.	48
Figura 18	Diagrama do sistema de automação de abrigos de cultivos.	50
Figura 19	Módulo de sensoriamento remoto.	51
Figura 20	Módulo de controle central.	52
Figura 21	Interface gráfica do sistema desenvolvido.	53
Figura 22	Diagrama de fluxo para controle de temperatura e umidade dentro do abrigo.	54
Figura 23	Teste de estresse, módulo de sensoriamento em ambiente externo.	56
Figura 24	Dados capturados pelo sistema.	56
Figura 25	Soprador térmico utilizado para elevar a temperatura. .	57
Figura 26	Realização de testes de bancada.	57
Figura 27	Mini abrigo de cultivo utilizada para os testes.	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Tabela de fatores de controle ambientais.	49
Tabela 2	Tabela de dados de testes realizados no abrigo de cultivo	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

C#	C Sharp	26
USB	Universal Serial Bus	27
NFT	Nutrient Film Technique	31
DFT	Deep Film Technique	31
pH	Potencial Hidrogeniônico	32
AP	Agricultura de Precisão	41
GNSS	Global Navigation Satellite System	41
SIG	Sistema de Informações Geográficas	41
Savage	Supportive Autonomous Vehicle for Agriculture	41
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural...	45
kV	Kilovolts	45
VANTs	Veículos Aéreos Não Tripulados	46
Li-po	Lithium-ion Polymer	51
LDR	Light Dependent Resistor	51
lx	Lux	51

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	25
1.1 OBJETIVOS	26
1.2 JUSTIFICATIVA	26
1.3 METODOLOGIA	27
1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	27
2 FUNDAMENTOS DE HIDROPONIA	29
2.1 DEFINIÇÕES E OBJETIVOS	29
2.2 SISTEMAS HIDROPÔNICOS	30
2.3 SOLUÇÃO NUTRITIVA	35
2.4 ABRIGOS DE CULTIVO	36
3 AUTOMAÇÃO AGROINDUSTRIAL	39
3.1 DEFINIÇÃO DE AUTOMAÇÃO	39
3.2 AGRICULTURA DE PRECISÃO	40
3.3 ROBÓTICA NA AGRICULTURA	42
3.4 AUTOMAÇÃO PARA O CONTROLE DE PRAGAS	45
3.5 USO DE $VANT_S$ (VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS) NA AGRICULTURA	46
3.6 AUTOMAÇÃO NA HIDROPONIA	47
4 SISTEMA ELETRÔNICO DE AUTOMAÇÃO DE ABRIGOS PARA CULTURAS HIDROPÔNICAS	49
4.1 IDENTIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS A SEREM CONTROLADOS	49
4.2 ARQUITETURA DO SISTEMA	49
4.3 MÓDULO DE SENSORIAMENTO REMOTO	50
4.4 MÓDULO DE CONTROLE CENTRAL	52
4.4.1 Software de Interface Com o Usuário	52
4.5 FLUXO DE EXECUÇÃO DO SISTEMA	53
5 AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE PARA O MONITORAMENTO DE CULTURAS HIDROPÔNICAS	55
5.1 METODOLOGIA EMPREGADA NA AVALIAÇÃO	55
5.2 TESTES DE AQUISIÇÃO DE DADOS ATRAVÉS DO MÓDULO DE SENSORIAMENTO E ESTRESSE DOS COMPONENTES	55
5.3 TESTES DE ACIONAMENTO DOS ATUADORES	57
5.4 TESTES DE AVALIAÇÃO DO SISTEMA UTILIZANDO O MINI ABRIGO DE CULTIVOS	58

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS.....	61
6.1 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS	61
REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

No Brasil grande parte do cultivo agrícola é feito em cultivares direto no solo sem nenhum tipo de proteção contra intempéries. Porém, esta prática apresenta desvantagens quando se trata de clima, uma vez que a safra pode ser perdida por uma baixa temperatura, por exemplo. Como alternativa a essa prática o cultivo agrícola em ambientes protegidos, como estufas ou abrigos de cultivo, possibilita um melhor desenvolvimento das plantas, aumento na produtividade, colheita em períodos de entressafra e menor incidência de pragas e doenças.

A hidroponia vem se popularizando no Brasil como alternativa ao cultivo tradicional em solo, isso se dá por ser uma alternativa menos trabalhosa e mais produtiva. Este tipo de cultivo apresenta diversas vantagens em relação ao cultivo tradicional, tais como maior produtividade, aumento na proteção contra doenças, pragas e insetos, economia em até 70% no uso de água em relação à agricultura tradicional, possibilidade de plantio fora de época entre outras (NEGOCIOS, 2013).

O cultivo hidropônico está diretamente ligado ao cultivo em ambientes protegidos, uma vez que por se tratar de uma forma de cultivo sem solo e sua solução de nutrição não possa sofrer contaminação de chuva, por exemplo, o uso de um abrigo de cultivo se torna necessário. Porém, o cultivo em abrigos é mais complicado, exigindo mais experiência do produtor no manejo do abrigo. O manejo pode ser entendido como o gerenciamento de fatores que influenciam no crescimento e desenvolvimento das plantas, com o uso de instrumentos de controle de um abrigo, tais como uma janela, ventiladores, exaustores, cobertura de sombreamento, irrigação etc (JUNIOR, 2011).

O presente trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema de controle para abrigos de cultivo, a fim de facilitar e aumentar a produção de pequenos produtores. O sistema é composto de módulos de sensoriamento, posicionados dentro do abrigo, responsáveis por medir a temperatura, umidade relativa do ar e luminosidade, que se comunicam através de um rádio com um módulo central, responsável por fazer a interface entre o módulo de sensoriamento e o sistema de controle no computador.

1.1 OBJETIVOS

Esta sessão apresenta o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho.

- **Geral**

Desenvolver um sistema de controle para abrigos de cultivos para culturas hidropônicas.

- **Específicos**

1. Pesquisar o estado da arte da automação agroindustrial e da automação de culturas hidropônicas;
2. Estudar a plataforma *open hardware* Arduino e as linguagens de programação C para AVR e C# (C Sharp);
3. Definir os requisitos necessário para o sistema de controle proposto;
4. Projetar e desenvolver o sistema definido em (3);
5. Testar o sistema desenvolvido em (4) e avaliar os resultados obtidos.

1.2 JUSTIFICATIVA

A produção agrícola convencional é realizada em solo a céu aberto, deixando as culturas expostas às intempéries climáticas que podem comprometer a produção. Fatores como a geada, frio, granizo, calor excessivo, qualidade do solo podem devastar com o cultivo causando grandes prejuízos econômicos.

O cultivo em ambiente protegido, como abrigos de cultivo hidropônicos é uma alternativa aos métodos convencionais que não utiliza o solo para desenvolvimento das culturas e é definido como uma estrutura de proteção ao cultivo de plantas com elevado grau de controle do seu ambiente interno e da solução nutritiva (JUNIOR, 2011).

O controle do ambiente em um abrigo de cultivo exige cuidados específicos, variáveis como luminosidade, temperatura e umidade, precisam estar sob controle a fim de manter o ambiente nas condições ideais para o melhor desenvolvimento da cultura ali presente. No método convencional, para realizar este controle, o produtor deve executar

o manejo dos instrumentos disponíveis como ventiladores, sombreamento, janelas, iluminação e termo-higrômetros manualmente, demandando tempo, dedicação e concentração, pois se ocorrer alguma falha na operação desses instrumentos, o desenvolvimento da cultura poderá ser comprometido causando perdas na produção e prejuízos financeiros.

Este trabalho tem por objetivo automatizar o processo de manejo do ambiente protegido, oferecendo um controle mais preciso das condições climáticas do ambiente, evitando erros e desperdícios, visando facilitar o dia a dia do produtor rural que utiliza abrigos de cultivo em sua produção agrícola hidropônica.

1.3 METODOLOGIA

Este trabalho é uma pesquisa tecnológica que visa o desenvolvimento de um sistema eletrônico para automação de abrigos de cultivos hidropônicos visando facilitar o processo de produção de alimentos hidropônicos.

Foi desenvolvido um sistema de sensoriamento para controle de temperatura, umidade e luminosidade dentro de um abrigo de cultivo, onde um Arduino faz o interfaceamento via rádio dos sensores com o sistema de controle central. Para o sistema central foi utilizado uma placa Arduino fazendo a interface entre o rádio, os atuadores e o usuário, este se comunica com o computador via USB (*Universal Serial Bus*) onde um programa desenvolvido em C# oferece uma interface gráfica para controle do usuário.

Para validação de todo o sistema foram feitos testes em um mini abrigo desenvolvido no Laboratório de Automação e Robótica Móvel (LARM), onde foram simulados diversos cenários e condições existentes em um abrigo de cultivo real. Os resultados foram analisados a fim de avaliar o desempenho do sistema como um todo.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este documento, além desta introdução, está organizado em mais 5 (cinco) capítulos que abordam os seguintes conteúdos:

O **Capítulo 2** descreve conceitos de hidroponia, bem como os tipos de sistemas de cultivos hidropônicos existentes, conceitos da solução nutritiva utilizada nesse tipo de cultivo e quais os principais fatores a serem controlados por um sistema automático.

O **Capítulo 3** descreve conceitos de automação para a área da agronomia, as atuais tecnologias utilizadas, bem como o que já existe na área de automação de abrigos de cultivo.

O **Capítulo 4** apresenta de forma detalhada toda a estrutura do sistema desenvolvido, suas funcionalidades, os equipamentos utilizados e todo o software desenvolvido para este trabalho.

O **Capítulo 5** apresenta os resultados dos testes que foram aplicados a fim de avaliar todo o sistema.

O **Capítulo 6** apresenta as considerações finais a cerca deste trabalho, bem como algumas propostas para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTOS DE HIDROPONIA

Neste capítulo são descritos os conceitos de hidroponia, bem como os tipos de sistemas de cultivos hidropônicos existentes, conceitos da solução nutritiva utilizada nesse tipo de cultivo e quais os principais fatores a serem controlados por um sistema automático.

2.1 DEFINIÇÕES E OBJETIVOS

A hidroponia, termo derivado de duas palavras de origem grega *hidro*, que significa água e *ponia* que significa trabalho, está se desenvolvendo rapidamente como meio de produção vegetal, principalmente de hortaliças sob cultivo protegido. A hidroponia é uma técnica alternativa de cultivo protegido, na qual o solo é substituído por uma solução aquosa contendo apenas os elementos minerais essenciais aos vegetais (FURLANI et al., 1999).

Desde a criação do termo “hidropônico” pelo pesquisador da Universidade da Califórnia, Dr. W. F. Gericke na década de 30, a técnica de produção de plantas sem solo vem sendo popularizada. A respeito do maior custo inicial para instalação, várias são as vantagens do cultivo comercial de plantas em hidroponia, as quais podem ser resumidas como: padronização da cultura e do ambiente radicular; drástica redução no uso de água; eficiência do uso de fertilizantes; melhor controle de crescimento vegetativo; maior produção; qualidade e precocidade; maior ergonomia no trabalho; maiores possibilidades de mecanização e automação da cultura.

Muitos dos cultivos hidropônicos não obtêm sucesso, principalmente devido ao desconhecimento dos aspectos nutricionais deste sistema de produção, isto é, à formulação e manejo mais adequado das soluções nutritivas. Outros aspectos que também interferem, estão relacionados com o tipo de sistema de cultivo hidropônico (FURLANI et al., 1999).

No Brasil a hidroponia está disseminada em praticamente todos os estados, principalmente o cultivo de alface (TEIXEIRA, 1996). Essa espécie é a mais difundida entre os produtores por se tratar de cultura de fácil manejo e por ter ciclo curto, garantindo rápido retorno do capital investido (KOEFEENDER, 1996).

Os tipos de sistemas hidropônicos determinam estruturas com características próprias, sendo que os mais utilizados estão descritos na

próxima seção.

2.2 SISTEMAS HIDROPÔNICOS

Existem diversas formas de se praticar a hidroponia, as quais são denominadas de Sistemas Hidropônicos. Estes sistemas estão classificados em dois grupos básicos, que são os Sistemas Passivos e os Sistemas Ativos. Nos sistemas passivos, a solução nutritiva permanece estática e é conduzida às raízes das plantas, geralmente por capilaridade. Já os sistemas ativos, de uma forma ou de outra, necessitam da circulação da solução nutritiva através de uma bomba, e grande parte deles também necessitam de algum sistema paralelo em conjunto para ser feita a aeração ou oxigenação da solução.

1. **Sistema de Pavio:** é o sistema mais simples. Nele, as plantas são ancoradas numa plataforma flutuante, colocada diretamente na superfície da solução de nutrientes, contida num depósito, e as raízes ficam total ou parcialmente imersas nessa solução. É necessário promover a oxigenação da solução nutritiva, o que pode ser feito pelo borbulhamento de ar na mesma, através de uma bomba de ar, de um ventilador, ou mesmo por uma recirculação periódica da solução. Quando a oxigenação da solução é feita através de borbulhamento de ar, este sistema também é considerado como um sistema passivo. A Figura 1 ilustra uma imagem deste tipo de sistema hidropônico.

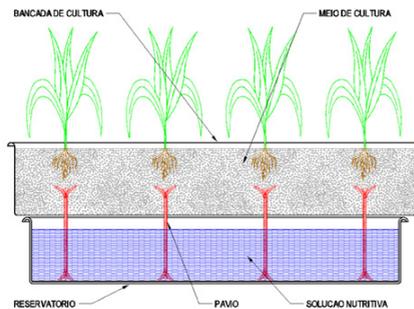


Figura 1 – Exemplo de um sistema hidropônico de pavio.

Fonte: Imagens da internet (HIDROPÔNIA, 2013a)

2. **Sistema de Fluxo Laminar de Nutrientes (NFT):** é uma técnica de cultivo onde as plantas crescem tendo seu sistema radicular dentro de um canal ou canaleta onde circula uma solução nutritiva. Este sistema é composto basicamente de um tanque de solução nutritiva, de um sistema de bombeamento dos canais de cultivo e de um sistema de retorno ao tanque. A solução nutritiva é bombeada aos canais e escoar por gravidade formando uma fina lâmina de solução que irriga as raízes. Essa técnica de hidroponia surgiu na Inglaterra em 1965 e é hoje o principal sistema de hidroponia utilizado no Brasil (HIDROPÔNIA, 2013b). A Figura 2 ilustra algumas imagens de um sistema NFT na cidade de Içara em Santa Catarina.

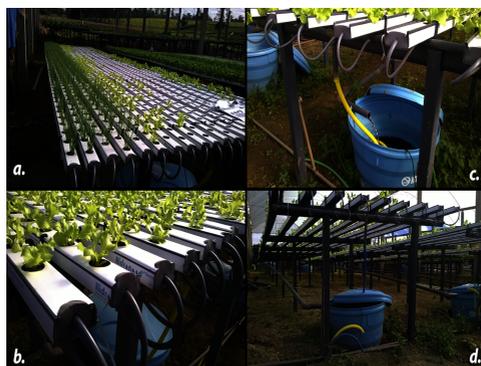


Figura 2 – *a.canais de cultivo/b.detulhe da ligação para circulação da solução/c.detulhe do tanque de armazenamento de solução/d.visão do sistema de retorno de solução para o tanque.*

Fonte: Autoral

3. **Sistema DFT (*Deep Film Technique*) ou *floating*:** neste sistema as plantas são ancoradas em uma plataforma flutuante e a solução nutritiva forma uma lâmina profunda (5 a 20 cm) onde as raízes ficam submersas. Não existem canais e sim uma mesa plana onde a solução fica circulando através de um sistema de entrada e drenagem, ou por um ventilador para que ocorra a oxigenação da solução. Este sistema é geralmente utilizado para o cultivo de plantas de pequeno porte que necessitam de muita água, como por exemplo a alface (HIDROPÔNIA, 2013a). A Figura 3 ilustra um exemplo de sistema DFT.

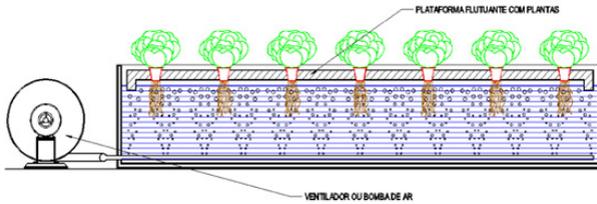


Figura 3 – Exemplo de um sistema DFT.
 Fonte: Imagens da Internet (HIDROPÔNIA, 2013a)

4. **Sistema de Gotejamento:** é o sistema hidropônico mais utilizado em todo o mundo. Sua operação é muito simples, a solução nutritiva é retirada do depósito por uma bomba, cujo funcionamento é comandado por um controlador de tempo, e conduzida através de tubos e micro tubos até o colo de cada planta, onde é descarregada na forma de gotas por meio de gotejadores. Existem dois sistemas de gotejamento normalmente utilizados: O Sistema a Solução Perdida, e o Sistema com Recuperação de Solução. O sistema a solução perdida, exige menos trabalho de manejo, uma vez que os excessos de solução nutritiva utilizada, são descartados, geralmente por infiltração no subsolo, através de um sumidouro. Sendo assim, as plantas são irrigadas sempre com uma solução nutritiva nova, e não há necessidade de controle constante do seu pH e sua Condutividade Elétrica. Basta fazer-se o controle destes parâmetros, quando se prepara a solução e se enche o depósito. No sistema com recuperação de solução, todo o excesso de solução retorna para o tanque de solução através de um canal de retorno que então é reciclada para o sistema (HIDROPÔNIA, 2013a). A Figura 4 ilustra um modelo de sistema de gotejamento com retorno de solução.

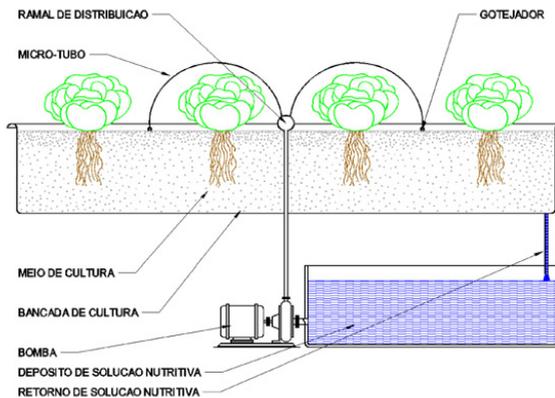


Figura 4 – Exemplo de um sistema gotejamento com retorno de solução.
Fonte: Imagens da Internet (HIDROPÔNIA, 2013a)

5. **Sistema de Sub-Irrigação:** este sistema funciona de forma simples fazendo-se encher temporariamente com a solução nutritiva, uma bandeja ou bancada de cultura, e logo após, esvaziá-la rapidamente. Esta operação é realizada por meio de uma bomba, controlada por um controlador de tempos. Esse sistema é conhecido como Sistema Hidropônico Ativo. A Figura 5 ilustra um sistema hidropônico de sub-irrigação.

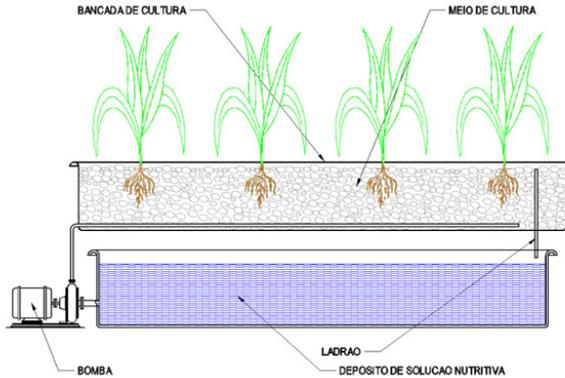


Figura 5 – Exemplo de um sistema de sub-irrigação.
 Fonte: Imagens da Internet (HIDROPÔNIA, 2013a)

6. **Sistema Aeroônico:** é o sistema hidropônico de mais alta tecnologia. Até certo ponto similar ao sistema NFT, em que o meio de cultura utilizado é o Ar Úmido. Neste sistema, as raízes das plantas ficam suspensas e imersas numa Câmara de Cultura, ou Câmara de Cultivo, onde são borrifadas com uma névoa de solução nutritiva, em intervalos de tempo muito curtos, geralmente de alguns minutos. Como em quase todos os sistemas hidropônicos, a solução nutritiva é retirada de seu depósito por uma bomba, comandada por um controlador de tempo de grande precisão, e com capacidade de regulagem para ciclos muito curtos, desde alguns segundos, a alguns minutos. O borrifo da solução nutritiva pode ser feito por borrifadores de média ou alta pressão, por nebulizadores de alta pressão, por nebulizadores ultrassônicos ou por nebulizadores centrífugos (HIDROPÔNIA, 2013a). Na Figura 6 é demonstrado um sistema aeroônico.

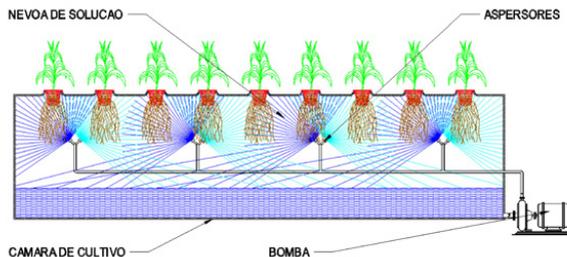


Figura 6 – Exemplo de um sistema aerônico.
 Fonte: Imagens da Internet (HIDROPÔNIA, 2013a)

2.3 SOLUÇÃO NUTRITIVA

As soluções nutritivas fornecem os nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas. Porém, não existe uma que seja adequada para todas as culturas. Para cada espécie e condições de cultivo existe uma solução nutritiva mais adequada, dependendo da exigência nutricional da planta. Esta exigência refere-se às quantidades de nutrientes que uma cultura extrai da solução nutritiva para atender suas necessidades, crescer e produzir adequadamente. A extração e o acúmulo de nutrientes pelas plantas dependem de diversos fatores:

- Espécie e variedade cultivada;
- Estágio de desenvolvimento: fase de muda, crescimento, flora e frutificação;
- Condições ambientais: umidade relativa do ar, temperatura do ambiente e da solução, pH e condutividade elétrica da solução nutritiva etc.

Os nutrientes são absorvidos em diferentes quantidades, de acordo com as condições em que a planta se encontra. Uma boa solução nutritiva em quantidades e proporções adequadas em todas as fases se torna necessária para obter uma alta produtividade das plantas.

2.4 ABRIGOS DE CULTIVO

A maioria dos cultivos hidropônicos são realizados em abrigos de cultivo, formados por uma estrutura metálica ou de madeira, cobertas por um plástico translúcido, e que podem dispor de alguns equipamentos como ventilação, sombreamento entre outros, possibilitando a obtenção de um micro-clima cujas condições atmosféricas diferem do exterior, de acordo com o manejo aplicado. A Figura 7 ilustra um abrigo de cultivo com destaque para o sistema de ventilação no interior deste.



Figura 7 – Exemplo de um abrigo de cultivo.

Fonte: (JUNIOR, 2011)

O uso correto do ambiente protegido possibilita produtividades superiores às observadas em campo. Segundo (CERMEÑO, 1989) a produtividade dentro do ambiente protegido pode ser duas a três vezes maior que as observadas no campo e com qualidade superior. Além do controle parcial das condições climáticas, o ambiente protegido permite a realização de cultivos em épocas que normalmente não seriam escolhidas para a produção ao ar livre. Esse sistema também auxilia na redução das necessidades hídricas (irrigação), através do uso mais eficiente da água pelas plantas. Um outro bom motivo para produ-

zir em ambiente protegido é o melhor aproveitamento dos recursos de produção (nutrientes, luz solar e CO_2), resultando em precocidade de produção (redução do ciclo da cultura) e redução do uso de insumos, como fertilizantes (fertirrigação) e defensivos (PURQUERIO; TIVELLI, 2006).

Segundo (ALBERONI, 1998), alguns modelos de abrigos de cultivo são utilizados na produção hidropônica, estes estão representados na Figura 8.

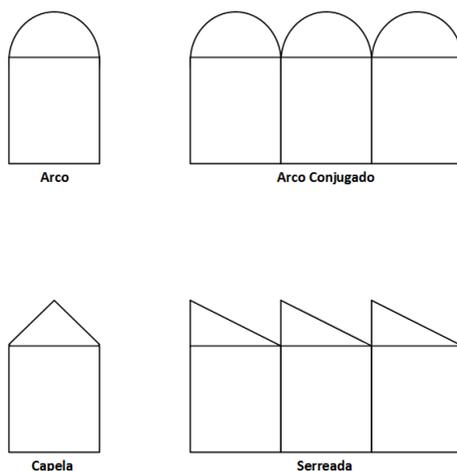


Figura 8 – Modelo de estufas utilizados na hidroponia.

Fonte: Autoral.

O modelo mais utilizado é o tipo capela que fornece um bom escoamento da água das chuvas, amplo espaço interno onde podem ser colocadas várias bancadas em seu interior.

Os modelos do tipo arco e arco conjugado tem como características as suas curvaturas que favorecem a fixação do plástico de polietileno. Também apresentam alta resistência ao vento e possuem um excelente aproveitamento da radiação solar apresentando assim melhor eficiência do efeito estufa (FILGUEIRA, 2006).

O modelo *lean-to* ou serreada, em sua essência, é um sistema “guarda-chuva” sendo por esta razão apropriado para locais onde o principal fator climático adverso é o excesso de pluviosidade. É de fácil instalação e facilita os trabalhos de mecanização de aração, gradagem e subsolagem do terreno (REIS, 2005).

3 AUTOMAÇÃO AGROINDUSTRIAL

Este capítulo descreve conceitos de automação para a área da agronomia, as atuais tecnologias utilizadas, bem como o que já existe na área de automação de abrigos de cultivo.

3.1 DEFINIÇÃO DE AUTOMAÇÃO

Automação é um sistema em que os processos operacionais em indústrias, hospitais, telecomunicações etc. são controlados e executados por meio de dispositivos mecânicos ou eletrônicos, com objetivo de tornar algumas rotinas automáticas. Automação agroindustrial é a aplicação da automação na agroindústria. É realizada através da instrumentação, coleta de dados (sensoriamento), processamento, controle de implemento (atuação) e vem sendo muito utilizada na agricultura de precisão.

Atualmente no Brasil as práticas de automação na área agrícola são voltadas principalmente para produção em larga escala em ambientes desprotegidos, como por exemplo a cana-de-açúcar, com equipamentos como plantadoras e colhedoras, conforme imagem da Figura 9. Estes sistemas empregam tecnologia de ponta e consistem na preparação e fertilização do solo através do georreferenciamento por satélites (CANAVIEIRA, 2013).



Figura 9 – Exemplo de colhedora agrícola.

Fonte: New Holland do Brasil

Outros sistemas automatizados muito utilizados são os sistemas

para irrigação inteligente. O uso de sistemas automatizados para irrigação apresenta grande potencial uma vez que aumenta a eficiência do uso da água e energia, possibilita o controle no uso de produtos químicos, redução na mão-de-obra, e um incremento na produção agrícola (GUIRRA; SILVA, 2010). A Figura 10 ilustra um sistema de irrigação autônomo. Estes sistemas são capazes de medir a umidade do solo através de sensores, verificando assim a necessidade de irrigação (SILVA; LIMA; RODRIGUES, 2007).



Figura 10 – Sistema de irrigação de grandes áreas.
Fonte: UDESC.

Assim como a irrigação, a aplicação de insumos agrotóxicos para o controle de pragas também vem sendo automatizado. Sistemas capazes de avaliar a qualidade da aplicação de insumos líquidos, como agrotóxicos, fertilizantes líquidos, podem ser empregados em manejos baseados na Agricultura de Precisão (CRUVINEL; OLIVEIRA; FELIZARDO, 2012).

3.2 AGRICULTURA DE PRECISÃO

Os conceitos que fundamentam a agricultura de precisão (AP) passam a fazer parte da rotina das atividades de produção agropecuária e florestal. O domínio das ferramentas envolvidas requer certa dedicação, mas oferece ao profissional um novo horizonte que lhe permite agregar técnicas gerenciais inovadoras. A AP é um sistema de gerenciamento agrícola baseado na variação espacial e temporal da unidade produtiva que visa o aumento do retorno econômico, a diminuição na contaminação da natureza pelos agrotóxicos e o aumento na produtividade. É um sistema de manejo integrado as tecnologias da informação,

fundamentado nos conceitos de que as variabilidades de espaço e tempo influenciam nos rendimentos dos cultivos. A agricultura de precisão visa o gerenciamento mais detalhado do sistema de produção agrícola como um todo, não somente das aplicações de insumos ou de mapeamentos diversos, mas de todo os processos envolvidos na produção.

Esse conjunto de ferramentas para a agricultura pode fazer uso do GNSS (*Global Navigation Satellite System*), do SIG (Sistema de Informações Geográficas), de instrumentos e de sensores para medidas ou detecção de parâmetros ou de alvos de interesse no agroecossistema (solo, planta, insetos e doenças), de geoestatística e da mecatrônica, (PRECISÃO, 2015).

Como a AP vem se desenvolvendo nos últimos anos, é possível se pensar nas possibilidades de maquinários agrícolas cada vez mais eficientes e autônomos. Sendo assim veículos que se deslocam autonomamente no campo, executando comandos previamente configurados, tornando possível a gestão do cultivo em pequena escala, a possibilidade de semear (e colher) em períodos diferentes também é outro ponto importante, além da colheita gradual, baseada no grau real de maturação da cultura, a semeadura conforme condições do terreno possibilitando um rendimento quantitativo e qualitativo da cultura.

Um exemplo disto é o Savage (*Supportive Autonomous Vehicle for Agriculture*), um veículo autônomo de suporte para agricultura que pode ser equipado com diversos dispositivos, por exemplo, para medir a umidade do terreno, identificar ervas daninhas, etc (REDAÇÃO, 2013). A Figura 11 ilustra uma imagem do robô Savage.



Figura 11 – Savage ZEUS.
Fonte: (TRESSOS, 2011)

Colheitadeiras são outro grande exemplo do uso da AP, estas máquinas são equipadas com diversos sensores capazes de selecionar de forma automática o que deve ser aproveitado ou não no momento da colheita. Além disso um sistema de GPS (*Global Positioning System*) de alta precisão faz com que a colheitadeira adapte sua velocidade durante o processo de colheita de forma automática, reduzindo assim a chances de erros e acidentes (HOLLAND, 2013). (CANAVIEIRA, 2013).

3.3 ROBÓTICA NA AGRICULTURA

A robótica na agricultura não é um conceito novo nos ambientes controlados (abrigos de cultivo) tem uma história de mais de 20 anos (HACKENHAAR; HACKENHAAR; ABREU, 2015). Estudos vêm sendo realizados para desenvolver colheitadeiras para o tomate cereja, pepino, cogumelos, e outras frutas. Na horticultura, robôs foram utilizados para a colheita de citrinos e maçãs. Em criação de gado leiteiro, a ordenha realizada por robôs é muito comum na Holanda (NOGUCHI; BARAWID, 2011).

No entanto o maior desenvolvimento de sistemas de produção agrícola automatizados são encontrados no Japão. Como exemplo, pode-se citar a Mirai Co., Ltd. ilustrada na Figura 12, onde os vegetais são cultivados em sistema hidropônico sob iluminação artificial. Computadores e robôs controlam o processo de plantio de mudas, adubação, sanidade, o corte da raiz, embalagem e pesagem, tendo como resultado,

produtos perfeitos, ou seja, sem defeitos, doenças ou danos causados por insetos. O nível de automatização nas fábricas de planta é tão elevado que, ao longo do tempo, podem tornar-se instalações de produção completamente autônomas (NOGUCHI; BARAWID, 2011).



Figura 12 – Mirai Co., Ltd. Japão.
Fonte: Mirai Co., Ltd.

Com a escassez da mão se obra na agricultura, uma tendência é a utilização de robôs fazendeiros ou *agrobots* que surgem para facilitar as operações no campo. Sistemas de inteligência artificial e sensoriamento do ambiente pretendem transformar os robôs em agricultores autônomos, funcionando 24 (vinte e quatro) horas por dia (SCIENTIST, 2012).

O esforço para viabilização dos *agrobots* é mundial, com um impulso maior no Japão, que produz apenas 40 por cento dos alimentos que consome. De acordo com Dorhout criador do robô Prospero, ilustrado na Figura 13, a agricultura altamente mecanizada dos tempos atuais facilita a introdução dos robôs no trabalho agrícola (INFOJORNAL, 2011).



Figura 13 – Robô Prospero.
Fonte: (INFOJORNAL, 2011)

Os robôs podem plantar com mais eficiência e menor risco de eventuais excessos ou falhas no tratamento do solo. O HortiBot, ilustrado na Figura 14, criado por Rasmus Jorgensen e uma equipe da Universidade de Aarhus, na Dinamarca, em 2007, marca a transição dos tratores para os robôs autônomos, é um protótipo de robô agrícola que usa a navegação autônoma, câmeras e uma variedade de ferramentas para realizar as tarefas repetitivas no campo (UNIVERSITY, 2012).



Figura 14 – Hortibot.
Fonte: (UNIVERSITY, 2012)

Ao contrário de setores como o aeroespacial, a agricultura é um setor de margem pequena de lucro, por isso é necessário que os novos robôs sejam robustos e acessíveis. Agricultura em 20 anos será uma mescla do convencional com o novo, mas os novos robôs deverão ser inteligentes o suficiente para trabalhar com o ambiente natural para manter a competitividade econômica e sustentável, e a produção de alimentos de alta qualidade (HACKENHAAR; HACKENHAAR; ABREU, 2015).

Os avanços tecnológicos que passam a envolver as novas práticas agrícolas abrem a oportunidade para inserção de sistemas autônomos no campo. Esse, por sua vez, deve ser interpretado como uma ferramenta de auxílio que irá compor e incrementar o sistema de manejo e não como uma solução isolada e imediatista (INAMASU et al., 1996).

3.4 AUTOMAÇÃO PARA O CONTROLE DE PRAGAS

Um sistema automatizado está sendo desenvolvido pela EPAGRI-SC (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina), com o intuito de diminuir a aplicação de produtos químicos para o controle de pragas. Este sistema, desenvolvido em parceria com uma empresa Austríaca, é composto por uma armadilha com feromônio sintético capaz de atrair insetos machos, uma vez preso, o inseto é fotografado por diversas câmeras de alta resolução e são enviadas via sinal de celular para um servidor. As estações são autônomas contando com um sistema de painel solar para recarga da bateria. Com o monitoramento em tempo real, será possível coletar dados para a elaboração de práticas menos degradante de controle de pragas (EPAGRI, 2013).

Em uma universidade da Europa, foi proposto um sistema para controle de ervas daninhas sem o uso de produtos químicos. O sistema consiste em um braço robótico preso a uma plataforma móvel capaz de percorrer os canteiros de cultivo. Através de um sistema de visão o robô é capaz de localizar todas as ervas daninhas presentes em um campo de cultivo contínuo. A Figura 15 apresenta um desenho do esquemático elétrico do robô. Um controle interno e um segundo sistema de visão ajudam a compensar variações causadas pelas deformidades do solo. Um eletrodo instalado na ponta do braço é responsável por aplicar uma carga elétrica de 15kV (*kilovolts*) de forma rápida e precisa nas ervas daninhas a serem eliminadas.

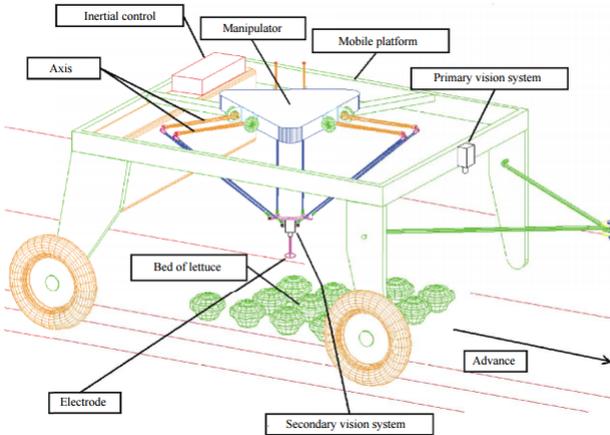


Figura 15 – Imagem do esquema elétrico do robô.

Fonte: (BLASCO et al., 2002)

Com os resultados obtidos em teste foi comprovado a viabilidade do uso do robô, sendo que este apresentou um grau altíssimo de acerto na diferenciação entre ervas daninhas e a cultura presente nos testes (BLASCO et al., 2002).

3.5 USO DE VANT_S (VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS) NA AGRICULTURA

Os VANTs são pequenas aeronaves que possuem a capacidade de executar diversas tarefas, tais como monitoramento, reconhecimento tático, vigilância, mapeamento e etc. Porém essas aeronaves possuem limitações em termos da capacidade de carga a bordo e condições climáticas. Se equipadas com dispositivos de transmissão de dados, como um rádio, são capazes de transmitir, em tempo real, os dados recolhidos (MEDEIROS, 2007). Estes VANTs são controlados a distância através de meios eletrônicos e computacionais, sobre a supervisão do homem ou via controles lógicos programáveis (SILVA et al., 2015).

Um outro tipo de equipamento muito utilizado na agroindústria são os aviões de pulverização, uma técnica muito eficiente na aplicação de agrotóxicos para controle de pragas em grandes áreas, entretanto esse tipo de prática é pouco utilizada no Brasil, representando apenas

5% das áreas plantadas.

Um projeto desenvolvido Universidade Federal de Pelotas visa criar um VANT para uso na aviação de pulverização. Este projeto visou, a partir de uma aeronave não tripulada já existente com 6 (seis) metros de envergadura de asa, adaptar equipamentos utilizados para a pulverização, tais como tanques de armazenamento, bicos pulverizadores e etc. A Figura 16 ilustra um modelo do VANT utilizado. O projeto teve como objetivo fazer com que o VANT voasse de modo autônomo cumprindo a missão de pulverização previamente determinada, com capacidade de controle manual em caso de eventuais problemas, e também para decolar e pousar em pistas improvisadas além da capacidade de transmitir imagens e telemetria em tempo real, facilitando o monitoramento de fenômenos dinâmicos (RASI, 2008).



Figura 16 – Imagem do VANT.

Fonte: (RASI, 2008)

3.6 AUTOMAÇÃO NA HIDROPONIA

Sistemas hidropônicos exigem um controle periódico da circulação da solução nutritiva e do volume da solução dentro dos reservatórios. Para isso alguns sistemas propõem tornar este controle mais prático. Com o uso de alguns sensores é possível controlar o nível da solução dentro dos reservatórios, acionar de maneira automática o enchimento dos tanques que contem solução nutritiva e a circulação desta solução em determinados períodos (TACHIKAWA, 2008). Porém medições como a qualidade da solução, bem como o pH da solução, são feitas de forma

manual pelo agricultor.

Em um trabalho desenvolvido nos Estados Unidos, um robô autônomo é capaz de manipular mudas e plantas sem a intervenção humana e é utilizado como sistema de monitoramento para fornecer dados da cultura e do ambiente para o produtor. Tudo isso é possível através de um *hardware* de baixo custo que utiliza o *Microsoft KinectTM* e um algoritmo de posicionamento baseado em *feedback* visual para localização das planta e posição do robô. Este não é apenas um sistema de baixo custo, como também é uma alteração simples no sistema NFT já existente (TANKE et al., 2012). A Figura 17 apresenta uma imagem deste sistema.



Figura 17 – Ilustração do robô manipulador de mudas.

Fonte: (TANKE et al., 2012)

4 SISTEMA ELETRÔNICO DE AUTOMAÇÃO DE ABRIGOS PARA CULTURAS HIDROPÔNICAS

Este capítulo apresenta de forma detalhada toda a estrutura do sistema desenvolvido, suas funcionalidades, os equipamentos utilizados e todo o software desenvolvido para este trabalho.

4.1 IDENTIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS A SEREM CONTROLADOS

É fundamental que se identifique quais os fatores mais importantes a serem controlados pelo sistema para que o desenvolvimento das plantas se dê de forma ideal (TANVEER et al., 2015). Conforme descrito na Seção 2.3, variáveis como temperatura e umidade relativa estão diretamente ligadas a qualidade da solução de nutrição das plantas. Na Tabela 1 são apresentados alguns fatores tipicamente controlados em um abrigo de cultivo.

Variável a ser controlada	Importância
Temperatura	Afeta as funções de metabolismo na planta
Umidade	Afeta a transpiração das plantas
Luminosidade	Afeta o processo de fotossíntese das plantas
Qualidade da Solução Nutritiva	Essencial para um bom desenvolvimento das plantas

Tabela 1 – Tabela de fatores de controle ambientais.

Após a identificação desses fatores foi possível determinar de forma mais específica a arquitetura e o modo de funcionamento do sistema. Nas próximas seções serão descritos de forma detalhada a arquitetura e funcionamento do sistema desenvolvido.

4.2 ARQUITETURA DO SISTEMA

O sistema de controle desenvolvido tem a finalidade de automatizar o manejo de abrigos de cultivos, a partir da aquisição de dados climáticos como temperatura, umidade relativa do ar e luminosidade,

e, conforme parâmetros previamente definidos, interferir de forma positiva na condições climáticas internas do abrigo visando melhorar o desenvolvimento das plantas.

O sistema de automação de abrigo de cultivo está estruturado em 3 (três) módulos, sendo, módulo de sensoriamento remoto, módulo de controle central e o sistema de interfaceamento, conforme o diagrama ilustrado na Figura 18. O sistema foi desenvolvido para o monitoramento e automação de abrigos para culturas que utilizam o sistema NFT, descrito na Seção 2.2 do Capítulo 2.

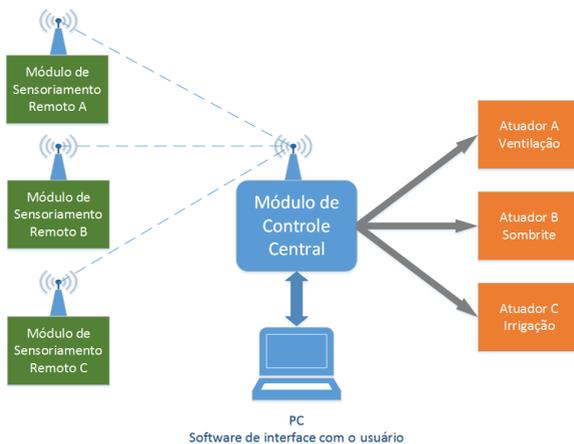


Figura 18 – Diagrama do sistema de automação de abrigos de cultivos.
Fonte: Autoral.

Nas seções seguintes serão apresentados de forma detalhada os módulos que compõem o sistema, a descrição de seus componentes e o funcionamento de cada um.

4.3 MÓDULO DE SENSORIAMENTO REMOTO

Os sistemas de controle sempre estão associados com o sensoriamento de algum parâmetro físico. Controle de processo é um termo que descreve qualquer condição, natural ou artificial pelo qual uma grandeza física é regulada (JOHNSON, 1993). No controle do processo produtivo agrícola o sensoriamento da temperatura, umidade relativa do ar, luminosidade entre outras grandezas são requisitos indispensáveis.

Para a operação correta dos sistemas de controle é necessário o emprego de sensores, que são dispositivos capazes de indicar o comportamento de uma grandeza física.

O módulo de sensoriamento remoto, ilustrado na Figura 19, é um módulo microcontrolado que tem por finalidade medir as condições do interior do abrigo de cultivo e realizar o envio dessas informações, via rádio, para o módulo de controle central.

Este módulo é composto por 5 (cinco) elementos, sendo, um sensor de luminosidade do tipo LDR (*Light Dependent Resistor*), um tipo de resistor variável em que a resistência varia conforme a luminosidade que incide sobre ele, capaz de medir a luminosidade em *lux*; um sensor digital de temperatura e umidade do tipo DHT11, capaz de medir temperaturas de 0 a 50 °C e níveis de 20 a 90% de umidade relativa, este é um sensor de grande confiabilidade, já que apresenta uma precisão de $\pm 5\%$ para umidade e de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ para temperatura, porém não permite apresentar medidas fracionadas (D-ROBOTICS, 2010); um rádio transceptor NRF24L01 de 2.4GHz de *clock* com taxas de até 2Mbps e capacidade de comunicação com até 6 (seis) rádios simultaneamente, usado para transmitir os dados coletados pelos sensores para módulo de controle central, uma placa de prototipação Arduino UNOTM responsável pelo interfaceamento dos sensores com o microcontrolador e uma bateria do tipo *Li-po* (*Lithium-ion Polymer*) para alimentação do circuito.

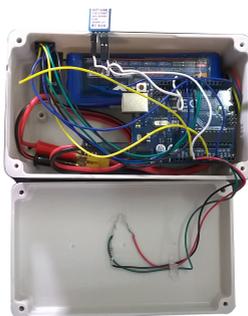


Figura 19 – Módulo de sensoriamento remoto.

Fonte: Autoral.

Para a aquisição dos dados de todos os sensores e a posterior transmissão destes para o controle central, um sistema embarcado foi desenvolvido. Este programa é responsável por efetuar a aquisição dos

dados dos sensores e sincronizar a transmissão destes dados.

4.4 MÓDULO DE CONTROLE CENTRAL

Este módulo funciona como um concentrador, realizando o interfaceamento dos módulos de sensoriamento remoto com sistema de interface com o usuário para realizar o acionamento dos atuadores do abrigo de cultivo.

Este módulo possui uma placa de prototipação Arduino UNOTM que faz interfaceamento entre módulo de sensoriamento, por meio de comunicação via rádio, o controle dos atuadores e o software de interface com o usuário por meio da USB. O módulo de controle central, ilustrado na Figura 20, envia os dados para interface do usuário e recebe comandos para ativar os atuadores, tais como controle de sombreamento, ventilação e exaustão, da melhor forma a manter um ambiente ideal para cultura ali presente.



Figura 20 – Módulo de controle central.

Fonte: Autoral.

A este módulo foi adicionado um *driver* de corrente para motores, a fim de controlar a abertura e o fechamento da cobertura de sombreamento, um sensor ultrassônico para controle de posicionamento da cobertura e uma chave eletrônica com um relé para acionamento da ventilação. Neste módulo também é empregado um software embarcado.

4.4.1 Software de Interface Com o Usuário

Foi desenvolvida uma interface gráfica com a linguagem de programação C# para o usuário operar o sistema, conforme Figura 21.

Esta interface contempla todas as informações monitoradas no abrigo e também permite geração de gráficos com a variação da temperatura, umidade e luminosidade no abrigo ao longo do dia.

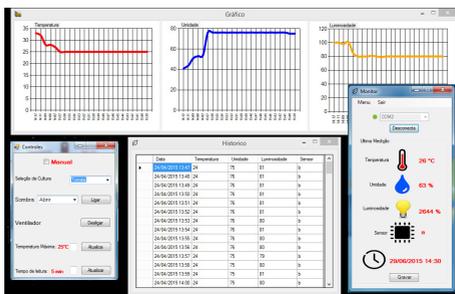


Figura 21 – Interface gráfica do sistema desenvolvido.

Fonte: Autoral.

Um painel de controle permite que o usuário configure o sistema de acordo com o cultivo presente como definir o intervalo de persistência em banco de dados, acionar manualmente a ventilação ou a cobertura de sombreamento (sombrite) e definir manualmente a temperatura que o sistema deve considerar máxima. Com base nos dados coletados o sistema envia comandos via USB para o sistema central micro controlado para acionar determinado atuador, como a ventilação ou o sombreamento do abrigo.

4.5 FLUXO DE EXECUÇÃO DO SISTEMA

O funcionamento do sistema se dá conforme o fluxograma ilustrado na Figura 22. Após a aquisição das condições de temperatura e umidade do ambiente, os dados são enviados via rádio para o módulo de controle central, nele os dados são repassados ao sistema de interface com o usuário onde os dados são persistidos em um banco de dados *SQLite*. Em seguida na mesma interface é tomada a decisão que novamente é enviada ao controle central para acionamento da ventilação, por exemplo. Este mesmo processo é realizado para a leitura da luminosidade interna do abrigo.

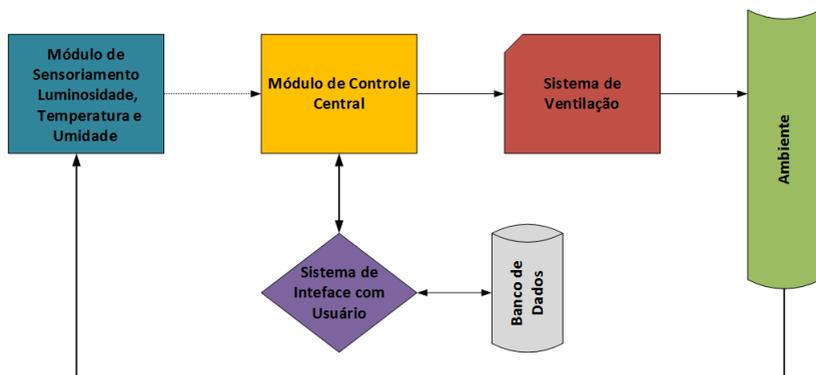


Figura 22 – Diagrama de fluxo para controle de temperatura e umidade dentro do abrigo.

Fonte: Autoral.

5 AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE PARA O MONITORAMENTO DE CULTURAS HIDROPÔNICAS

Neste capítulo são apresentados os resultados a partir dos testes realizados com o sistema de controle.

5.1 METODOLOGIA EMPREGADA NA AVALIAÇÃO

Para avaliação do sistema foram efetuados alguns testes em duas etapas. A primeira etapa consistiu em avaliar o desempenho dos componentes utilizado pra a construção dos módulos de sensoriamento. Foram feitos testes de estresse, capacidade de aquisição de dados via rádio, onde foi possível avaliar a viabilidade do uso dos componentes utilizados na construção dos módulos de sensoriamento. Na segunda etapa foi construído um mini abrigo para simular situações e condições em um abrigo de cultivo real. Foram avaliados quesitos como a robustez, capacidade de operação dos módulos do sistema entre outros.

5.2 TESTES DE AQUISIÇÃO DE DADOS ATRAVÉS DO MÓDULO DE SENSORIAMENTO E ESTRESSE DOS COMPONENTES

Para a avaliação dos dados obtidos foram realizados testes envolvendo a comunicação via rádio entre o módulo de sensoriamento e o módulo de controle central, incluindo testes de estresse, onde o módulo de sensoriamento permaneceu em ambiente externo, vulnerável a chuva, vento e frio durante alguns dias executando a coleta das variáveis climáticas e as enviando via radiofrequência para o módulo de controle central, conforme ilustra a Figura 23.



Figura 23 – Teste de estresse, módulo de sensoriamento em ambiente externo.

Fonte: Autoral.

Através destes testes foi possível comprovar, com a recuperação da informação persistida em banco de dados, consultando a função Histórico no software de gerenciamento, a capacidade do sistema em medir as variações de temperatura, umidade e luminosidade durante longos períodos e em meios totalmente desprotegidos. Na Figura 24 é possível verificar as variações climáticas durante o amanhecer do dia 14/05/2015 com a persistência dos dados a cada 10 minutos.

 A screenshot of a software window titled "Historico". The window contains a table with the following data:

Data	Temperatura	Umidade	Luminosidade	Sensor
14/05/2015 05:55	16	90	0	a
14/05/2015 06:05	16	91	0	a
14/05/2015 06:15	16	91	0	a
14/05/2015 06:25	16	91	9	a
14/05/2015 06:35	16	91	44	a
14/05/2015 06:45	16	91	72	a
14/05/2015 06:55	16	91	86	a
14/05/2015 07:05	17	91	94	a
14/05/2015 07:15	19	85	99	a
14/05/2015 07:25	20	78	98	a
14/05/2015 07:35	19	80	98	a
14/05/2015 07:45	21	77	98	a
14/05/2015 07:55	20	77	98	a
14/05/2015 08:05	23	70	100	a

Figura 24 – Dados capturados pelo sistema.

Fonte: Autoral.

5.3 TESTES DE ACIONAMENTO DOS ATUADORES

Inicialmente, foram utilizados como atuadores um *cooler* representando a ventilação e uma lâmpada, representando um atuador qualquer sendo posteriormente substituído pelo sombrite. Para a execução desses testes foi necessário forçar a alteração das condições climáticas do ambiente. Para isso, foi utilizado um soprador térmico próximo ao sensor DHT11 forçando a elevação da temperatura e consequentemente a redução da umidade relativa do ar, demonstrado na Figura 25. E para provocar a variação da luminosidade modificou-se a iluminação do ambiente.



Figura 25 – Soprador térmico utilizado para elevar a temperatura.
Fonte: Autoral.

Com a manipulação das condições climáticas do ambiente, o módulo de controle central efetuou o acionamento dos atuadores (lâmpada e ventilador), conforme os valores parametrizados no sistema de gerenciamento. A Figura 26 ilustra uma imagem do experimento realizado.

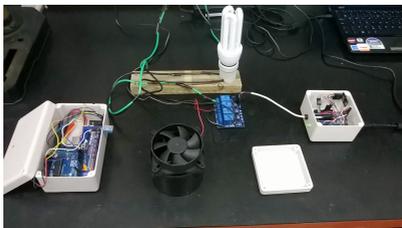


Figura 26 – Realização de testes de bancada.
Fonte: Autoral.

5.4 TESTES DE AVALIAÇÃO DO SISTEMA UTILIZANDO O MINI ABRIGO DE CULTIVOS

Com a finalidade de avaliar o sistema proposto simulando uma situação real, foi construído um mini abrigo de cultivo em escala reduzida, ilustrado na Figura 27. O abrigo construído é composto por uma estrutura metálica, revestida com plástico translúcido com dois atuadores, o sombrite e o ventilador.



Figura 27 – Mini abrigo de cultivo utilizada para os testes
Fonte: Autoral.

Na parte interna do abrigo foi instalado o módulo de sensoria-mento central e fixado ao fundo na parte externa do abrigo o módulo de controle central conectado ao computador que executa o sistema de interface com o usuário.

Foram realizados alguns testes, onde os valores de temperatura, umidade e luminosidade sofreram alterações forçadas. A partir da alteração das condições do ambiente, analisou-se o comportamento do sistema.

A Tabela 2 lista os dados utilizados nos experimentos do mini abrigo.

Temp (°C)	Umid (%)	Lumi (Lux)	Sombrite	Exaustor
24	56	146	Meio Aberto	Desligado
30	55	146	Meio Aberto	Ligado
19	63	109	Meio Aberto	Desligado
32	41	63	Totalmente Aberto	Ligado
29	43	150	Meio Aberto	Ligado
27	43	6.400	Fechado	Desligado

Tabela 2 – Tabela de dados de testes realizados no abrigo de cultivo

As três primeiras colunas da tabela são os valores de entrada que são captados pelos sensores no interior do abrigo de cultivo, as duas colunas subsequentes são os valores esperados para o controle dos atuadores.

Após a realização dos testes verificou-se que o sistema de automação foi eficiente, sendo que em todos os testes ao qual foi submetido o mesmo agiu conforme o esperado.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Abrigos de cultivos são alternativas adotadas por produtores agrícolas para um melhor controle sobre as doenças e pragas, aceleração do desenvolvimento da cultura, produção nas entressafas, controle das condições climática dentro do abrigo entre outras vantagens.

O controle das condições internas de um abrigo necessitam de um monitoramento constante, a fim de fornecer as condições ideais para o crescimento do cultivo. É muito comum que este controle seja feito manualmente demandando tempo e dedicação.

O presente trabalho apresentou um sistema eletrônico para automação de abrigos de cultivos voltados para hidroponia, como alternativa ao manejo convencional, permitindo que as condições climáticas no interior do abrigo sejam constantemente monitoradas e registradas, proporcionando geração de gráficos, visualização do histórico de leitura do sensoriamento, operando para manter o abrigo nas melhores condições para o cultivo presente de acordo com a configuração estabelecida pelo usuário.

Para comprovar a eficiência do sistema desenvolvido, foram realizados testes experimentais, inicialmente para verificar se as leituras realizadas pelos sensores estavam de acordo com o esperado e, em seguida os testes foram executados em um mini abrigo de cultivos, concebido para simular um abrigo real, onde as condições climáticas foram alteradas diversas vezes para analisar o comportamento do sistema.

A partir dos testes realizados pode-se afirmar que o sistema se mostrou robusto e respondeu conforme o esperado diante das situações impostas, realizando todas as tarefas de acordo com as configurações definidas, automatizando o abrigo de cultivo, cumprindo o objetivo proposto no trabalho.

6.1 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Esta seção lista algumas propostas para trabalhos futuros que visam melhorar o sistema desenvolvido neste trabalho.

1. Usar lógica fuzzy para o desenvolvimento do sistema de controle central, fazendo com que este se torne mais adaptativo;
2. Desenvolver uma interface web e mobile para que o produtor

possa acessar o sistema remotamente;

3. Substituir o hardware utilizado no sistema de controle central por um com maior capacidade de processamento como o *Raspberry Pi*, que pode, inclusive ser utilizado como servidor para o sistema web;
4. Desenvolver um módulo de sensoriamento para a solução nutricional.

REFERÊNCIAS

- ALBERONI, R. Hidroponia: como instalar e manejar o plantio de hortaliças dispensando o uso do solo. *São Paulo: Nobel*, 1998.
- BLASCO, J. et al. Ae—automation and emerging technologies: Robotic weed control using machine vision. *Biosystems Engineering*, Elsevier, v. 83, n. 2, p. 149–157, 2002.
- CANAVIEIRA, C. de T. *NOVOS MÉTODOS DE PLANTIO*. 2013. <<http://www.ctcanavieira.com.br/novosmetodosdeplatio.html>>.
- CERMEÑO, Z. S. *Técnicas de Invernadero*. 1989. <<http://zoiloserrano.com/?product=tecnicas-de-invernadero>>.
- CRUVINEL, P.; OLIVEIRA, V. de; FELIZARDO, K. Bancada automatizada para ensaios e desenvolvimento de pulverizadores de agrotóxicos, aplicadores de fertilizantes líquidos e maturadores em culturas agrícolas sob manejo baseado em agricultura de precisão. *Embrapa Instrumentação-Capítulo em livro técnico-científico (ALICE)*, In: INAMASU, RY; NAIME, J. de M.; RESENDE, AV de; BASSOI, LH; BERNARDI, A. de C.(Ed.). *Agricultura de precisão: um novo olhar*. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 96-100., 2012.
- D-ROBOTICS. *DHT11 Humidity & Temperature Sensor*. Julho 2010. <<http://www.micropik.com/PDF/dht11.pdf>>.
- EPAGRI. *Epagri vai implantar sistema automatizado para monitoramento de pragas da maçã*. Outubro 2013. Acessado em 07/2015. <<http://www.canalrural.com.br/noticias/agricultura/epagri-vai-implantar-sistema-automatizado-para-monitoramento-pragas-maca-26377>>.
- FILGUEIRA, F. A. R. *Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças*. [S.l.]: Universidade Federal de Viçosa: Empresa Júnior de Agronomia, 2006.
- FURLANI, P. R. et al. *Cultivo hidropônico de plantas*. [S.l.]: Instituto Agronômico Campinas, 1999.
- GUIRRA, A. P. P.; SILVA, E. R. da. *Automação em Sistemas de Irrigação*. [S.l.]: Uberaba, Setembro 2010.

HACKENHAAR, N. M.; HACKENHAAR, C.; ABREU, Y. V. d. Robotics in agriculture. *Interações (Campo Grande)*, SciELO Brasil, v. 16, n. 1, p. 119–129, 2015.

HIDROPÔNIA, M. da. *Sistemas Hidropônicos*. 2013. <<http://www.hydor.eng.br/PAGINAS-P/P7-P.html>>.

HIDROPÔNIA, T. *NFT: Um tipo de Hidroponia*. Julho 2013. <<http://tudohidroponia.net/nft-um-tipo-de-hidroponia/>>.

HOLLAND, N. *New Holland CR9090*. Janeiro 2013. <<http://agriculture.newholland.com/br/pt/Products/Combine/CR/Documents/CR90>>

INAMASU, R. Y. et al. *Sistema de informação em elementos de aquisição de dados para ambiente agropecuário*. [S.l.]: EMBRAPA-CNPDIA, 1996.

INFOJORNAL. *Saiba mais sobre o robô fazendeiro Prospero: Robô aumentaria a produção de alimentos em 20% nos EUA*. Dezembro 2011. <<http://www.ijn.com.br/noticias/img/prospero.jpg>>.

JOHNSON, C. D. *Process control instrumentation technology*. 4. ed. [S.l.]: Prentice Hall PTR, 1993.

JUNIOR, A. B. Manejo de ambientes protegidos: Estufas e casas de vegetação. *Casa da Agricultura*, v. 14, n. 2, p. 2, Abril 2011.

KOEFENDER, V. Crescimento e absorção de nutrientes pela alface cultivada em fluxo laminar de solução. *Crescimento e absorção de nutrientes pela alface cultivada em fluxo laminar de solução*, ESALQ Piracicaba, 1996.

MEDEIROS, F. Desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado para aplicação em agricultura de precisão. *Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria*, 2007.

NEGOCIOS, R. C. . *Automação na produção hidroponica*. Dezembro 2013. <<http://www.revistacampoenegocios.com.br/automacao-na-producao-hidroponica/>>.

NOGUCHI, N.; BARAWID, O. Robot farming system using multiple robot tractors in japan agriculture. In: *Preprints of the 18th IFAC World Congress Paper*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 633–637.

PRECISÃO, A. de. *O que é Agricultura de Precisão*. 2015. Acessado em 07/2015.

<<http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/redeap2/o-que-e-agricultura-de-precisao>>.

PURQUERIO, L. F. V.; TIVELLI, S. Manejo do ambiente em cultivo protegido. *Manual técnico de orientação: projeto hortalimento*. São Paulo: Codeagro, 2006.

RASI, J. R. Desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado para aplicação em pulverização agrícola. *Monografia de Especialização – UFPEL Faculdade de Engenharia Eliseu Maciel, Departamento de Engenharia Agrícola*. Ryan, BF, KJ Wilson, JR Garratt, e RK Smith, p. 1116–1122, Abril 2008.

REDAÇÃO. *O futuro da mecanização: a integração da agricultura de precisão com sensores e robôs*. Junho 2013.

<<http://www.portalmaquinasagricolas.com.br/o-futuro-da-mecanizacao-a-integracao-da-agricultura-de-precisao-com-sensores-e-robos/>>.

REIS, N. V. B. dos. *Construção de estufas para produção de hortaliças nas Regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste*. Dezembro 2005.

<<http://bbeletronica.cnph.embrapa.br>>.

SCIENTIST, N. *Agrobots prometem invadir fazendas*. Novembro 2012. Inovação Tecnológica.

<<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=agrobots-robos-agricultores>>.

SILVA, G. G. d. et al. Veículos aéreos não tripulados com visão computacional na agricultura: Aplicações, desafios e perspectivas. *Anais do Encontro Científico de Administração, Economia e Contabilidade*, v. 1, n. 1, 2015.

SILVA, I. L. S. da; LIMA, L. K. C.; RODRIGUES, J. do C. Sistema de irrigação automatizado baseado na umidade do solo. 2007.

TACHIKAWA, É. M. Automação de técnica de cultivos hidropônicos. 2008.

TANKE, N. F. et al. Automation of hydroponic installations using a robot with position based visual feedback. In: CITESEER. *Proceedings of the international conference of agricultural engineering CIGR-Ageng. Spain: Diazotec SL Publisher, paper*. [S.l.], 2012.

TANVEER, A. et al. Automated farming using microcontroller and sensors. *International Journal of Scientific Research & Management Studies*, v. 2, p. 10, Abril 2015.

TEIXEIRA, N. T. *Hidroponia: uma alternativa para pequenas áreas*. [S.l.]: Agropecuária, 1996.

TRESSOS, I. A. K. *Zeus: Codename Savage*. 2011.
<<http://www.savage.gr/gallery.html>>.

UNIVERITY, A. *Hortibot*. Outubro 2012.
<<http://www.newscientist.com/gallery/farm-robots/1>>.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Abreu, Cristiano Santos Pereira de
Automação de abrigos de cultivos para culturas
hidropônicas / Cristiano Santos Pereira de Abreu ;
orientador, Anderson Luiz Fernandes Perez - Araranguá,
SC, 2015.
66 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá.
Graduação em Tecnologias da Informação e Comunicação.

Inclui referências

1. Tecnologias da Informação e Comunicação. 2.
Hidroponia. 3. Automação de abrigos de cultivos. 4.
Automação agroindustrial. I. Fernandes Perez, Anderson
Luiz . II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Graduação em Tecnologias da Informação e Comunicação. III.
Título.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Jampietro Bastos, Tiago
Automação de Abrigos de Cultivos Para Culturas
Hidropônicas / Tiago Jampietro Bastos ; orientador,
Anderson Luiz Fernandes Perez - Araranguá, SC, 2015.
66 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá.
Graduação em Tecnologias da Informação e Comunicação.

Inclui referências

1. Tecnologias da Informação e Comunicação. 2. Automação
para abrigos de cultivo. 3. Hidroponia. 4. Automação
Agroindustrial. I. Fernandes Perez, Anderson Luiz. II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Tecnologias da Informação e Comunicação. III. Título.