

Estufa Agrícola Automatizada com Auxílio do MSP430 para Cultivo de Morangos

Arthur Evangelista dos Santos
Universidade de Brasília,
Faculdade do Gama — UnB, FGA
Matrícula: 14/0016686
Email: arthuevangelista@hotmail.com

Gabriela Conceição dos Santos
Universidade de Brasília,
Faculdade do Gama — UnB, FGA
Matrícula: 16/0152038
Email: gabrielacsantos.engunb@gmail.com

Abstract—Este projeto visa criar um protótipo de estufa agrícola automatizada para o cultivo de morangos aplicando sensores eletrônicos para controlar as condições de umidade e temperatura com auxílio do microcontrolador MSP430.

Keywords—MSP430, microcontrolador, automação, morangos, estufa.

I. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A. O Morangueiro

O morangueiro pertence a Família Rosaceae. De origem Européia, as plantas cultivadas para o consumo de sua fruta são o resultado de um sucessivo trabalho de melhoramento genético e cruzamento entre algumas espécies do Gênero *Fragaria*. Atualmente, existem mais de 15 variedades de morangueiros. É um vegetal rasteiro, de caule do tipo estolho, produzindo gemas que permitem com que novas plantas, com raízes e folhas, sejam formadas, assexuadamente. Uma imagem do morangueiro encontra-se abaixo na Fig. 1. No Brasil, sua produção é mais significativa nos meses de junho a dezembro e requer boa umidificação do solo. Por este motivo, ácaros e pulgões são suas principais pragas.



Fig. 1. Morangueiro

Desta planta origina-se o morango (Fig. 2), cuja parte vermelha, comestível, é, na verdade, o receptáculo floral desenvolvido. Assim, ele é um pseudofruto; sendo os frutos, do tipo aquênio, as estruturas amarronzadas que se encontram incrustadas nele.

Características gerais do cultivo do morango

:



Fig. 2. Fruto e pseudofruto do morango

- **Clima:** Locais com temperatura alta durante o dia e baixa durante a noite são considerados bons para o cultivo do morangueiro. O calor é importante para o crescimento vegetativo das plantas, enquanto o frio é imprescindível a frutificação. A floração é favorecida por temperaturas abaixo de 10 °C e desfavorecida por temperaturas acima de 25 °C. O comprimento do dia, ou seja, o número de horas de luz, também tem influência sobre a produção. A estas características é dado o nome de fotoperíodo.

Fotoperíodo trata-se da proporção entre luz e escuridão num ciclo de 24 horas (Santos, D.M.M., 2004). O morango, classificado como planta C3 quanto à fotossíntese e short-day plant (SDP) quanto ao fotoperíodo, deve estar exposto por volta de 8 a 10 horas de luz diária. O período de escuridão também possui influência na produção de flores. Porém, o pouco excesso de iluminação devido às condições de solstício ou equinócio na região não terá tanta influência no desenvolvimento do vegetal. Por este motivo, não optou-se por um plástico preto ou de coloração que evitasse a exposição à iluminação.

Para manter o fotoperíodo em condições ideais de plantio, será utilizada uma interrupção no MSP430 que ativará um LED capaz de fornecer o espectro de luz apropriado para a planta.

- **Sistemas de cultivo:** O morango pode ser cultivado em canteiros a céu aberto, em estufas e em combinação com o uso de túnel baixo. Atualmente está sendo implantado o sistema de cultivo hidropônico.

- Local de plantio: O morangueiro produz melhor em solos areno-argilosos e bem drenados. As áreas devem ser de fácil acesso e ter bom suprimento de água para irrigação. Deve ser evitado o plantio em local recentemente cultivado com tomate, batata, fumo ou com o próprio morango. Há de se pesquisar sobre outros métodos que tornem possível o plantio de culturas morangos no mesmo local. Também deve ser evitado o plantio em terras de baixa úmida.
- Período de plantio: A época de plantio varia de acordo com a região e a cultivação a ser plantada. De um modo geral, planta-se de janeiro a maio. Em regiões mais quentes, a época recomendada é de abril a maio. Em locais com altitude acima de 1.000 metros, as cultivares de dia neutro podem ser plantadas até setembro.
- Irrigação: A irrigação do morangueiro pode ser feita por aspersão, porém o gotejamento (fertirrigação) tem sido mais eficiente e econômico. Por este motivo, neste trabalho será utilizado o método de irrigação por gotejamento. Geralmente irriga-se três vezes por semana e com duração de 30 a 45 minutos, evitando o excesso de água.

B. O Morangueiro no Distrito Federal

A cultura do morangueiro iniciou-se no Distrito Federal em meados da década de 70, tendo sido primeiramente introduzida e conduzida de forma empírica pelos agricultores de origem japonesa vindos da região de Atibaia, São Paulo, até hoje o principal pólo de produção de morango naquele estado.

Estes agricultores pioneiros vieram iniciar o cultivo de hortaliças e de frutas para abastecer o novo mercado do Planalto Central. Muitos foram assentados pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA, a partir de 1970, no "Projeto Integrado de Colonização Alexandre Gusmão (PICAG)", na Região Administrativa de Brazlândia, atualmente o principal produtor de morango do Distrito Federal.

A cultura do morango adaptou-se muito bem as condições climáticas e de solo do Planalto Central, que apresenta altitude de aproximadamente 1000 metros. Além disso, essa região possui temperaturas mais altas no verão, que favorecem a produção de mudas e na sequência passa por um inverno ameno e seco, o que auxilia no período de floração, frutificação e melhora de forma significativa a qualidade dos frutos cultivados.

Segundo a Emater-DF (Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Distrito Federal), no ano de 2016, a safra de morangos no Distrito Federal alcançou cerca de 5250 toneladas, números que colocam o Distrito Federal na disputa do sexto lugar da produção nacional entre os estados produtores da fruta. São, em média, 240 produtores de morango em todo o DF. Desses, 35% de produtores agrícolas da cidade são os que distribuem o que se consome no DF.

C. Estufas Agrícolas

Em grande parte da história da humanidade, fomos caçadores-coletores. Há cerca de 10.000 anos, começamos a

domesticar plantas e animais como uma forma de tornar a nossa oferta de alimentos mais acessível e previsível.

Sendo assim, para melhorar a produção agrícola, surgiram as estufas agrícolas. O objetivo do cultivo agrícola em estufas é proporcionar um ambiente controlado, em relação a fatores climáticos como temperatura, umidade, luz e quantidade de água (rega), para que as plantas possam ter um crescimento em um ambiente ideal (Silva, 1976).

A estrutura de uma estufa agrícola depende bastante de sua finalidade. Geralmente, é constituída por uma armação, de alumínio ou outro material resistente, com uma altura suficiente para poder cultivar e caminhar dentro sem incômodos, ela é coberta por um plástico transparente, em alguns casos possui uma tela, conhecida como sombrite, que auxilia na regulação da temperatura interna da estufa além de ventiladores e em alguns casos lâmpadas para o controle de luminosidade (Fig. 3).



Fig. 3. Estrutura de uma estufa convencional para o cultivo de morangos

O aumento significativo da utilização de estufas se deu, em parte, pela criação do plástico, devido ao seu baixo custo e versatilidade, porém existem outros fatores que influenciam tal fato, como o melhor desenvolvimento do plantio, aumento de produtividade, colheita nas entressafras e produtos de melhor qualidade.

D. Automação de Estufas

Em uma estufa existem diversas variáveis que podem ser monitoradas e verificadas para o controle do plantio, como temperatura, umidade e luminosidade. Considerando o ponto de vista dos produtores agrícolas, a correta leitura dos dados e posterior tomada de decisão pode trazer resultados satisfatórios.

A automatização de uma estufa é uma excelente ferramenta de auxílio ao agricultor, pois permite a tomada de decisão no momento certo, conforme a análise das variáveis verificadas.

II. JUSTIFICATIVA

Apesar de ser considerado um dos maiores produtores de morango do Brasil, durante o de 2017, o Distrito Federal veio enfrentando um grave crise hídrica, o que afetou de

forma significativa a produção de morangos nessa região. Segundo dados da Emater, a restrição no abastecimento de água provocou a diminuição da área plantada em cerca de 30%, de 150 hectares em 2016 para 105 hectares neste ano.

Além disso, a desaceleração na produção de mercado de morangos do DF ocasionou a diminuição do número de trabalhadores envolvidos direta e indiretamente com a atividade, gerando a queda na renda das famílias e do Produto Interno Bruto (PIB) do Morango.

Diante disso, a escolha do projeto de construção de uma estufa automatizada foi motivada pela simples possibilidade de se oferecer uma nova alternativa para o melhoramento do cultivo de morangos no Distrito Federal, uma vez que a estufa proposta será capaz de controlar todas as necessidades da cultura e o ambiente da estufa, o que proporcionará aos produtores mais qualidade em seus frutos e uma maior renda. Também será possível controlar a quantidade de água utilizada na irrigação da plantação gerando, consequentemente, economia de recursos hídricos e financeiros na produção de morangos.

III. OBJETIVOS

Considerando que cada espécie de planta necessita de situações climáticas diferentes e específicas para se desenvolver, o projeto proposto tem o intuito de otimizar o cultivo de morangos através do desenvolvimento de uma estufa capaz de gerenciar (monitorar e atuar) o controle das condições ambientais dentro do ambiente da estufa através da disponibilização de recursos de automação como irrigação automática, sistemas de ventilação, iluminação e controle de temperatura ambiente, utilizando o microcontrolador MSP430.

Em resumo, os objetivos deste trabalho são:

- Economia de água devido a automação do ambiente;
- Captação de dados de umidade e temperatura ambiente;
- Captação de dados de umidade do solo;
- Controle de irrigação da estufa;
- Controle da iluminação e do fotoperíodo da planta;
- Controle da temperatura no ambiente interno da estufa;
- Apresentação dos dados adquiridos pelos sensores ao usuário.

IV. REQUISITOS

- Uso do launchpad MSP430;
- Controle do fluxo de água com Relés e válvulas solenóides;
- Sensores de umidade e temperatura;
- Display para apresentação dos dados;
- Fontes para fornecimento de 3.3 V, 5 V e 12 V para o sistema;
- LED capaz de fornecer o espectro de luz necessário para planta;
- Pastilha térmica para o rápido ajuste de temperatura;

V. BENEFÍCIOS

- Uso da opção *low-power mode* do MSP430 pode oferecer vantagem nos momentos em que não estiver sendo utilizado;
- Os relés e válvulas todas e modo normalmente fechado (NC) provê economia substancial de energia;
- Controle do consumo de recursos hídricos;
- Monitoramento do crescimento da planta e dos relacionados ao microclima no qual ela se encontra;
- Certeza de colheita no período de safra e entressafra;
- Economia de tempo e dinheiro para o produtor com o trabalho relacionado ao plantio e colheita dos morangos.

VI. ESTRUTURA

A estrutura do protótipo da estufa foi inicialmente construída com canos PVC (Policloreto de Vinila) de 25 mm de diâmetro, e coberta com filme plástico transparente. A escolha desses materiais foi feita pois se tratam de materiais resistentes, acessíveis, de baixo custo e suprem bem as necessidades de controle do mini-ecossistema da estufa. Como mencionado também na seção I-A, não optou-se por um plástico preto ou de coloração que evitasse a exposição à iluminação.

As dimensões da estruturas foram determinadas a partir da densidade de plantio estipulada para o cultivo do morangueiro em estufas, onde esta define que o espaçamento entre os morangueiros deve ser de no mínimo 20 cm e altura máxima que a planta pode atingir 30 cm.

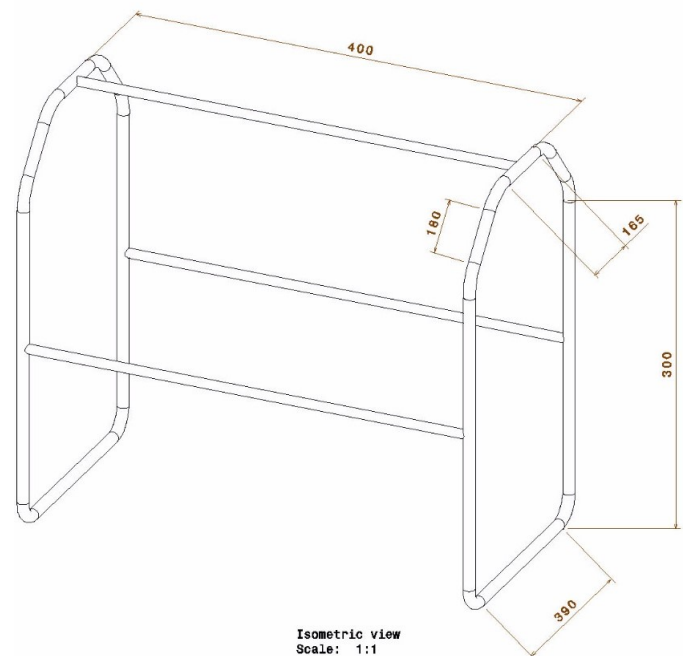


Fig. 4. Vista Isométrica do CAD da Estrutura realizado no software CATIA.



Fig. 5. Estrutura construída em cano PVC.

VII. COMPARTIMENTO PARA ELETRÔNICA

Tendo em vista a acomodação dos componentes eletrônicos, optou-se por montar uma segunda estrutura para concentrar tais componentes. Trata-se de uma caixa de madeira MDF onde serão concentrados: o MSP430, o módulo level-shifter, o display de cristal líquido, a pastilha térmica e os coolers, as fontes de alimentação e o módulo relé. Assim, a realização da manutenção em algum destes componentes torna-se de fácil acesso. Outra vantagem é a facilidade de acesso quanto a etapa de testes nos componentes e validação de algoritmos no MSP430. Os demais componentes (os sensores DHT11, umidostato e o LED de espectro completo) devem interagir diretamente com o ambiente interno à estufa e, portanto, estão no interior do plástico transparente de cobertura da estufa.

Esta caixa contará com aberturas para circulação de ar na região inferior e na superior, como pode ser observado nas Fig. 6 e no detalhamento na Fig. 7. A motivação para esta configuração se dá pela exaustão do cooler de resfriamento da pastilha térmica estar contida neste compartimento. A configuração das aberturas inferiores favorece o estrangulamento do fluxo de ar, aumentando sua velocidade e fazendo com que o ar frio e menos denso resfrie os componentes do compartimento interno. As aberturas superiores também estrangulam o fluxo de ar, fazendo com que o ar quente e interno do compartimento saia com maior velocidade para o ambiente externo.

Maiores detalhes quanto à configuração dos coolers e o funcionamento da pastilha térmica estarão na seção VIII. Resumidamente, a pastilha é um paralelepípedo com pouca

espessura. Esta aquecerá de um lado e resfriará do outro e as aletas de alumínio em conjunto com os coolers serão responsáveis pela troca de calor externo. Como ambos os lados poderão aquecer ou resfriar, foram colocadas aletas e coolers nos dois lados. Este conjunto está apoiado no compartimento para eletrônica e um dos lados estará virado para o interior da estufa.

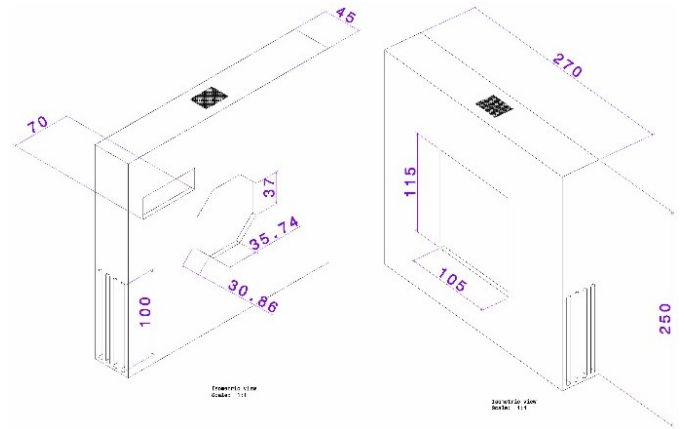


Fig. 6. Vista Isométrica do CAD do compartimento para eletrônica realizado no software CATIA.

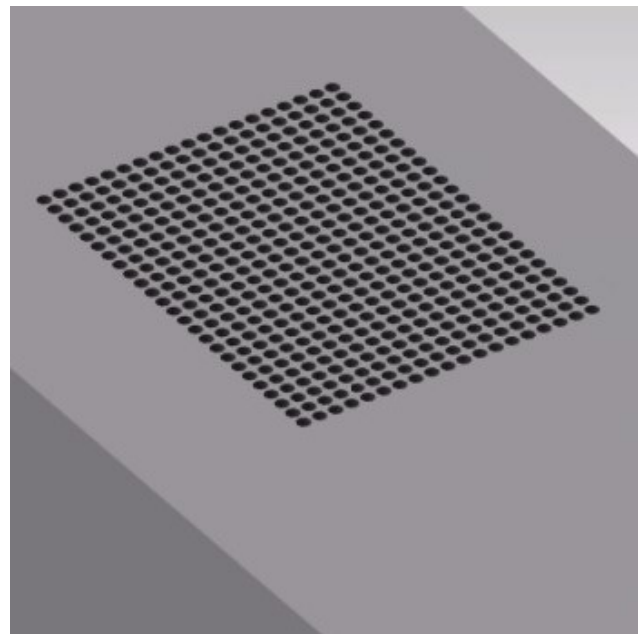


Fig. 7. Detalhamento da abertura superior do compartimento para eletrônica.

VIII. VISÃO GERAL DO SISTEMA

O sistema do projeto proposto pode ser dividido duas partes. Uma parte de hardware, dotado do microcontrolador MSP430, sensores eletrônicos, os quais são encarregados pela aquisição de dados do sistema, e atuadores, responsáveis por irrigar, iluminar, ventilar e reduzir ou aumentar a temperatura. E uma parte de software, responsável pelo processamento dos dados e do controle dos periféricos atuadores.

A. Hardware

1) Lista de Componentes:

- MSP-EXP430G2553LP;
- Sensor de luz (LDR 5mm);
- Sensor de temperatura e umidade (DHT11);
- Resistores de 10kOhm;
- Transistor Mosfet BS170;
- Módulo sensor de umidade do solo (Umidostato);
- Módulo relé 4 canais;
- LED de espectro completo;
- Pastilha térmica de efeito Peltier TEC1-12706;
- 2 Coolers de 12V;
- Fontes de 3,3V, 5V e 12V;
- Válvula Solenóide.

2) *Descrição do Hardware:* Para melhor ilustrar a montagem dos componentes, foi realizado um diagrama de blocos para o sistema, que pode ser visualizado na Fig. 8. Uma breve descrição de cada componente será apresentada a seguir.

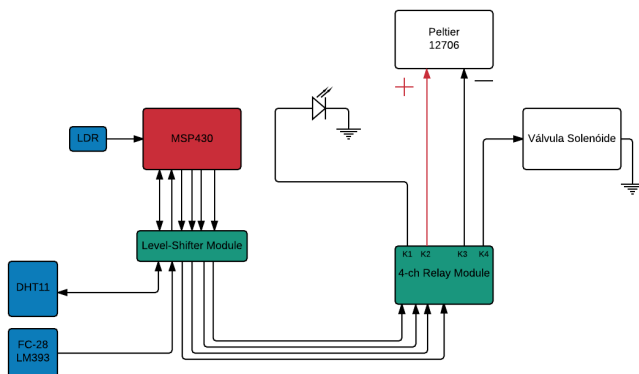


Fig. 8. Diagrama de Blocos do sistema da estufa.

- **MSP-EXP430G2553LP:** O MSP430 será o micro-controlador responsável pelo processamento dos dados e a tomada de decisão de acordo com os dados. Este componente receberá os dados de temperatura e umidade relativa do ar no interior da estufa, os dados de umidade do solo e os dados de luminosidade e tomará as decisões melhor descritas na seção VIII-A3.
- **Sensor de luz (LDR 5mm):** Após consultoria a colegas da área de fisiologia vegetal e devido às características fotoperiódicas do morango, foi optado pelo uso de um sensor de luminosidade LDR (*Light Dependent Resistor*) para identificar a existência ou não de luminosidade na região próxima à planta. O sensor é basicamente um resistor que ao submetido à luz, aumenta sua condutividade elétrica.
- **Level-shifter para redução de tensão:** Uma montagem utilizando dois resistores de 10k ohm e um transistor mosfet BS170. O level-shifter reduz a tensão

para que seja possível conectar componentes que utilizam diferentes tensões como nível lógico alto. Se um sinal chega com 3,3 V o level-shifter subirá esta tensão para 5 V em sua saída para que seja utilizado por outro componente.

A recíproca é verdadeira. Portanto, se um sinal tiver 5 V, a saída do level-shifter terá 3,3 V. Testes foram realizados com este componente para verificar se ele funciona e quais os níveis de tensão em sua saída.

Houve também uma preocupação quanto a frequência máxima de operação, uma vez que este componente será utilizado na saída de todos os sensores e nas saídas do MSP430. Foi confirmada o nível de ruído apresentado na saída do level-shifter a partir de 5MHz, o que ratifica a informação fornecida pelo datasheet do componente transistor BS170.

O esquemático desta montagem encontra-se na Fig. 9 abaixo.

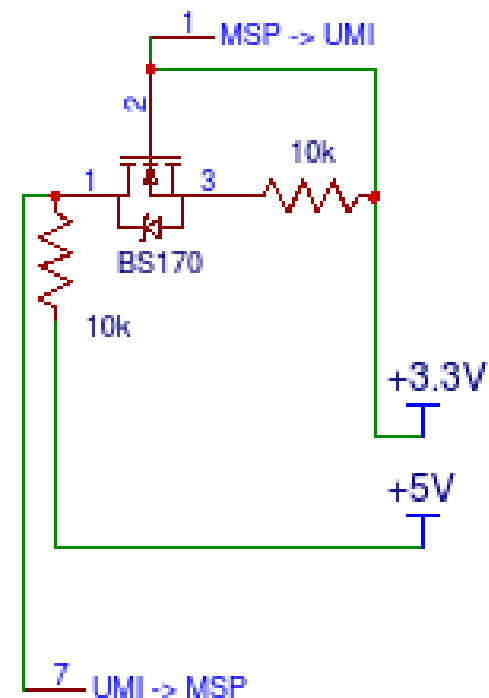


Fig. 9. Esquemático da unidade *level-shifter* (reduzora de tensão).

Também foi realizada um esquemático para todos redutores de tensão que serão utilizados no projeto e foi montada um *layout* para placa de circuito impresso (PCB do inglês *printed circuit board*). O intuito de se utilizar uma PCB é facilitar a montagem do circuito e evitar perdas de tensão, diminuindo o ruído devido às linhas de transmissão do sinal. Até a data de redação deste relatório, a PCB encontra-se em sua versão 1.0. O estudo quanto ao uso de *ground plate* para redução de ruído está em andamento para as demais versões.

- **Módulo relé 4 canais:** Será utilizado um módulo com 4 relés para controle dos dispositivos com tensão de 12V (pastilha térmica e a válvula solenóide) e do LED de espectro completo de 3,3V que consome uma corrente acima da suportada pelo MSP430

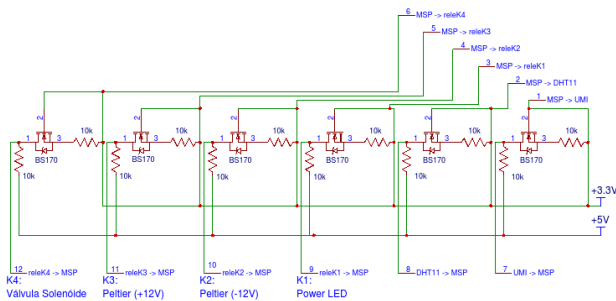


Fig. 10. Esquemático do bloco de level-shifter's utilizados no projeto.

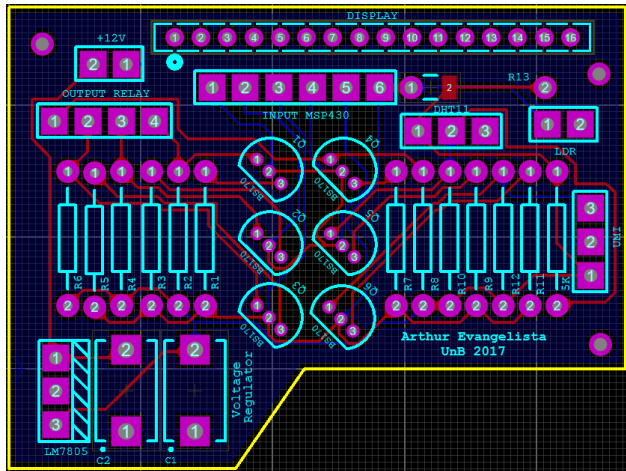


Fig. 11. Layout para PCB a ser confeccionada para o projeto.

- Módulo sensor de umidade do solo (umidostato):**
 Possui formato de garfo (apenas duas pontas que deverão estar fincadas no solo). Ao identificar umidade ocorrerá uma diferença de potencial entre as pontas do garfo. A corrente que passará entre as duas pontas é muito pequena (resistência próxima dos M ohm). Quanto maior a resistência, menor a umidade entre as pontas. A corrente, portanto, é muito baixa para que se insira o sensor diretamente na porta analógica do micro. É necessário o uso de um módulo comparador. Nada mais é que um amplificador operacional em modo comparador. Quando comprado o sensor, o comparador LM393 (*low offset voltage dual comparator*) vem no conjunto.
 A tensão de trabalho é de 3,3 V a 5 V. O comparador tem quatro pinos: Vcc, GND, D0 (digital) e A0 (analógico). Para usar a saída digital foi necessário utilizar o potenciômetro já encontrado no módulo para calibrar o sensor.
 O potenciômetro irá ajustar em qual medida de umidade a saída digital terá nível lógico zero. Podemos utilizar uma entrada digital do MSP430 ativa em alta para identificar quando a umidade está baixa. Ou seja, Quando D0 = 1 a umidade está baixa. Quando D0 = 0, há umidade suficiente, não há necessidade de ligar o irrigador (válvula solenóide).
 Utilizaremos apenas o pino digital para o projeto. A leitura dos dados de umidade do solo podem

ser comutados com a leitura dos dados de umidade do ar (DHT11), liberando a porta digital para outra aplicação.

Utilizar uma porta analógica para leitura de dados seria mais preciso, mas exigirá um processamento do sinal analógico antes deste ser inserido no microcontrolador (*técnicas de amostragem do sinal, uso do critério de Nyquist e o uso de uma média móvel ou filtro digital para evitar ruído ou sinais aleatórios*).

- Display de Cristal Líquido:** Para visualização dos dados (umidade do ar, umidade do solo e temperatura) será utilizado um display. Dependendo da temperatura será ativado um exaustor (ventilar a estufa) e uma pastilha térmica (aquece ou resfria o ambiente da estufa). Da umidade do ar/solo serão ligadas as válvulas de irrigação.
 Possui uma biblioteca na IDE do arduino: (`#include LiquidCrystal.h`) e pode ser facilmente implementada no MSP430 utilizando algoritmos disponíveis na documentação do fabricante. O display será meramente utilizado para referência do usuário quanto aos dados do mini-clima da estufa.
- Sensor DHT11:** O sensor DHT11 é responsável por realizar a medição de umidade relativa do ar (usando um sensor do tipo HR202 (entre 20% e 90%)) e da temperatura (usando um termistor NTC (entre 0 e 50 °C)). Possui quatro pinos: Vcc, GND, Dados (comunicação UART) e N.C (pino vazio). Possui uma biblioteca própria no Arduino `#include dht.h`. Para escrever os dados no display, é necessário separar os dígitos. Por se tratar de um sensor de comunicação UART, é necessário um delay entre uma leitura e a outra. O MSP430 enviará um sinal para o *slave* (o sensor) avisando que está em modo de leitura e o DHT11 enviará outro sinal para o *master* (o MSP430) indicando que está enviando dados. Será utilizada uma interrupção com o timer A para realizar o delay de leitura dos dados.
 Possui uma biblioteca para MSP430 disponível no link do github a seguir: <https://github.com/bafeigum/DHT11-Library-for-MSP430>.
 O princípio de funcionamento desta biblioteca é semelhante ao descrito anteriormente. É utilizado um timer (o timer A) e uma interrupção para comunicação com a placa:
 - Precisa estar setado em UP mode e contando a cada 250 kHz (pode-se utilizar o SMCLOCK sendo /4);
 - ISR seta um volatile unsigned char TOUT no TA0. Esse ISR também deverá dar clear na interrupt flag, setando CCIFG no registrador TACCL0;
 - São enviados 5 elementos de um vetor (chamado packet) para o MSP430:
 - packet[0] = primeiro byte de umidade
 - packet[1] = segundo byte de umidade (deve ser ZERO)
 - packet[2] = primeiro byte de temperatura
 - packet[3] = segundo byte de temperatura (deve ser ZERO)

- packet[4] = byte da soma dos 4 bytes anteriores (usado para checagem dos dados (em caso de falha na comunicação))
- **Válvula Solenóide:** Basicamente uma chave de pressão. Quando passa corrente pelos seus terminais ele libera a passagem do fluxo de água. Caso contrário, a válvula se mantém em estado normalmente fechado e não consome energia.
- **LED de Espectro Completo:** O LED de espectro completo utilizado pode ser visualizado na Fig. 12 abaixo. Este LED utiliza uma alimentação de 3,3V e consome por volta de 0,9 A de corrente, fornecendo quase 3W de potência luminosa para o sistema. De acordo com o gráfico da Fig. 13, disponível no datasheet do componente, o espectro de luz que este LED fornece é o suficiente para manter a fotossíntese da planta no trecho de claridade de seu fotoperíodo. Para controlar este LED, será utilizado o canal K1 do relé, ligado a uma das saídas do MSP430. A escolha para esta configuração se deve à corrente consumida pelo LED que é muito superior à maior corrente fornecida pelo MSP430. Outra vantagem de se utilizar o módulo relé é a proteção contra fugas de corrente do relé para o dispositivo que o controla.

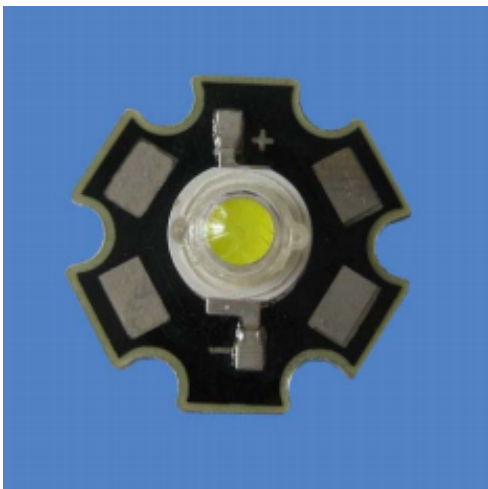


Fig. 12. LED de espectro completo e da PCB de alumínio do conjunto.

- **Pastilha Térmica de Efeito Peltier TEC1-12706:** Será utilizada uma pastilha térmica de efeito Peltier (TEC1-12706) em conjunto com os Coolers de 12V para o aquecimento e resfriamento da estufa. Esta pastilha necessita de uma fonte de alimentação de 12V e consome até 6A para manter o efeito em sua superfície. O efeito Peltier ocorre quando dois materiais, quando aplicada uma corrente, em uma junção do material dissipar calor e na outra absorver calor. A energia dissipada ou absorvida é proporcional a corrente elétrica (Bobean, 2013). A pastilha TEC1-12706 (Fig. 14) utilizada neste projeto provê resfriamento de até -30 °C de uma lado e aquecimento de até +70 °C do outro. Para evitar a queima do componente, transferir o calor do ambiente para a pastilha e vice-versa, e aumentar a área de fluxo

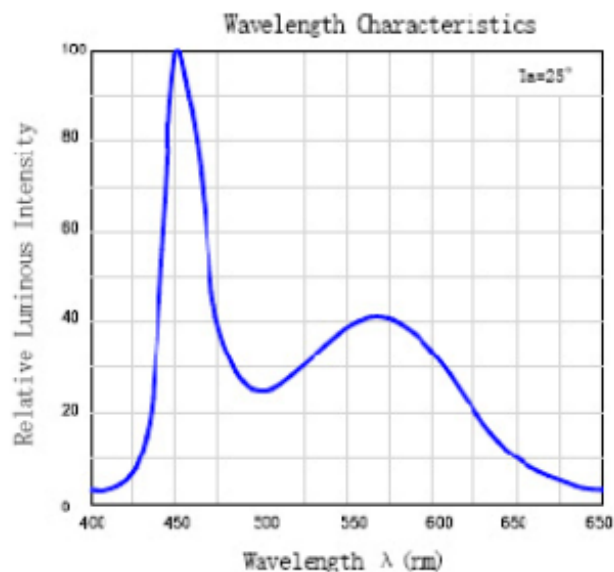


Fig. 13. Gráfico da característica óptica do LED de espectro completo (fonte: 3W High Power LED datasheet).

térmico, foram instaladas aletas de alumínio. As aletas transferem o calor do e para o ambiente pelo fenômeno de condução térmica.

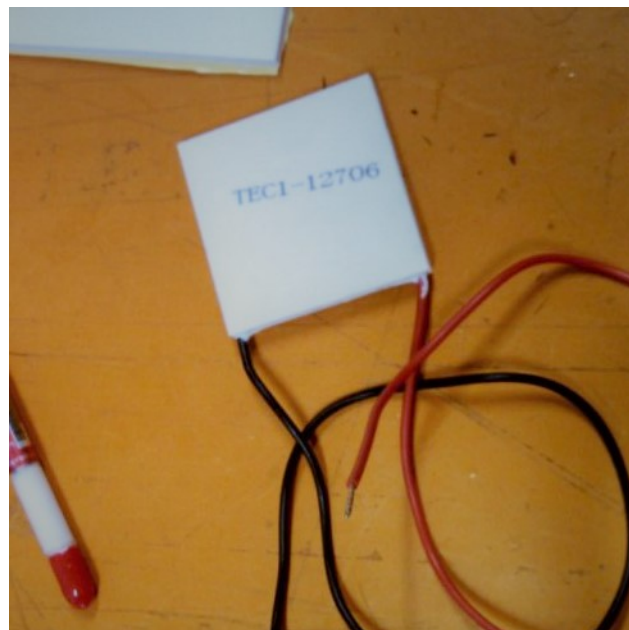


Fig. 14. Pastilha Térmica de Efeito Peltier TEC1-12706.

Como citado brevemente na seção VII, ambos os lados da pastilha poderão aquecer ou resfriar, a depender da polaridade da tensão submetida. Portanto, foram colocadas aletas e coolers nos dois lados da pastilha. O conjunto está apoiado no compartimento para eletrônica e um dos lados estará virado para o interior da estufa.

Testes foram realizados com o conjunto montado para certificar seu funcionamento. Quando invertida a polaridade da tensão pelos canais K2 e K3 do

módulo relé, a pastilha rapidamente aquece ou resfria. A Fig. 15 a seguir melhor ilustra o funcionamento deste conjunto.

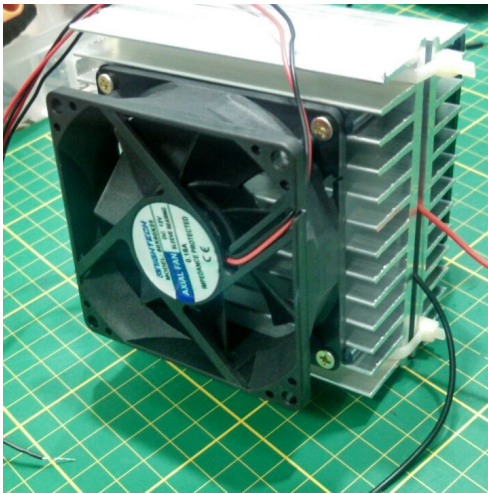


Fig. 15. Conjunto do sistema de aquecimento/resfriamento montado.

- Coolers 12V:** Serão utilizados dois Coolers de 12V para realizar o transito de ar no ambiente interno à estufa e no ambiente externo. Para o ambiente interno, o Cooler (*Cooler A*) irá puxar o ar e lançará este fluxo com maior velocidade nas aletas. Quando em contato com estas aletas, ocorrerá o fenômeno de condução térmica que resfriará ou aquecerá o ar, posteriormente lançado nas aberturas da estrutura de alumínio. Para o ambiente externo, o Cooler (*Cooler B*) irá executar o mesmo procedimento, porém o intuito é a troca de ar com o ambiente externo para evitar que o material semiconductor da pastilha superaqueça. De acordo com leitura realizada do livro de Swart (2008), o caso de superaquecimento resultará em uma maior agitação dos átomos do semiconductor fazendo com que o semiconductor passe da banda de transição para banda de condução. Neste caso, a pastilha se tornará um curto-circuito e poderá danificar o projeto. A configuração do Cooler A e Cooler B foram planejadas de modo que não ocorram casos de superaquecimento como o mencionado anteriormente e permitam a circulação e troca de calor com os ambientes interno e externo à estufa.
- Fontes de tensão 5V e 12V:** Para alimentação do sistema e de seus componentes, serão utilizadas 2 fontes de alimentação. Uma fonte de 5V para alimentar os sensores, o MSP430, o LED de espectro completo e o módulo level-shifter que necessitam de 5V de alimentação. É possível a alimentação de 5V no MSP430 pois a launchpad fornecida pela Texas Instruments (TI) já vem equipada com circuito redutor de tensão. Um redutor de tensão montado com uma configuração de resistores será utilizado para alimentar o LED de espectro completo. Todos estes componentes consumirão, no caso mais pessimista, um total de 0,86 A. A segunda fonte de alimentação será utilizada para

alimentação dos componentes que exigem 12V. Estes são os Coolers A e B, a pastilha térmica TEC1-12706 e a válvula solenóide. Estes componentes consumirão, no caso mais pessimista, um total de 6,94 A. O alto consumo de energia se deve à pastilha térmica. Vale ressaltar que esta pastilha não estará funcionando a todo momento.

Pode ser utilizada apenas uma fonte de 12V, regulando sua tensão para 5V para os demais componentes. O regulador de tensão para 5V consiste em um circuito utilizando o LM7805 e dois capacitores. A série LM78XX é composta por reguladores de tensão cuja entrada é 12V e a saída é XX, a depender do valor do regulador. Sendo assim, o regulador LM7805 tem em sua saída 5V, LM7809 tem em sua saída 9V e assim por diante. Este estará incluso na versão 3.0 da placa de circuito impresso. Para ligar o LED de 3,3V é necessário o uso de um resistor de 1,8 ohm com capacidade de suportar 3W ou um potenciômetro.

3) *Descrição do Software:* Para melhor ilustrar o caminho lógico deste sistema, foi construído um Diagrama Lógico que encontra-se na primeira página de anexos deste trabalho. O código do MSP430 deverá executar os seguintes passos:

- Realizar a leitura dos dados de temperatura e umidade relativa do ar adquiridos pelo sensor DHT11 e recebidos via comunicação UART (como descrito na seção VIII-A2).
- Realizar a leitura dos dados de umidade do solo adquiridos pelo sensor FC-28 e pelo comparador LM393 recebidos via porta de entrada digital. Caso o sensor apresente resultado nível lógico um, há pouca umidade. Caso o sensor apresente nível lógico zero, há umidade suficiente. A calibragem do sensor foi realizada conforme descrito na seção VIII-A2.
- Realizar a leitura dos dados de luminosidade adquiridos pelo sensor LDR de 5mm. Esta entrada até o momento da redação deste relatório está como entrada analógica. Quando esta entrada apresentar resultado zero, significa que não há luminosidade na região próxima à planta.
- Quanto à estrutura de decisão do MSP430:**
 - Se a temperatura não for ideal para o desenvolvimento, deverá ser realizado um ajuste. Para este ajuste, os canais de entrada K2 e K3 do módulo relé estarão conectadas a duas portas de saída do MSP430. Se a temperatura for abaixo de um certo *threshold*, as saídas conectadas nos canais deverão ser K2 = 0 e K3 = 1, respectivamente. Este comando irá polarizar um dos lados da pastilha térmica, o que resultará no aquecimento da estufa. Se a temperatura for acima deste *threshold*, as saídas deverão resultar em K2 = 1 e K3 = 0. Deste modo, a polarização da pastilha térmica será inversa e, portanto, ocorrerá o resfriamento da estufa. Se a temperatura estiver no patamar ideal, K2 = 0 e K3 = 0, o que cortará a alimentação da pastilha térmica.
 - Se o solo não estiver com a quantidade ideal de umidade será ligado o canal K4 do módulo relé,

conectado a uma saída do MSP430, e será iniciada uma contagem. A referida sub-rotina de ativação do canal K4 e a contagem estarão na linguagem Assembly do microcontrolador, utilizando a função `asm()paraexecuçãodesub-rotinasassemblyinline`.

Esta contagem será previamente calibrada para que a válvula solenóide, ativada pelo canal K4, libere apenas a quantidade ideal de água para o solo, evitando que a planta fique encharcada. Para esta contagem, será utilizada a contagem de ciclos de clock para cada instrução de desvio em Assembly.

- Se não houver luminosidade que seja útil ao desenvolvimento da planta, será tomado em consideração a relação fotoperiódica da planta. **Fotoperíodo** trata-se da proporção entre luz e escuridão num ciclo de 24 horas (Santos, D.M.M., 2004). Sendo assim, deve ser considerado o período ótimo de luz para que haja o pleno desenvolvimento da planta e a obtenção de flores. Como citado na seção VI, devido às características do morango, um contador no MSP430 deve ser acionado toda vez que o sensor LDR identificar luz. Se o fotoperíodo da planta não tiver sido concluído, será acionado um LED de espectro completo pelo canal K1 = 1 do módulo relé, conectado a uma saída do MSP430. Para o modo de economia de energia, este LED poderá ser acionado apenas se o sensor LDR não identificar luminosidade. Quando concluído o fotoperíodo, K1 = 0 e o LED será desacionado.
- Se todas as condições acima estiverem de acordo, ocorrerá o retorno do sistema à condição inicial e será realizada novamente a leitura dos dados dos sensores.

IX. RESULTADOS

Foram realizados testes nos componentes individuais. O conjunto da pastilha térmica, aletas de alumínio e os coolers funcionaram de maneira impressionante. Entretanto, a temperatura referida no datasheet da pastilha (entre -30°C e $+70^{\circ}\text{C}$) refere-se à temperatura interna da pastilha. O que significa que a temperatura em módulo nas aletas seria muito abaixo destes valores e o ar resfriado seria ainda menor. Ainda assim, foi identificado um certo grau de aquecimento e resfriamento que serviriam para o propósito deste trabalho. O conjunto completo, os coolers e a pastilha térmica, estava consumindo por volta de 7 A.

O LED de espectro completo funcionou de maneira apropriada e estava consumindo por volta 1 A da fonte de alimentação. Uma ressalva quanto ao LED utilizado é quanto ao espectro de luz propiciado. O datasheet refere-se a este LED na cor branca (o que por definição possui o espectro completo da luz visível) enquanto o LED adquirido contempla a porção entre o lilás e o azul deste espectro. Visto que as plantas utilizam muito mais luz azul (maior energia) para realizar a fotossíntese, não foram tomadas medidas corretivas.

Foi realizada a medição de ripple nos level-shifters. Esta medição consistiu na montagem em protoboard do circuito level-shifter, na conexão de uma fonte variável e da conexão com o osciloscópio. As duas figuras abaixo mostram os resultados destes testes.

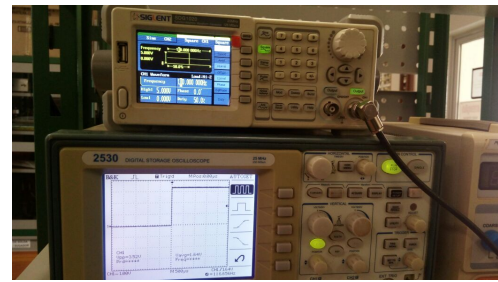


Fig. 16. Resultado de teste de ripple com 100 Hz.

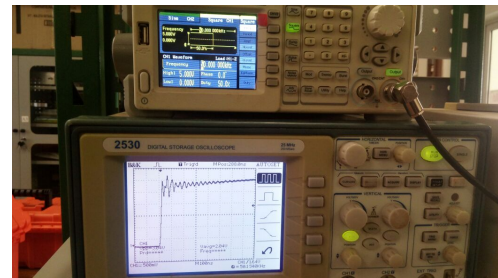


Fig. 17. Resultado de teste de ripple com 50 kHz.

De acordo com informação do fabricante, o tempo máximo de switch (ou seja, para alterar de um nível lógico para outro) é de 20 ns. Ou seja, a frequência máxima de operação do componente BS170 é de 100 MHz. Como pode ser observado na Fig. 17, há oscilação na banda passante à partir de 50 kHz. Estas oscilações não irão interferir neste projeto mas devem ser cuidadosamente tratadas quando aplicado o componente BS170 em projetos com shift de clock ou temporização crítica.

Foi realizado teste de tensão na saída do regulador de tensão 7805 e dos level-shifter. Neste teste, conectou-se as pontas de prova de um multímetro no regulador 7805 para medir a tensão de saída, 5V como esperado, e nas saídas dos level-shifters quando realizados comandos com o MSP430. Nestas medições, as saídas de tensão do MSP430 -i level-shifter estavam por volta de 5V e 6V. Abaixo segue o esquemático do regulador de tensão utilizado para reduzir de 12V para 5V. O uso dos capacitores foi para reduzir o ripple no ground.

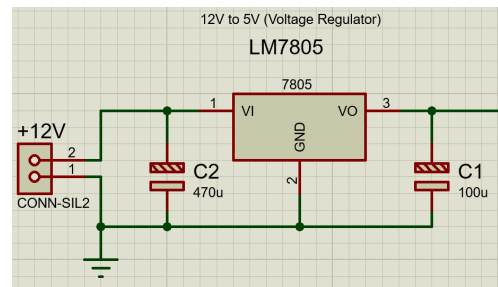


Fig. 18. Esquemático do regulador de tensão utilizando o LM7805.

Foi realizado teste de lógica de saídas com o MSP430 utilizando relés e LED's. Nesta etapa, não foram conectados os atuadores visando a segurança destes componentes. Também foram realizados testes com o sensor DHT11 no MSP430, o que nos retornou temperatura ambiente por volta de 0x19 (25

°C). O LM393 do sensor de umidade do solo fora calibrado nesta etapa de teste para descer para nível lógico baixo quando a tensão de saída do comparador fosse entre 1V e 2,5V, o que indica situação de pouca umidade no solo. Não foram realizados testes posteriores com os demais sensores.

Quando montado o circuito completo e ligados todos os componentes, foram identificados problemas de curto-circuito na fonte e *power shortage*. Uma possível explicação para este problema é o fato do componente LM7805 possuir um limite de corrente que não permite que todos os componentes estejam ligados ao mesmo tempo. Este problema poderia ter sido solucionado quando utilizado mais de um regulador de tensão, o que não foi realizado. Outra melhoria para o circuito regulador de tensão é o uso de dissipadores de calor nos reguladores de tensão para evitar o superaquecimento do componente quando submetido a corrente próximas a de seu limite de operação.

A prototipação da PCB não foi realizado devido ao elevado custo de manufatura e a baixa qualidade de um protótipo no país. Foram averiguadas empresas no exterior que pudessem realizar este serviço mas o tempo de entrega excedia em muito o limite de tempo para entrega deste trabalho. Uma prototipação artesanal deste layout estava fora de questão por possuir trilhas muito pequenas e próximas umas das outras. A não prototipação da PCB dificultou muito a etapa de debugging do circuito, já que este fora montado na protoboard. Problemas a serem elencados desta montagem são a organização da protoboard, trilhas com mau contato e aquecimento das trilhas de entrada 12V.

X. CONCLUSÕES

Por fim, até a data de redação deste relatório o projeto não mostrou-se 100% funcional. Como melhorias podemos elencar:

- Melhor debugging do código e melhora na lógica do código;
- Melhora na modularização das funções de leitura dos sensores;
- Prototipação da PCB e melhor organização dos circuitos;
- Melhor temporização do sistema quanto à leitura dos dados dos sensores;
- Uso de um cano de PVC branco para acomodação da muda e para facilitar a irrigação;
- Uso de uma bomba submersa para adquirir a pressão ideal da água no tubo que vai de encontro à válvula solenóide (o que resultaria em um custo mais elevado de projeto);
- Melhor pesquisa quanto à quantidade necessária de água para irrigação;
- Poderia ser efetuada uma melhor sinergia entre os dados de umidade do solo e umidade relativa do ar para efetuar o cálculo da quantidade ideal de água a depender da condição atual do ambiente e do clima na região em que a estufa se encontra;

- Poderia ser utilizado um sensor de pH da água para indicar situação não saudável para planta de acordo com o pH (o que também resultaria em um custo mais elevado de projeto); e
- Melhor planejamento, por parte dos autores, do tempo disponível de projeto.

Apesar dos resultados, o conhecimento adquirido no decorrer deste projeto foi proveitoso e será utilizado como referência para pesquisas e projetos futuros. Os autores deste trabalho planejam dar continuidade a este projeto o qual será complementado ao longo do tempo, ainda que estudos posteriores fujam do escopo da matéria à qual este projeto final se destina.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer aos colegas:

Mariana Costa Dias, Doutoranda em Bioinformática e Mestre em Biologia Vegetal sub-área Fisiologia Vegetal pela UFMG; pela consultoria e pela indicação de artigos relacionados à fisiologia das plantas e do morango.

Arthur Pereira Wernke, Graduando em Engenharia Aeroespacial pela UnB - FGA; pelo auxílio no uso do compilador \LaTeX pela assistência nos cálculos de transporte de calor.

Victor Menezes Ribeiro, Graduando em Engenharia Aeroespacial pela UnB - FGA; pelo auxílio nos CAD's da estrutura e plantas de corte do compartimento para eletrônica.

Josias Diego Martins, Engenheiro da Bobsien P&D; pelo trabalho realizado no tópico deste relatório e pela sugestão do uso do efeito Peltier para aquecimento/resfriamento da estufa.

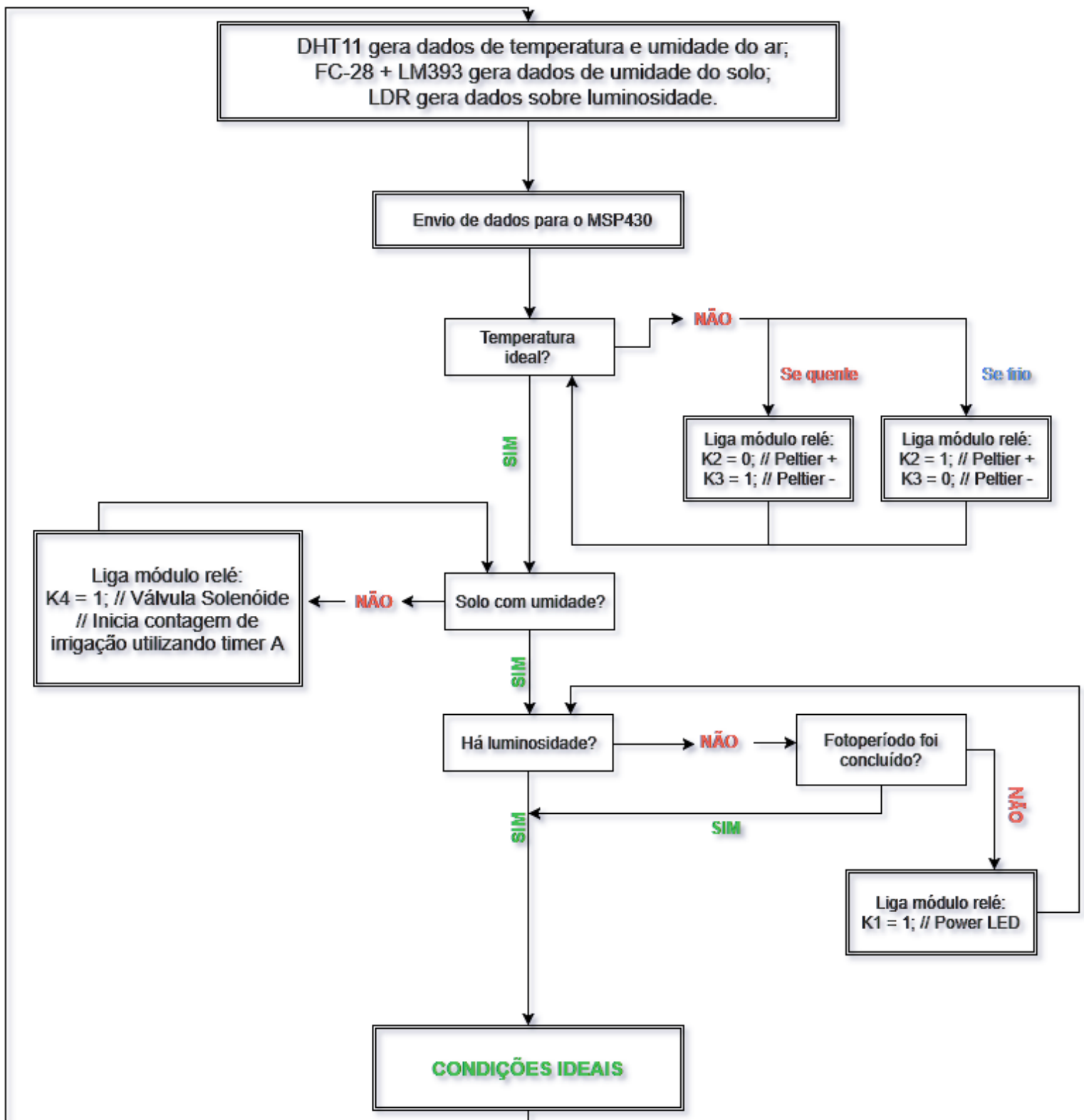
REFERENCES

- [1] H. Kopka and P. W. Daly, *A Guide to \LaTeX* , 3rd ed. Harlow, England: Addison-Wesley, 1999.
- [2] ROMANINI, Carlos E. B. *et al. Desenvolvimento e simulação de um sistema avançado de controle ambiental em cultivo protegido*. Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient., [s.l.], v. 14, n. 11, p.1194-1201, 2010. FapUNIFESP (SciELO).
- [3] RURALNEWS, Redação. *Estufas - produção agrícola em ambientes controlados.2015*. Disponível em: <http://www.ruralnews.com.br/visualiza.php?id=202>.
- [4] ARAGUAIA, Mariana. *Morango*; Brasil Escola. Disponível em: <http://brasilescuela.uol.com.br/frutas/morango.htm>. Acesso em 31 de setembro de 2017.
- [5] PALHA, Maria da Graça. *Manual do Morangueiro*; 2005.
- [6] Morato, J., Cruz, S., Pereira, F., Metrôlho, J. C.. *Multi-Monitorização de Estufas Agrícolas*. Escola Superior de Tecnologia. Escola Superior Agrária. Instituto Politécnico de Castelo Branco.
- [7] SOUSA, André Luiz C. N. D. e BUSSON, Bruna O.. *Projeto de Sistema de Irrigação para Unidade de Agricultura Familiar*. 2016.
- [8] SCARPARE, João Alexio Filho. *Vernalização em cinco cultivares de morangueiro*. 2007.
- [9] HENZ, Gilmar P.; *Desafios enfrentados por agricultores familiares na produção de morango no Distrito Federal*. 2010.
- [10] Texas Instruments. LM393, LM293, LM193, LM2903 Dual Differential Comparators datasheet. October, 1979.
- [11] ON Semiconductor. BS170 — Small Signal MOSFET datasheet, Rev.7. November, 2017.
- [12] AOSONG. "Temperature and humidity module — DHT11 Product Manual". s.d.
- [13] Foton Ukraine. 3W High Power LED datasheet. [entre 2011 e 2017].

- [14] Texas Instruments. μ A7800 SERIES — POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS datasheet, Revised May 2003. May 1976.
- [15] Texas Instruments. Interfacing the 3-V MSP430 to 5-V Circuits. October 2002.
- [16] Texas Instruments. Mixing C and Assembler With the MSP430. March 2002.
- [17] BRAGA, Newton C. Dissipadores de calor (ART208). Disponível em: <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/1405-art208>. Acesso em: 30 out. 2017.

ANEXOS

- Diagrama Lógico



- Código

```

1  #include <msp430.h>
2  #include <msp430g2553.h>
3
4  /* =====
5   * DECLARACAO DE CONSTANTES
6   * ===== */
7
8  /* MODULO RELE -> SAIDAS */
9  #define K1 BIT0 // K1 = P1.0
10 #define K2 BIT1 // K2 = P1.1
11 #define K3 BIT2 // K3 = P1.2
12 #define K4 BIT3 // K4 = P1.3
13
14 #define LED BIT6 // LED = P1.6
15
16 /* SENSORES -> ENTRADAS */
17 #define LDR BIT4 // LDR = P1.4
18 #define UMI BIT5 // UMI = P1.5
19 #define DHTPIN BIT7 // DHT11 = P1.7
20
21 /* ===== */
22
23 /* =====
24 * VARIAVEIS GLOBAIS
25 * PROTOTIPOS DE FUNCOES
26 * ===== */
27
28 /* DHT 11 */
29 unsigned char volatile TOUT;
30 unsigned char volatile SECOND_TIMER=0;
31
32 unsigned char data[5];
33
34 void acorda(void);
35 unsigned char resposta(void);
36 unsigned char lerByte(void);
37 unsigned char checkParidade(unsigned char
38 *);
39
40 /* ===== */
41
42 #pragma vector = TIMER0_A0_VECTOR
43 __interrupt void CCR0_ISR(void){
44     SECOND_TIMER++;
45     TOUT=1;
46     TACCTL0 &= ~(CCIFG);
47     // _BIC_SR_IRQ(LPM0_bits);
48 }
49
50 /* =====
51 * PROGRAMA PRINCIPAL
52 * ===== */
53
54 void main(void){
55     WDCTL = WDTPW + WDTHOLD;
56
57     /* DECLARA ENTRADAS E SAIDAS */
58     P1DIR |= K1 + K2 + K3 + K4;
59     P1OUT |= (K1 + K2 + K3 + K4);
60
61     P1REN |= (UMI + DHTPIN);
62     P1OUT |= (UMI + DHTPIN);
63
64     /* CONFIGURACAO DO CONVERSOR AC */
65     ADC10CTL1 = INCH_1 + ADC10DIV_3;
66     ADC10CTL0 = ADC10SHT_3 + ADC10ON +
67     ADC10IE;
68
69     /* CONFIGURACAO DO TIMER */
70     BCSCTL1 = CALBC1_1MHZ;
71     DCOCTL = CALDCO_1MHZ;
72
73     TACCR0 = 50000;
74     TACCTL0 = CCIE;
75     TA0CTL = TASSEL_2 + ID_2 + MC_1 +

```

```

73     TACLRL;
74     _enable_interrupt();
75
76     LPM1;
77
78     P1OUT |= K2;
79     P1OUT &= ~(K3);
80
81     while(1){
82
83         /* INTERFACE COM DHT11 */
84         if(SECOND_TIMER >= 5){
85             __bic_SR_register_on_exit(
86             LPM3_bits);
87             acorda();
88             if(resposta()){
89                 data[0] = lerByte();
90                 data[1] = lerByte();
91                 data[2] = lerByte();
92                 data[3] = lerByte();
93                 data[4] = lerByte();
94             }
95
96             if (checkParidade(data)){
97                 P1OUT |= LED;
98             } else{
99                 P1OUT &= ~(LED);
100                 break;
101             }
102
103             if(data[2] >= 0x10){
104                 P1OUT |= K2;
105                 P1OUT &= ~(K3);
106             } else{
107                 if(data[2] <= 0x16){
108                     P1OUT |= K3;
109                     P1OUT &= ~(K2);
110                 } else{
111                     P1OUT |= (K2 + K3);
112                 }
113             } /* fim do if-else */
114
115             if((P1IN & BIT4) == 0) P1OUT &= ~
116             K1;
117
118             if((P1IN & UMI) == 0) P1OUT &= ~
119             K4;
120
121             /* SUB-ROTINA ASSEMBLY
122             __asm__( "mov.w #__P1IN,R15 \n"
123             "and.b #08,R15 \n"
124             "jz .umidadeBaixa \n"
125             "jmp .fim \n"
126
127             ".umidadeBaixa: \n"
128             "and.b #F7,&__P1OUT \n"
129             "mov.w #FF,R14 \n"
130             "mov.w #FF,R13 \n"
131             "mov.w #3F,R12 \n"
132             "jmp .contagem0 \n"
133
134             ".contagem0: \n"
135             "sub.b #1,R14 \n"
136             "jz .contagem1 \n"
137             "jmp .contagem0 \n"
138
139             ".contagem1: \n"
140             "sub.b #1,R13 \n"
141             "jz .contagem2 \n"
142             "mov.w #FF,R14 \n"
143             "jmp .contagem0 \n"
144
145             ".contagem2: \n"
146             "sub.b #1,R12 \n"
147             "jz .fim \n"
148             "mov.w #FF,R14 \n"

```

```

144         "mov.w #FF,R13 \n"
145         "jmp .contagem0 \n"
146
147         ".fim: \n"
148         "clr.b R15 \n"
149         "clr.b R14 \n"
150         "clr.b R13 \n"
151         "clr.b R12 \n");*/
152
153     TACTL |= TACLR;
154     TA0CTL |= 0x10;
155     TACCR0 = 50000;
156     SECOND_TIMER = 0;
157     /* fim da interface com o DHT11
158 */
159     }/* fim do if-else (second timer)
160 */
161     } /* fim do while */
162 } /* FIM DO PROGRAMA PRINCIPAL */
163
164 /* =====
165 * FUNCOES DO DHT11
166 * =====*/
167 unsigned char lerByte(){
168     TOUT = 0;
169     unsigned char numero = 0;
170     unsigned char i;
171     TACCTL0 &= ~(CCIE);
172     for (i=8; i>0; i--){
173         while (!(P1IN & DHTPIN));
174         TACTL |= TACLR;
175         TA0CTL |= 0x10;
176         TACCTL0 |= CCIE;
177         while ((P1IN & DHTPIN));
178         TA0CTL &= ~(0x30);
179         if (TAR > 13)
180             numero |= 1 << (i-1);
181     }
182     return numero;
183 } /* fim lerByte */
184
185 unsigned char resposta(){
186     TOUT=0;
187     TACTL |= TACLR;
188     TACCR0 = 25;
189     TACCTL0 |= CCIE;
190     while (!(P1IN & DHTPIN) && !TOUT);
191     if (TOUT)
192         return 0;
193     else {
194         TACTL |= TACLR;
195         TACCTL0 |= CCIE;
196         while ((P1IN & DHTPIN) && !TOUT);
197         if (TOUT)
198             return 0;
199         else {
200             TACCTL0 &= ~(CCIE);
201             return 1;
202         }
203     } /* fim do if-else */
204 } /* fim resposta */
205
206 void acorda(){
207     PIDIR |= DHTPIN;
208     P1OUT &= ~(DHTPIN);
209     __delay_cycles(25000);
210     P1OUT |= DHTPIN;
211     __delay_cycles(30);
212     PIDIR &= ~(DHTPIN);
213 } /* fim acorda*/
214
215 unsigned char checkParidade(unsigned char
216 *data){
217     if (data[4] != (data[0] + data[1] +

```

```

216     data[2] + data[3])){
217         return 0;
218     }
219     else return 1;
220 } /* fim check Paridade*/
221

```