

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES E COMUNICAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MÍDIA E TECNOLOGIA**

ALESSANDRO RAMOS DA SILVA

APLICAÇÃO DE IOT PARA COLETA E LEITURA DE DADOS CLIMÁTICOS

Bauru

2019

ALESSANDRO RAMOS DA SILVA

APLICAÇÃO DE IOT PARA COLETA E LEITURA DE DADOS CLIMÁTICOS

Relatório Técnico de Conclusão de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-graduação em Mídia e Tecnologia, da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação – FAAC, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, para obtenção do título de Mestre em Mídia e Tecnologia sob a orientação do Prof. Adj. Eduardo Martins Morgado.

Bauru

2019

Silva, Alessandro Ramos.
APLICAÇÃO DE IOT PARA COLETA E LEITURA DE
DADOS CLIMÁTICOS / Alessandro Ramos da Silva,
2019. 66 f.: il.

Orientador: Eduardo Martins Morgado.

Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual
Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Faculdade de
Arquitetura, Artes e Comunicação, Bauru, 2019

1. IoT. 2. Coleta. 3. Dados Climáticos.
I. Universidade Estadual Paulista "Júlio de
Mesquita Filho". Faculdade de Arquitetura, Artes
e Comunicação. II. Aplicação de IoT para coleta
e leitura de dados climáticos.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE Mestrado de ALESSANDRO RAMOS DA SILVA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MÍDIA E TECNOLOGIA, DA FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES E COMUNICAÇÃO - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 26 dias do mês de fevereiro do ano de 2019, às 14:30 horas, no(a) Sala de Reuniões da Seção Técnica de Pós-Graduação da FAAC, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. EDUARDO MARTINS MORGADO - Orientador(a) do(a) Programa de Pós-Graduação em Mídia e Tecnologia da FAAC/Unesp/Bauru / Universidade Estadual Paulista, Professora Associada MARIA CRISTINA GOBBI do(a) Departamento de Comunicação Social / Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação - FAAC - UNESP - Bauru/SP, Profa. Dra. ADRIANA BERTOLDI CARRETTO DE CASTRO do(a) Engenharia / Faculdade de Tecnologia de Jahu - FATEC-JAHU, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE Mestrado de ALESSANDRO RAMOS DA SILVA, intitulada **Aplicação de IoT para Coleta e Leitura de Dados Climáticos**. Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: aprovado. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.


Prof. Dr. EDUARDO MARTINS MORGADO


Professora Associada MARIA CRISTINA GOBBI


Profa. Dra. ADRIANA BERTOLDI CARRETTO DE CASTRO

Dedico este trabalho à minha filha Ana Julia. Que um dia possa servir de inspiração para ela superar seus próprios desafios. Porque a vida só tem sentido quando você se desafia.

AGRADECIMENTO

Agradeço ao meu orientador, Eduardo Martins Morgado pela inestimável porta que abriu em minha vida com este mestrado.

Agradeço aos Senhores Eduardo Antonio Fernandes Junior e Aurivan Luiz Galdino, sócios proprietários da empresa em que trabalho há muitos anos, pela oportunidade de emprego e pela gentileza de permitir a interrupção de meus turnos para assistir às aulas. Sem contar algumas preciosas dicas sobre a temática que escolhi desenvolver.

Agradeço aos professores do PPGMiT com os quais tive mais contato pelas boas aulas que ministraram, por todo apoio, auxílio e compreensão. Notadamente: Fernando Marar, Dino Magnoni, Regilene Sarzi, Roberta Spolon Ulson, Maria Cristina Gobbi.

Agradeço também aos alunos do Mestrado em Mídia e Tecnologia que estiveram mais próximos de mim na minha turma. Realizamos bons trabalhos em equipe e mutuamente nos apoiamos em difíceis momentos desta trajetória. Destaco: Ivan Morales, Eugênio de Mira, Brenda Luisi Pecini Alves, Marcelo Salvador, Rosiene Tondelli Casale, Nicolas Messias.

Além das disciplinas convencionais do mestrado, participei também de algumas disciplinas compartilhadas com a turma de doutorado, onde também tive contato com grandes parceiros acadêmicos aos quais deixo minha gratidão: Alexandre Galvani, Fernando Chadde de Grande, Angelo Sastre, Faberson Ferraresi.

Na disciplina de Cognição em Sistemas Inteligentes, agradeço pelo auxílio de dois alunos que foram assistentes do professor na disciplina e foram importantes na solução de dúvidas e escrita de um artigo produto da disciplina: Renata Svizzero Fakhoury e Maickel Bok.

Obrigado à equipe da seção de pós graduação da FAAC por todo o apoio. Principalmente Helder Cavalcanti.

Sou grato amigos que incentivaram meu ingresso e desenvolvimento neste programa de mestrado: Anderson Fraidenberges, Luciana Marolla, Paulo Vitor Ribeiro Forte, Nelson Forte de Souza Junior, Isabele Andreoli Agostinho, Bruno Andrade da Silva, Rogério Martini Giglioti.

Agradeço a Juraci Ferraz, Karen Hanysz e Kelly Hanysz por toda a ajuda no cuidado com temas cotidianos. Especialmente por cuidarem da minha filha Ana Julia em vários horários de aula.

Por último, gostaria de agradecer a Edriano Carlos Campana e Samanta Bueno Campana que me aproximaram do meio acadêmico e despertaram em mim a esperança de que eu pudesse cursar um mestrado. Edriano e Samanta, muito obrigado! Sem vocês, o que está acontecendo hoje não seria possível.

“Ó mar salgado, quanto do teu sal

São lágrimas de Portugal!

Por te cruzarmos, quantas mães choraram,

Quantos filhos em vão rezaram!

Quantas noivas ficaram por casar

Para que fosses nosso, ó mar!

Valeu a pena? Tudo vale a pena

Se a alma não é pequena.

Quem quer passar além do Bojador

Tem que passar além da dor.

Deus ao mar o perigo e o abismo deu,

Mas nele é que espelhou o céu.”

(Fernando Pessoa. Poema Mar Português, 1959)

SILVA, A. R. **Aplicação de IoT para coleta e leitura de dados climáticos**, 2019, 66 f. Relatório Técnico de Conclusão (Mestrado Mídia e Tecnologia) - FAAC - UNESP, sob a orientação do Prof. Adj. Eduardo Martins Morgado, Bauru, 2019.

RESUMO

Em um mundo onde as pessoas estão cada vez mais conectadas, chega o momento em que os objetos também passam a fazer parte da rede de compartilhamentos. Com a possibilidade de conexão de equipamentos por meio de hardware com capacidade de telecomunicação e de processamento para executar moderno software embarcado, é cada vez mais acessível tecnológica e economicamente o desenvolvimento de novos produtos conectados. Esta pesquisa discute parte da evolução da Internet das Coisas (IoT) e de algumas de suas aplicações, propondo a criação de um dispositivo conectado a esta rede. Sendo o objeto deste trabalho a IoT, dentro da grande gama de dispositivos que poderiam ser criados, foi colocado foco em desenvolver uma aplicação para coleta e leitura de dados climáticos. Como metodologia, a partir da pesquisa bibliográfica, será desenvolvido um relatório de pesquisa com construção de um protótipo. Atualmente o mercado dispõe de produtos de alto custo para leitura de dados climáticos, quase sempre importados ou desenvolvidos por empresas multinacionais, havendo pouca tecnologia nacional disponível para consumidores finais. Reserva-se esta a grandes centros de pesquisa de referência nacional. Foi desenvolvido um dispositivo para adequar-se aos fins propostos no trabalho, para responder à questão seria possível desenvolver um dispositivo para coleta e leitura de dados climáticos. O objeto deste trabalho é a Internet das Coisas. O objetivo geral foi verificar as características para desenvolvimento de um dispositivo de IoT para realizar a leitura de dados climáticos. Os objetivos específicos desdobraram-se em: definir formas para coleta de dados climáticos, desenvolver o dispositivo e testar, disponibilizar os dados em tempo real, extrair os dados em tempo real.

Palavras-chave: Arduino; dados climáticos; IoT; mídia e tecnologia; sensores

SILVA, A. R. **Aplicação de IoT para coleta e leitura de dados climáticos**, 2019, 66 f. Relatório Técnico de Conclusão (Mestrado Mídia e Tecnologia) - FAAC - UNESP, sob a orientação do Prof. Adj. Eduardo Martins Morgado, Bauru, 2019.

ABSTRACT

In a world where people are increasingly connected, comes the time when objects also become part of the share's network. With the possibility of connecting hardware by means of hardware with the capability of communication and processing for the execution of modern embedded software, the development of new connected products is increasingly accessible and economically. This research discusses part of the evolution of the Internet of Things (IoT) and some of its applications, proposing a creation of a device connected to this network. Being the object of this work an IoT, within the wide range of devices that are being inserted, were putted in focus an application for the data collection and reading of climatic data. As a methodology, from the bibliographic research, a research report will be developed with the construction of a prototype. Now a days, the market for high-priced climate data products, almost always imported or by multinational companies, has national technology available to end consumers. Reserves to major research centers of national reference. A device was developed to fit the purposes proposed in the work, to answer the question it would be possible to develop a device for collecting and reading climatic data. The object of this work is the Internet of Things. The general objective was to verify the characteristics for the development of an IoT device to perform the reading of climatic data. The specific objectives were: to define ways to collect climate data, to develop the device and to test, to make data available in real time, to extract the data in real time.

Keywords: Arduino; climatic data; IoT; media and technology; sensors

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 01: Placa Arduino Uno.....	18
FIGURA 02: Sensor DHT11.....	19
FIGURA 03: Sensor LM35.....	20
FIGURA 04: Protótipo do Dispositivo.....	21
FIGURA 05: Dados no site do <i>ThingSpeak</i>	22
FIGURA 06: Arquitetura da aplicação utilizada.....	23
FIGURA 07: Diagrama de Conexões do LM35.....	24
FIGURA 08: Protótipo.....	25
FIGURA 09: Canal.....	27
FIGURA 10: Gráfico da visualização.....	27
FIGURA 11: Extração.....	28
FIGURA 12: Listagem 01: Definições de rede para acesso ao <i>ThingSpeak</i>	29
FIGURA 13: Listagem 02: inicialização.....	30
FIGURA 14: Listagem 03: laço principal do programa.....	31
FIGURA 15: Listagem 04: envio de dados para a Internet.....	32
FIGURA 16: Listagem 05: reinicialização da placa de rede.....	33
FIGURA 17: Estações.....	34
FIGURA 18: Barra Bonita.....	34
FIGURA 19: Diferença encontrada.....	40

LISTA DE QUADROS

QUADRO 01: Valores dos sensores.....	20
QUADRO 02: Características.....	23
QUADRO 03: Ligações dos componentes.....	25

LISTA DE TABELAS

TABELA 01: Temperatura da cidade de Barra Bonita (SP) obtida pelo dispositivo..	36
TABELA 02: Temperatura da cidade de Barra Bonita (SP).....	38
TABELA 03: Diferença em Barra Bonita (SP) entre a temperatura aferida pelos dispositivos e a informada pelo INMET (2018).....	39
TABELA 04: Diferença percentual entre a temperatura na cidade de Barra Bonita (SP) aferida pelo dispositivo e a temperatura informada pelo INMET (2018).....	41

SUMÁRIO

1 DADOS GERAIS DO PROJETO	13
2 CAPÍTULO CONCEITUAL: Uma tecnologia inovadora	14
2.1 Computação ubíqua ou pervasiva	14
2.2 Dados Climáticos	17
2.3 Arduino para projetos de IoT	18
3 MATERIAIS E MÉTODOS	23
3.1 Projeto de Hardware	23
3.2 Plataforma IoT	26
3.3 Exportação de dados	28
3.4 Projeto de Software	28
3.5 Dados comparativos	33
4 RESULTADOS E COMENTÁRIOS GERAIS	35
4.1 Justificativa	35
4.2 Resultados obtidos	36
4.3 Outros resultados alcançados	42
4.4 Parceria Institucional	44
4.5 Dificuldades	44
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS	45
REFERÊNCIAS	47
ANEXOS	50

1 DADOS GERAIS DO PROJETO

Nome do Produto:

Estação Experimental Ceres I

Período de Execução Física:

Pesquisa De 29/01/2018 a 25/11/2018

Valor total do projeto:

R\$360,00

Bolsas - Financiamentos – Convênios e Parcerias:

O desenvolvimento do projeto não contou com nenhuma bolsa de financiamento.

Instituições participantes (nomear):

UNESP Bauru

Caracterização da Pesquisa:

Pesquisa técnico-científica de base acadêmica.

Caracterização da pesquisa com uma breve justificativa para o enquadramento:

A pesquisa foi enquadrada desta forma por se tratar de um projeto de produto, desenvolvido em ambiente totalmente acadêmico.

Equipe:

O autor do projeto foi também responsável por todas as etapas do seu desenvolvimento – possui formação e experiência na área de tecnologia da informação, com perfil descrito em mais detalhes no Anexo 1. O projeto foi desenvolvido sem equipe auxiliar.

Equipamentos adquiridos, quando for o caso:

Placa Arduino Uno (compatível), sensor DHT-11, sensor LM-35, *ethernet shield* e *jumpers*.

2 CAPÍTULO CONCEITUAL: Uma tecnologia inovadora

2.1 Computação ubíqua ou pervasiva

Quando um casal entra em um restaurante bem iluminado, com som ambiente para um jantar especial, não nota a presença da eletricidade passando pelas fiações para iluminar o ambiente, nem para manter o sistema de som amplificado. A energia passa despercebida, até que ocorra um blackout! Este exemplo demonstra que a eletricidade é uma tecnologia ubíqua: uma tecnologia que trabalha sem que se precise dar muita atenção a ela.

Igualmente, Weiser (1991) afirma sobre a tecnologia da informação que esta “só é acessível através de um jargão que não tem nada a ver com as tarefas para as quais as pessoas atualmente usam os computadores.” (WEISER, 1991, p. 96). Na época de seu trabalho, o autor já percebia que o uso da computação precisava passar por avanços para se tornar algo ubíquo. Avanços estes que foram descritos por ele de tal forma que muito do que se tem hoje reflete o que foi escrito há três décadas.

O termo “Internet das Coisas” foi criado por Kevin Ashton em uma apresentação em 1999. Em entrevista à FINEP, ele define a IoT (*Internet of Things*) da seguinte forma:

[...] se baseia na ideia de que estamos presenciando o momento em que duas redes distintas – a rede de comunicações humana (exemplificada na internet) e o mundo real das coisas – precisam se encontrar. Um ponto de encontro onde não mais apenas “usaremos um computador”, mas onde o “computador se use” independentemente, de modo a tornar a vida mais eficiente. Os objetos – as “coisas” – estarão conectados entre si e em rede, de modo inteligente, e passarão a “sentir” o mundo ao redor e a interagir. (ASHTON, 2018, p. 1)

Nesta entrevista, igualmente, quando menciona uma rede na qual “o computador” está sendo utilizado, ele está reafirmando o conceito de computação ubíqua que já era defendido por Weiser¹, em 1991. Fortalecendo as concepções e a importância de uma rede interconectando, de modo inteligente, estes computadores (ou objetos).

¹ Computação ubíqua, também conhecida como computação pervasiva. Termo originalmente cunhado por Mark Weiser em 1991, no seu artigo "O Computador para o século XXI", para se referir a dispositivos conectados em todos os lugares de forma tão transparente para o ser humano que acabaremos por não perceber que eles estão lá.

Objetos conectados recebem e transmitem dados via internet, especificando suas preferências e com possibilidade de controle remoto, sempre em tempo real (WEINBERG et al., 2015). A Internet das Coisas (IoT) é capaz de coletar e gerenciar dados de uma rede de sensores e dispositivos, processá-los e compartilhá-los com outras redes conectadas, e seu domínio destes ambientes é visto como um elemento-chave para o futuro desta tecnologia (JACOBSSON, DAVIDSSON; 2015).

Weiser (1991) ainda afirmava que havia dois desafios para o desenvolvimento da computação pervasiva – escala e localização: “Pequeno é melhor para a percepção humana do que justaposição física, e computadores ubíquos também precisam saber onde eles estão. (Computadores atuais, em contraste, não fazem idéia da sua localização e arredores).” (WEISER, 1991, p. 97). Ao atentar para a importância dos computadores conhecerem a localização, Weiser já estava tocando no tema de mídias locativas.

Pode-se fazer uma leitura do autor, que nem sempre a localização geográfica em termos de GPS² é necessária, mas uma sublocalização do computador dentro de um prédio já pode ser útil para o computador adequar seu funcionamento.

Um exemplo disto seria um computador que controla a temperatura de uma caldeira em uma indústria. Junto com as informações que o descrevem na rede, este computador pode ter uma informação de qual local da empresa ele se encontra.

Santaella (2008, p. 98) afirma que: “A computação móvel e pervasiva (computadores em todos os lugares) é a chave para a compreensão das mídias locativas.”, tecnologias essas que teriam como principal desafio a possibilidade de transmitir informações geográficas. Isto seria capaz de aumentar, segundo a autora, a importância dos itens de IoT para além da comunicação, atuando como uma forma de compreensão e utilização do próprio espaço físico.

Em seu trabalho, Santaella (2008) detalha mais especificamente o uso da localização geográfica: “Um dos mais profundos desafios das mídias locativas está em transmitir informação geográfica não mais nas tradicionais e pesadas janelas dos

² Do inglês *Global Positioning System*, significa "Sistema de Posicionamento Global". É um sistema eletrônico que usa uma rede de satélites para indicar em um receptor computadorizado a posição de um veículo, embarcação, pessoa, etc. (Dicionário Collins).

desktops, mas nas tecnologias finas e leves dos sistemas móveis e embarcados.” (SANTAELLA, 2008, p. 98).

A IoT pode ser explicada como a migração da Internet como se conhece hoje, como algo ao qual se conecta, para um ambiente nativo onde objetos (e futuramente, pessoas) estariam nativamente conectados, interagindo de maneira natural e pervasiva (GOUVEIA, 2013).

Para Weiser (1991) ainda existem alguns requisitos para o avanço dos computadores ubíquos: baixo custo, baixo consumo de energia, uma rede conectando tudo e software para aplicações ubíquas. Sobre esta rede, ele ainda detalhava que poderiam haver três tipos de rede: longo alcance, médio alcance e curtíssimo alcance (WEISER, 1991, p. 99). Atualmente a tecnologia avançou muito em todos os pontos descritos pelo autor, sendo que os próprios tipos de conexão descritos podem ser equiparados respectivamente à internet 4G, às redes WI-FI e à conectividade *Bluetooth*. Com estes requisitos alcançados, surgem novos desafios que são comuns nos cenários de aplicações de *big data*, onde grandes volumes de dados são processados.

A aquisição e o processamento de dados de IoT trazem vários desafios: heterogeneidade, incompletude, que pode ocorrer quando sensores falham, incerteza, dinamismo ou velocidade), que acontece quando observações chegam continuamente (SHETH, 2016, p. 110).

Sobre a IoT nos dias de hoje, ainda segundo o autor “o próximo estado da evolução da IoT irá envolver a integração de uma grande variedade de dados de dispositivos com recursos analíticos mais avançados.” (SHETH, 2016, p. 108, tradução nossa). Esses dispositivos inteligentes interagem com uma mesma base a fim de cumprir os mesmos objetivos (SICARI et al., 2015). A análise destes dados pode ainda ser incrementada com recursos de inteligência artificial.

Sobre a implementação de inteligência artificial em dispositivos de uso diário, a ficção de Bruce Sterling diz que no momento em que os objetos (dispositivos) se tornarem inteligentes, o mundo das coisas e o mundo humano estarão se comunicando sob condições inéditas (STERLING, 2005 *apud* SANTAELLA, 2008, p. 99).

Apesar do trabalho de Sterling (2005) se tratar de ficção e não de conhecimento científico, é verdade que ainda não se tem histórico de objetos autenticamente inteligentes interagindo com as pessoas.

Um exemplo de avanços no campo de interação com inteligência artificial que ganhou espaço na mídia recentemente foi o robô Sophia que foi o primeiro robô do mundo a receber um título de cidadania na Arábia Saudita. O intuito de seu fabricante é desenvolver uma inteligência artificial capaz de expressar criatividade, empatia e compaixão (O GLOBO, 2017).

Focando principalmente com relação à IoT e falando em suas aplicações, Sheth afirma que “os dados de IoT tem seu uso presente em saúde, monitoramento de aviões e maximização de eficiência operacional.” (SHETH, 2016, p. 108, tradução nossa).

2.2 Dados climáticos

A proposta deste trabalho volta-se para aplicação das tecnologias de IoT na coleta e leitura de dados climáticos. Para citar apenas uma das áreas onde estes dados são importantes, pode-se selecionar a agricultura.

Pilau et al. (2001) explica a importância do conhecimento da temperatura no cultivo de qualquer planta:

Para avaliar o efeito da temperatura do ar, pode-se utilizar o conceito de soma térmica ou graus-dia, que se baseia na resposta da planta à temperatura do ar, destacando a existência de temperaturas basais que controlam o crescimento e desenvolvimento da cultura. Mesmo sob condição hídrica e níveis de radiação solar ideais, a planta não se desenvolve e seu crescimento é extremamente reduzido, quando submetida à temperatura inferior a um valor mínimo, ou superior a um valor máximo, com exigência específica de temperatura do ar para cada fase fenológica de desenvolvimento (PILAU et al., 2011, *apud* WENT, 1953; MONTEITH e ELSTON, 1996).

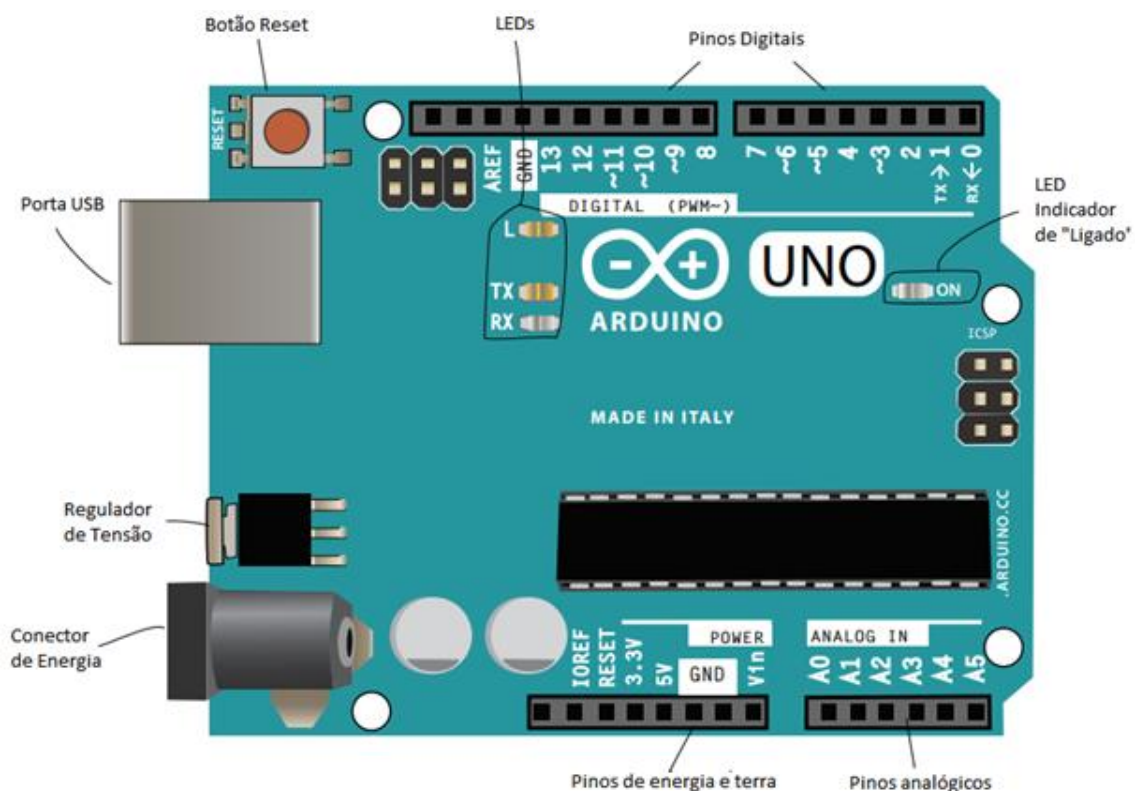
Estudando as reações da planta a cada nível de temperatura, é possível construir um quadro com as temperaturas ideais para seu desenvolvimento (PILAU, 2011). Outro dado climático de notória importância é a precipitação, afinal, sem água os cultivos não sobrevivem. Este dado não será avaliado no escopo deste trabalho.

2.3 Arduino para projetos de IoT

O Arduino é uma placa de prototipação³ livre baseada em hardware e software fácil de usar. Uma placa Arduino é capaz de ler entradas – como nível de luminosidade do ambiente, acionamento de chaves ou dados da internet - e gerar saídas – ativando motores, acionando LEDs ou publicando dados na internet. O desenvolvedor diz à placa o que ela deve fazer enviando um conjunto de instruções ao seu microcontrolador. Para fazer isto, ele utiliza a linguagem de programação do Arduino e o software Arduino IDE (ARDUINO, 2018).

Morgado et al. (2018) explica que a entrada e saída de dados no Arduino pode ser feita através dos pinos digitais e analógicos. Os pinos digitais podem definir ou consultar um estado de ativação ou inativação de dispositivos. Já os pinos analógicos podem ler ou escrever faixas maiores de valores. A Figura 1 mostra os principais componentes do Arduino.

Figura 1 – Placa Arduino Uno



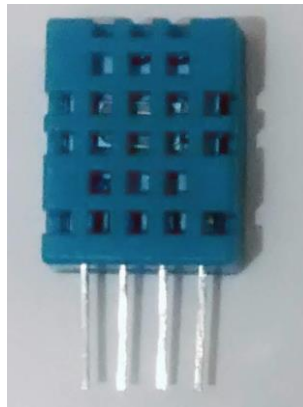
Fonte: Culkin & Hangan (2017)

³ As placas de prototipação contém em si um microcontrolador acoplado com facilidades como: interface de gravação de programas, regulador de tensão, pinos de entrada e saída, plugs e pinos para receber alimentação de energia externa (MORGADO, 2018).

Mantendo o foco do projeto na variável de temperatura, faz-se necessário o uso de um componente capaz de capturar este dado do ambiente: um sensor de temperatura.

O primeiro sensor considerado neste projeto é o DHT11 (Figura 2). Gay (2014) descreve o DHT11 como um sensor de umidade e temperatura com a capacidade de medir valores da umidade do ar entre 20% e 90% com precisão de -5% a +5% e também capaz de medir temperaturas entre 0°C e 50°C com precisão de -2°C a +2°C.

Figura 2 – Sensor DHT11



Fonte: Acervo pessoal, 2018

Diante destes dados é possível notar facilmente que este sensor não possui capacidade de lidar com temperaturas negativas. Contudo, na maior parte do território brasileiro as temperaturas não atingem temperaturas negativas. Isto impossibilita o uso deste sensor apenas para alguns pontos dos estados mais frios do país durante o período do inverno.

Uma alternativa é o sensor LM35 (Figura 03). Segundo Texas (2018), este sensor realiza leitura de temperaturas entre -55°C a 150°C com uma precisão entre -0,5°C e 0,5°C.

Figura 3 – Sensor LM35



Fonte: Acervo pessoal, 2018

Para tornar mais fácil a comparação, o Quadro 1 traz os principais valores de cada um destes sensores:

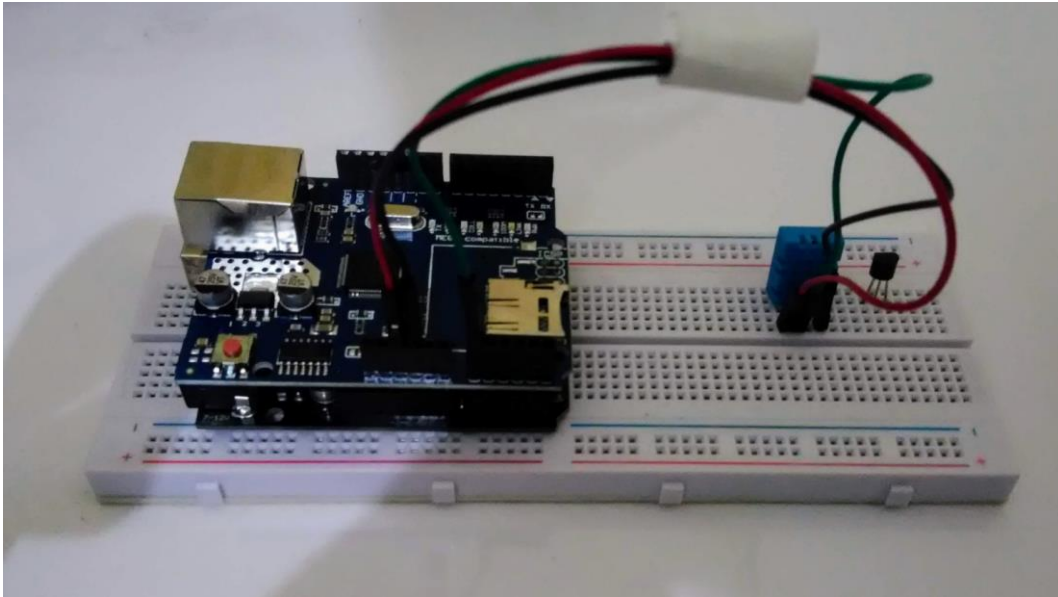
Quadro 1 – valores dos sensores

	Temperatura Mínima	Temperatura Máxima	Precisão
Sensor DHT11	0°C	50°C	-2°C a +2 °C
Sensor LM35	-55 °C	150 °C	-0,5°C e 0,5°C

Fonte: Acervo pessoal, 2018

Em uma versão inicial do protótipo foi utilizado o sensor DHT11, conforme pode ser visto na Figura 4. Para permitir a consulta em tempo real aos dados, foi utilizado um componente de LCD.

Figura 4 – Protótipo do Dispositivo



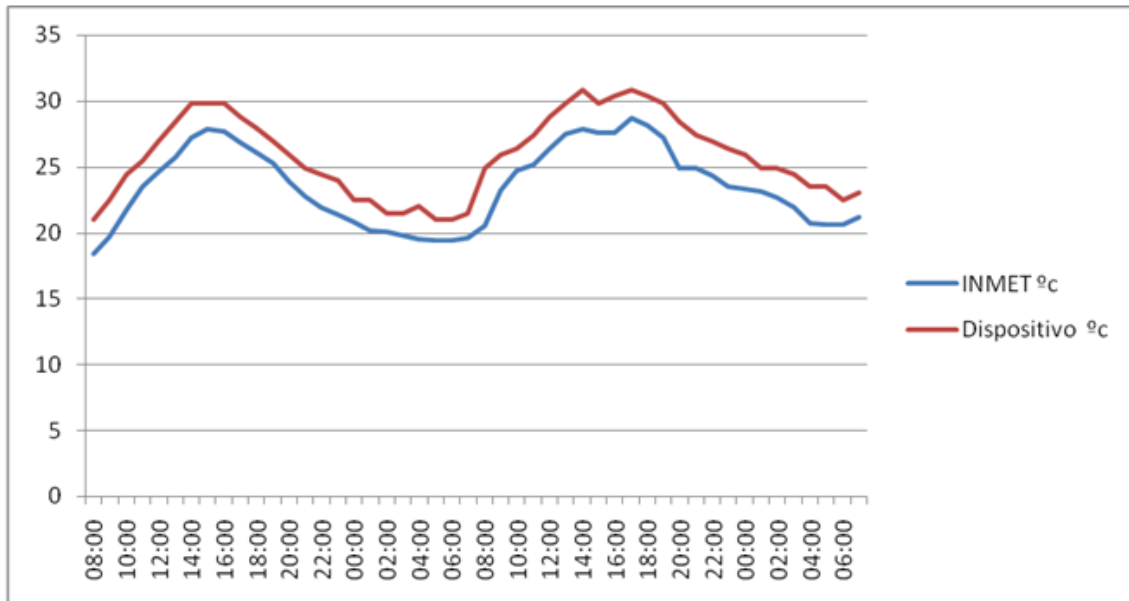
Fonte: Acervo pessoal, 2018

Conforme se pode observar, neste protótipo inicial, além do dispositivo coletar a temperatura, coleta também a umidade relativa. É importante lembrar que a informação da umidade só se faz disponível no caso do sensor DHT11, já que o sensor LM35 afere apenas a temperatura.

Na Figura 5 é possível ver uma versão do dispositivo sem o LDC. Pode-se identificar com facilidade o sensor DHT11. Porém, o ponto mais importante é a utilização de um módulo *ethernet* para acesso à Internet por meio de conexão cabeada. É importante salientar que em um cenário real o dispositivo precisaria ser implementado com mais proteção ao circuito para resistir a possíveis chuvas.

Anteriormente nesta dissertação, falou-se a respeito da importância dos dados coletados pelos dispositivos. Para registrar os dados coletados pelo dispositivo, foi utilizada a ferramenta *dweet*.

A opção por esta ferramenta foi pela sua facilidade encontrada de criar uma conta e enviar dados. A Figura 6 mostra os dados conforme são exibidos no site do *dweet*.

Figura 5 – Dados no site do *ThingSpeak*

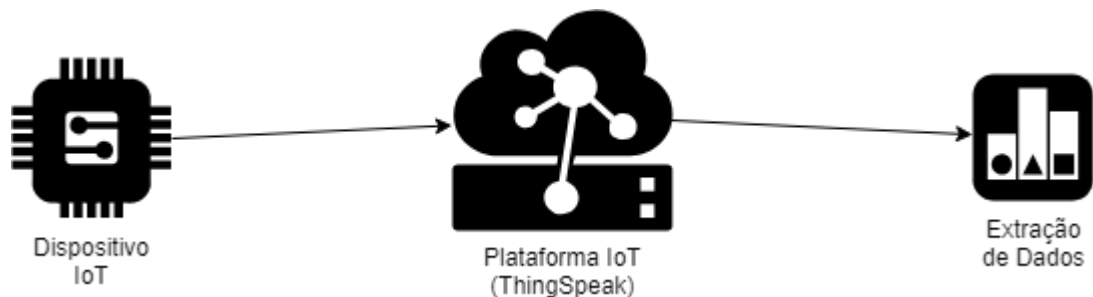
Fonte: Acervo pessoal, 2018

Na figura 5, pode-se notar que houve uma diferença entre as medições. Contudo, as curvas tiveram variação sincronizada, acompanhando uma à outra. O que demonstra que o dispositivo leu corretamente a proporção da variação de temperatura.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido como relatório de pesquisa, utilizando dados coletados em campo e analisados a partir dos testes realizados. Igualmente, a revisão bibliográfica realizada constituiu-se em etapa importante para conceituação do tema e coleta de conhecimento técnico. A figura abaixo demonstra a arquitetura da aplicação:

Figura 6 – Arquitetura da aplicação utilizada



Fonte: Acervo pessoal, 2018

3.1 Projeto de Hardware

Para construção do dispositivo IoT, foi utilizada como plataforma de prototipagem uma placa compatível com o padrão do Arduino Uno.

O UNO é a melhor placa para começar com eletrônica e programação. Se esta é sua primeira experiência lidando com a plataforma, o UNO é a placa mais robusta para você começar a trabalhar. O UNO é a placa mais usada e documentada da família Arduino (UNO, 2018, tradução nossa).

Monk (2013) lista as principais características deste modelo do Arduino, que podem ser vistas no quadro abaixo:

Quadro 2 – Características

Elementos	Quantidade
Pinos de Alimentação 5v	1
Pinos de Alimentação 3.3v	1
Pinos Analógicos	6
Pinos Digitais	14

Fonte: MONK, 2013

O sensor LM35 utiliza apenas um pino analógico para que seja realizada a leitura da temperatura. Além deste pino de dados, também é necessário conectar um pino de energia e o pino terra. A Figura 7 mostra o diagrama de conexão deste sensor. Mais informações técnicas sobre as especificações do sensor LM35 podem ser encontradas no Anexo 1.

Figura 7 - Diagrama de Conexões do LM35



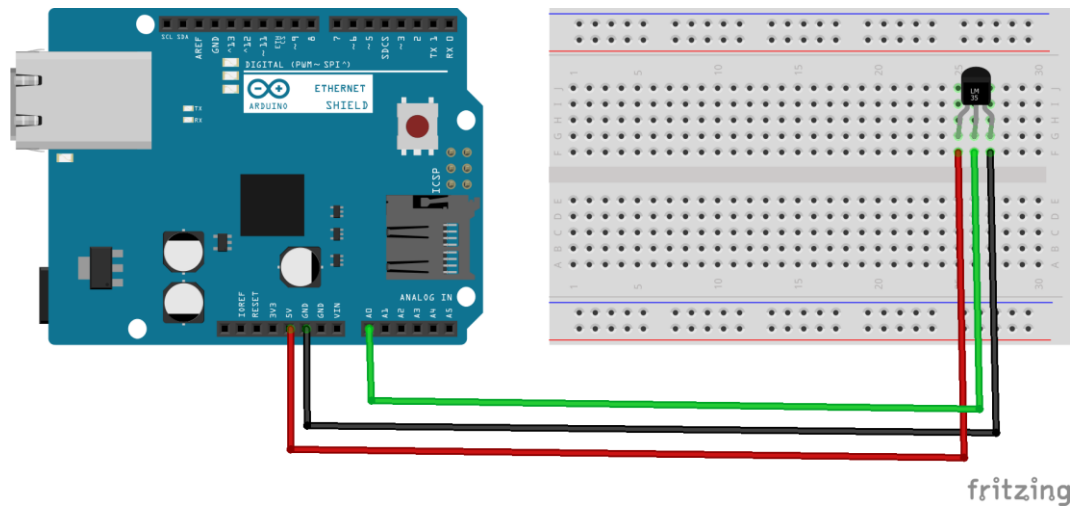
Fonte: Anexo 1.

Como se trata de um dispositivo conectado à internet, é necessário também uma interface de rede. Para este projeto foi utilizada uma *ethernet shield* que possui conexão de rede por cabo, porém possui grande facilidade de uso.

O componente *ethernet shield* consiste em uma placa que possui o mesmo formato que a placa do Arduino Uno e se encaixa sobre ele, disponibilizando na parte superior todas as conexões do Arduino expostas para uso (ETHERNET 2018).

A Figura 8 apresenta o esquema gráfico com a montagem eletrônica do protótipo, cujas ligações dos componentes serão descritas a seguir.

Figura 8 - Protótipo



Fonte: Acervo pessoal, 2018

O quadro a seguir mostra as ligações dos componentes:

Quadro 3 – Ligações dos componentes

Componente	Terminal	Ligação	Cor do Fio
LM35	+Vs	VCC	Vermelho
LM35	GND	GND	Preto
LM35	Vout	A0	Verde
Ethernet Shield	-	-	-

Fonte: Acervo pessoal, 2018

Para o componente “*Ethernet Shield*” não se especificou terminal, nem ligação porque o mesmo se conecta com todas as portas do Arduino, utilizando aquelas das quais precisa e disponibilizando as que não fazem uso, para conexão de componentes.

Desta forma, quando se utiliza este componente, o projetista deixa de conectar, por exemplo, seus pinos de dados e energia nos pinos do Arduino. O

projetista deve então conectá-los diretamente nos pinos e dados e energia da *shield*, que estão ligados aos pinos da placa Arduino.

3.2 Plataforma IoT

Como plataforma de IoT, foi inicialmente considerado desenvolver uma aplicação web capaz de receber os dados do dispositivo e permitir visualização e extração dos dados recebidos. Devido ao curto prazo para desenvolvimento do projeto, juntamente com a participação nas disciplinas do programa, optou-se por utilizar uma plataforma pronta que estivesse gratuitamente disponível na internet.

O *ThingSpeak* é um canal de dados IoT de código aberto criado pela MathWorks (mesma empresa que faz o MATLAB). O *ThingSpeak* nos permite ler e escrever dados em canais, que são registros de *numerous*, texto, etc. Cada canal pode ter até oito campos, que são grupos de dados semelhantes (SPARKFUN, 2018).

Configuração do *ThingSpeak*

Após criar uma conta informando endereço de e-mail e outros dados pessoais, o primeiro passo para utilização do *ThingSpeak* é a criação de um canal. Os campos obrigatórios para criação do canal são: nome, descrição e campos (pelo menos um campo é obrigatório).

Para realização de leituras climáticas dentro do escopo deste projeto são necessárias apenas duas variáveis: temperatura e instante em que houve a leitura. O *ThingSpeak* automaticamente sempre guarda o momento em que recebeu dados em um canal. Desta forma, só é necessário criar um campo para transmitir a temperatura. A Figura 9, que mostra o formulário preenchido para criação do canal “clima”, pode-se observar a configuração do canal, onde com apenas três campos é possível configurar um novo item: “Nome”, “Descrição” e “Campo 1”.

O modo de envio de dados para este canal será descrito nas listagens de código do tópico “projeto de software”. Na exibição de dados no site *ThingSpeak*, para cada canal, o *ThingSpeak* cria automaticamente um gráfico, capaz de exibir em tempo real os dados capturados, como pode ser visto na Figura 10, que traz um exemplo de gráfico com os dados coletados. Este gráfico é automaticamente gerado pela plataforma, sem necessidade de programação adicional.

Figura 9 - Canal

Nome clima_

Descrição Coleta de dados climáticos

Campo 1 temperatura

Campo 2

Campo 3

Campo 4

Campo 5

Campo 6

Campo 7

Campo 8

Ajuda

Channels store all the data that a ThingSpeak application collects. Each channel includes eight fields that can hold any type of data, plus three fields for location data and one for status data. Once you collect data in a channel, you can use ThingSpeak apps to analyze and visualize it.

Channel Settings

- Channel Name:** Enter a unique name for the ThingSpeak channel.
- Description:** Enter a description of the ThingSpeak channel.
- Field#:** Check the box to enable the field, and enter a field name. Each ThingSpeak channel can have up to 8 fields.
- Metadata:** Enter information about channel data, including JSON, XML, or CSV data.
- Tags:** Enter keywords that identify the channel. Separate tags with commas.
- Link to External Site:** If you have a website that contains information about your ThingSpeak channel, specify the URL.
- Show Channel Location:**
 - Latitude:** Specify the latitude position in decimal degrees. For example, the latitude of the city of London is 51.5072.
 - Longitude:** Specify the longitude position in decimal degrees. For example, the longitude of the city of London is -0.1275.

Fonte: Acervo pessoal, 2018

Figura 10 - Gráfico da visualização

Channel Stats

Criada em: [4 minutes ago](#)

Updated: [4 minutes ago](#)

Last entry: [less than a minute ago](#)

Entries: 24

Field Chart

clima_

temperatura

Date

ThingSpeak.com

Date	temperatura
12:00	25
15:00	29
18:00	28
21:00	24
22. Jan	22
06:00	21

Fonte: Acervo pessoal, 2018

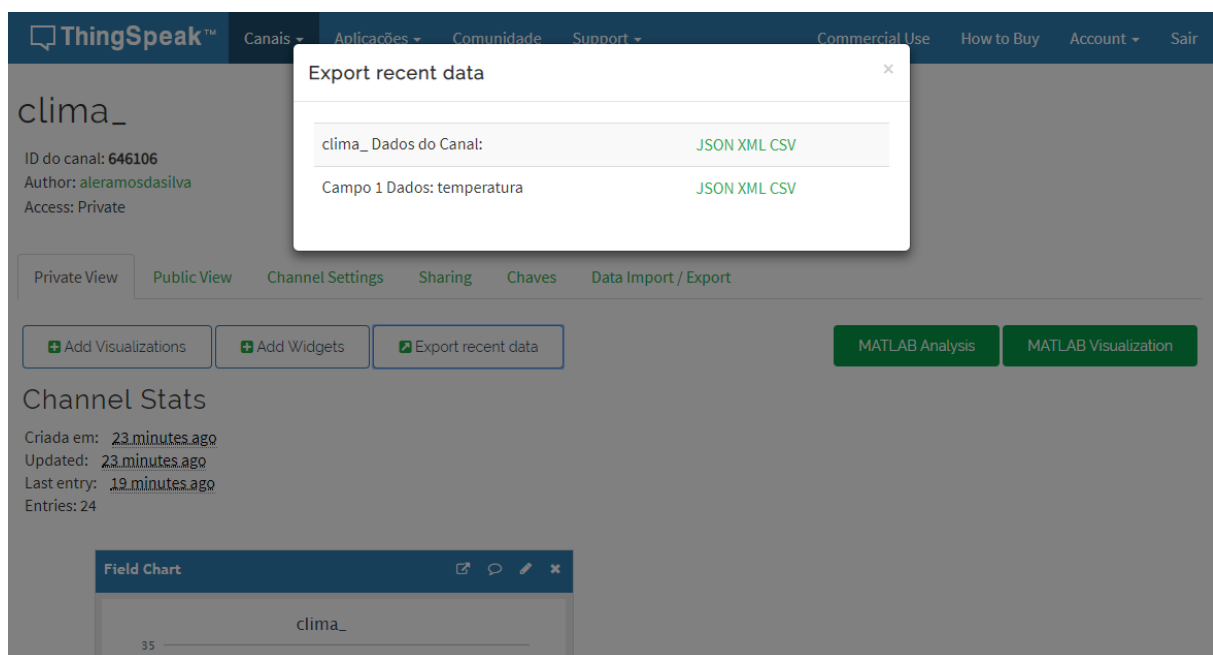
3.3 Exportação de dados

Através do *ThingSpeak* é possível a qualquer momento gerar uma exportação dos dados que foram enviados ao canal. O produto desta exportação é um arquivo que pode ser baixado nos formatos XML, JSON e CSV. Para este projeto foi utilizado o padrão CSV, especificado pela RFC. 4180.

CSV é um formato simples para representar uma matriz de valores numéricos e textuais. É um exemplo de formato de arquivo “plano”. É um formato de dados delimitado que tem campos ou colunas separadas pelo caractere vírgula e registros ou linhas separadas por caracteres de final de linha (CONGRESS, 2018, tradução nossa).

A Figura 11 mostra as opções que surgem ao clicar no botão “*Export recent data*” que serve para extrair os dados nos formatos mencionados a partir do *ThingSpeak*.

Figura 11 – Extração



Fonte: Acervo pessoal, 2018

3.4 Projeto de Software

A seguir, será explicado o código do programa, que está separado em listagens que contêm trechos com objetivos específicos. Dentro de cada listagem existem comentários descrevendo o que determinadas linhas fazem. Os comentários

são os textos em português que aparecem sempre após a sequência de caracteres //.

A Listagem 1 apresenta o código utilizado para definir o pino do sensor LM35 (linha 3). Nela também encontramos as definições de rede para utilização da *ethernet shield* (linhas 6 a 9). Após isto, são definidas as configurações para acesso do canal do *ThingSpeak* para o qual serão enviados os dados de temperatura lidos do ambiente (linhas 11 a 15).

As últimas linhas () definem algumas variáveis para controlar tempos de conexão (17 a 20). A linha 22 declara a variável que irá armazenar a temperatura lida do sensor, que será enviada para a internet.

Figura 12 – Listagem 01: Definições de rede para acesso ao *ThingSpeak*

```

1 #include <Ethernet.h>
2
3 #define LM35 A0 // pino digital do sensor
4
5 //Definiçõeses da Ethernet Shield
6 byte mac[] = { 0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED };
7 IPAddress ip(192,168,1,71); // Define o endereço IP
8 IPAddress gateway(192,168,1,1); // Define o gateway
9 IPAddress subnet(255, 255, 255, 0); // Define a máscara de rede
10
11 // Servidor ThingSpeak
12 char server[] = "api.thingspeak.com"; // Host para a API ThingSpeak
13 String api_key = "api_key=JIQ07OS24FBY8UNU"; // Chave de API do canal
14 const unsigned long updateInterval = 600000; // Intervalo para enviar os dados (ms)
15 EthernetClient client;
16
17 // Variáveis de uso geral
18 unsigned long lastConnectionTime = 0;
19 boolean lastConnected = false;
20 int resetCounter = 0;
21
22 float t; // Temperatura

```

Fonte: Acervo pessoal, 2018

A Listagem 2 contém o código que serve para inicialização da *shield ethernet* (linhas 29 a 32).

Figura 13 – Listagem 02: inicialização

```
22 float t; // Temperatura
23
24 void setup() {
25     Serial.begin(9600);
26     Serial.println("Estação Metereológica");
27
28     //Inicializa a interface de rede
29     if (Ethernet.begin(mac) == 0) {
30         Serial.println("Falha no uso do DHCP");
31         Ethernet.begin(mac, ip);
32     }
33 }
```

Fonte: Acervo pessoal, 2018

A Listagem 3 contém o controle principal do código. É o trecho de código que a placa Arduino fica repetindo. Entre as linhas 35 e 55 são feitas apenas checagens da conexão com a rede.

Entre as linhas 54 e 57 é o trecho onde as principais ações ocorrem. A linha 58 realiza um controle para que o código só seja executado com um certo intervalo de tempo.

Na linha 14 da Listagem 1, este intervalo foi definido em torno de 15 minutos. Desta forma, o dispositivo verifica a temperatura quatro vezes dentro do intervalo de uma hora.

A linha 59 invoca a rotina que irá realizar a leitura da temperatura e o envio dos dados para o *ThingSpeak*. Esta rotina será descrita em mais detalhes a seguir. A linha 61 guarda o instante da última conexão de rede para uso nos testes de rede mencionados anteriormente – mais precisamente o trecho entre as linhas 50 e 55.

Figura 14 – Listagem 03: laço principal do programa

```

35 void loop() {
36   delay(1);
37
38   if (isnan(t)) {
39     Serial.println("Falha ao ler do sensor!");
40     return;
41   }
42
43   // Imprime resposta no Serial Monitor
44   if (client.available()) {
45     char c = client.read();
46     Serial.print(c);
47   }
48
49   // Desconecta do ThingSpeak
50   if (!client.connected() && lastConnected) {
51     Serial.println();
52     Serial.println("...desconectado");
53     Serial.println();
54     client.stop();
55   }
56
57   // Envia dados para a Internet
58   if(!client.connected() && (millis() - lastConnectionTime > updateInterval))
59     updateThingSpeak();
60
61   lastConnected = client.connected();
62 }

```

Fonte: Acervo pessoal, 2018

Tratando-se de um projeto ligado à internet das coisas, a Listagem 4 contém o código que envia os dados do nosso dispositivo à internet. A linha 66 realiza a leitura do sensor LM35 para obter a temperatura ambiente atual. Nesta linha, a instrução *AnalogRead* faz a leitura dos dados do sensor. Porém, os dados obtidos não representam em graus a temperatura.

Os pinos analógicos sempre retornam valores inteiros entre 0 e 1023. O fabricante do sensor informa que deve ser usada uma fórmula matemática para converter este valor analógico em graus: $t = s * 5 / 1023 / 0,01$. Onde t é a temperatura que será obtida em graus e s é o valor lido do sensor.

A linha 70 abre conexão com o site *ThingSpeak*. Já as linhas 75 a 82 enviam uma solicitação HTTP⁴ GET que faz a postagem dos dados para o canal do *ThingSpeak*.

Figura 15 – Listagem 04: envio de dados para a Internet

```

64 void updateThingSpeak() {
65   // Lê a temperatura do sensor
66   t = (float(analogRead(LM35)) * 5 / (1023)) / 0.01;
67
68   Serial.println("Conectando ao servidor...");
69
70   if (client.connect(server, 80)) {
71     Serial.println("Enviando dados para nuvem...");
72     Serial.println();
73     Serial.print("t: "); Serial.print(t); // Exibe no Serial Monitor
74
75     client.print("GET /update?");
76     client.print(api_key);
77     client.print("&field1=");
78     client.print(t);
79     client.println(" HTTP/1.1");
80     client.println("Host: dweet.io");
81     client.println("Connection: close");
82     client.println();
83     Serial.println("Done!");
84
85     lastConnectionTime = millis();
86     resetCounter = 0;
87   } else {
88     Serial.println("Connection Failed."); Serial.println();
89     resetCounter++;
90
91     if (resetCounter >=5 ) { resetEthernetShield(); }
92
93     lastConnectionTime = millis();
94   }

```

Fonte: Acervo pessoal, 2018

O código da Listagem 5 serve para desconectar a placa de rede e reabrir sua conexão quando necessário.

⁴ O Protocolo de Transferência de Hipertexto (HTTP) é um protocolo de nível de aplicação baseado em requisição/resposta que usa uma semântica extensível e mensagens autodescritivas para comunicação flexível com sistemas de informação de hipertexto baseados em rede (IETF, 2014).

Figura 16 – Listagem 05: reinicialização da placa de rede

```

97 void resetEthernetShield()
98 {
99   Serial.println("Reiniciando Ethernet Shield.");
100  Serial.println();
101
102  client.stop();
103  delay(1000);
104
105  Ethernet.begin(mac, ip, gateway, subnet);
106  delay(1000);
107 }

```

Fonte: Acervo pessoal, 2018

3.5 Dados comparativos

O local definido para a coleta de dados foi a cidade de Barra Bonita. Nesta cidade localiza-se a residência do autor do trabalho e dispõe de uma estação meteorológica automática do INMET⁵ cujos dados são disponibilizados gratuitamente na internet e podem ser utilizados para validar a precisão⁶ das leituras do dispositivo.

Foi estabelecido um período de quarenta e oito horas contínuas para coleta de dados. Assim, no intervalo de uma em uma hora era obtida a temperatura do instante.

Apesar de o dispositivo construído realizar leituras a cada quinze minutos, para comparação foram selecionadas apenas as temperaturas das horas pontuais para terem os mesmos momentos de leitura da temperatura instantânea do INMET. A Figura 17 mostra os pontos onde estão distribuídas as estações automáticas do INMET no Brasil. Já a Figura 18 mostra de forma ampliada o ponto onde está instalada a estação automática da cidade de Barra Bonita, SP.

⁵ A missão do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), órgão do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, é prover informações meteorológicas à sociedade brasileira e influir construtivamente no processo de tomada de decisão, contribuindo para o desenvolvimento sustentável do País (INMET, 2018).

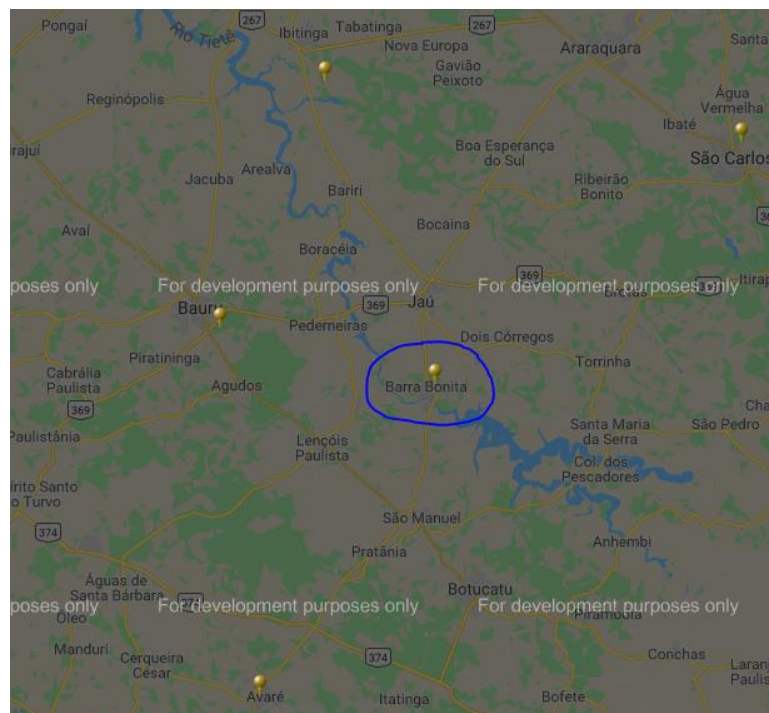
⁶ Precisão: "Exatidão rigorosa em cálculos e ciências." (Dicionário Michaelis). Para este projeto o nível de precisão será aferido de acordo com a diferença média entre os valores medidos pelo dispositivo desenvolvido e os dados da estação meteorológica do INMET. Quanto mais próxima de zero for a média, maior a precisão do dispositivo.

Figura 17 – Estações



Fonte: INMET, 2018

Figura 18 – Barra Bonita



Fonte: INMET, 2018

4 RESULTADOS E COMENTÁRIOS GERAIS

4.1 Justificativa

Objetos conectados recebem e transmitem dados via internet, especificando suas preferências e com possibilidade de controle remoto, sempre em tempo real (WEINBERG et al., 2015). A Internet das Coisas (IoT) é capaz de coletar e gerenciar dados de uma rede de sensores e dispositivos, processá-los e os compartilhá-los com outras redes conectadas, e seu domínio destes ambientes é visto como um elemento-chave para o futuro desta tecnologia (JACOBSSON, DAVIDSSON; 2015).

O uso progressivo de aplicativos e sistemas que auxiliam diferentes tarefas estão sempre interligados com os dados e informações disponibilizados pelo uso de cada tarefa e programação para o funcionamento dos sistemas (FAKHOURY et al., 2018).

Atualmente é possível obter dados meteorológicos de um determinado município através de serviços disponíveis na internet. Contudo, estes dados normalmente se referem a um ponto específico do território do município onde é feita esta medição. Como os municípios podem possuir grande território com relevo e vegetação diversificados, os dados climáticos obtidos desta forma centralizada podem ter distorções em relação ao clima exato em propriedades ou reservas distantes do ponto onde ocorre a medição.

Para uma medição exata pode ser recomendado à instalação de uma estação meteorológica no local específico onde se deseja monitorar o clima. Há no mercado estações meteorológicas já conceituadas, porém estas têm alto custo para aquisição e manutenção. Espera-se que o desenvolvimento deste trabalho traga contribuições importantes para um potencial produto que gere menos dependência das soluções importadas, pois privilegiará a tecnologia nacional.

Igualmente, é importante mencionar que havendo interesse de empresas em produzir em escala as estações, serão criados novos postos de trabalho, oferecendo assim muitos benefícios sociais para a área de inovação e tecnologia. Também pode surgir interesse de outros países em realizarem a importação deste produto, gerando mais pontos positivos para o Brasil na balança comercial. Em resumo, tanto o desenvolvimento tecnológico brasileiro quanto a sociedade têm possibilidades de

inúmeros pontos de ganho com as perspectivas que esta pesquisa objetiva apresentar.

Sabendo-se quais as características para a utilização efetivas em aplicações de IoT como os principais autores citados neste trabalho descrevem, inicia-se a proposta de utilização de um equipamento e uma linguagem específica que tem em sua flexibilidade e facilidade utilização potencial para tal.

4.2 Resultados obtidos

Conforme mencionado na metodologia, os testes foram realizados através da leitura e coleta de dados de temperatura na cidade de Barra Bonita, SP e comparados com os dados referentes ao mesmo período, fornecidos pelo INMET, coletados em sua estação meteorológica automática instalada no município.

O período de coleta de dados foi entre as 08:00h do dia 21/11/2018 e as 07:00h do dia 22/11/2018. Foram considerados para análise as temperaturas instantâneas coletadas em cada horário. Não foi realizada média entre diferentes momentos entre uma hora e outra.

Como a quantidade de eventos para análise é relativamente pequena, optou-se por trazer integralmente os dados nas tabelas a seguir ao invés de resumí-los em tabelas de frequências. Isto dá uma visão exata do que aconteceu em cada momento. Na Tabela 1 observam-se os dados aferidos pelo dispositivo e enviados para a internet, de onde puderam ser baixados. A Tabela 2 traz os dados fornecidos pelo INMET (2018).

Tabela 1 - Temperatura da cidade de Barra Bonita (SP) obtida pelo dispositivo construído

Data	Hora	Temperatura °c
21/11/2018	08:00	21,00
21/11/2018	09:00	22,50
21/11/2018	10:00	24,40
21/11/2018	11:00	25,40
21/11/2018	12:00	26,90
21/11/2018	13:00	28,40
21/11/2018	14:00	29,80
21/11/2018	15:00	29,80
21/11/2018	16:00	29,80

21/11/2018	17:00	28,80
21/11/2018	18:00	27,90
21/11/2018	19:00	26,90
21/11/2018	20:00	25,90
21/11/2018	21:00	24,90
21/11/2018	22:00	24,40
21/11/2018	23:00	24,00
22/11/2018	00:00	22,50
22/11/2018	01:00	22,50
22/11/2018	02:00	21,50
22/11/2018	03:00	21,50
22/11/2018	04:00	22,00
22/11/2018	05:00	21,00
22/11/2018	06:00	21,00
22/11/2018	07:00	21,50
22/11/2018	08:00	24,90
22/11/2018	09:00	25,90
22/11/2018	10:00	26,40
22/11/2018	11:00	27,40
22/11/2018	12:00	28,80
22/11/2018	13:00	29,80
22/11/2018	14:00	30,80
22/11/2018	15:00	29,80
22/11/2018	16:00	30,30
22/11/2018	17:00	30,80
22/11/2018	18:00	30,30
22/11/2018	19:00	29,80
22/11/2018	20:00	28,40
22/11/2018	21:00	27,40
22/11/2018	22:00	26,90
22/11/2018	23:00	26,40
23/11/2018	00:00	25,90
23/11/2018	01:00	24,90
23/11/2018	02:00	24,90
23/11/2018	03:00	24,40
23/11/2018	04:00	23,50
23/11/2018	05:00	23,50
23/11/2018	06:00	22,50
23/11/2018	07:00	23,00

Fonte: Acervo pessoal, 2018

Tabela 2 – Temperatura da cidade de Barra Bonita (SP)

Data	Data	Temperatura °c
21/11/2018	08:00	18,4
21/11/2018	09:00	19,7
21/11/2018	10:00	21,7
21/11/2018	11:00	23,5
21/11/2018	12:00	24,6
21/11/2018	13:00	25,7
21/11/2018	14:00	27,2
21/11/2018	15:00	27,9
21/11/2018	16:00	27,7
21/11/2018	17:00	26,8
21/11/2018	18:00	26,1
21/11/2018	19:00	25,3
21/11/2018	20:00	23,9
21/11/2018	21:00	22,8
21/11/2018	22:00	21,9
21/11/2018	23:00	21,4
21/11/2018	00:00	20,8
22/11/2018	01:00	20,2
22/11/2018	02:00	20,1
22/11/2018	03:00	19,8
22/11/2018	04:00	19,5
22/11/2018	05:00	19,4
22/11/2018	06:00	19,4
22/11/2018	07:00	19,6
22/11/2018	08:00	20,5
22/11/2018	09:00	23,2
22/11/2018	10:00	24,7
22/11/2018	11:00	25,2
22/11/2018	12:00	26,4
22/11/2018	13:00	27,5
22/11/2018	14:00	27,9
22/11/2018	15:00	27,6
22/11/2018	16:00	27,6
22/11/2018	17:00	28,7
22/11/2018	18:00	28,1
22/11/2018	19:00	27,2
22/11/2018	20:00	24,9
22/11/2018	21:00	24,9
22/11/2018	22:00	24,3
22/11/2018	23:00	23,5
22/11/2018	00:00	23,3
23/11/2018	01:00	23,1
23/11/2018	02:00	22,7

23/11/2018	03:00	21,9
23/11/2018	04:00	20,7
23/11/2018	05:00	20,6
23/11/2018	06:00	20,6
23/11/2018	07:00	21,2

Fonte: INMET, 2018

Ao calcular a diferença entre os dados do dispositivo e os dados do INMET, chega-se ao resultado listado na Tabela 3, que apresenta a diferença em cada um dos horários.

Tabela 3 – Diferença em Barra Bonita (SP) entre a temperatura aferida pelos dispositivos e a informada pelo INMET (2018)

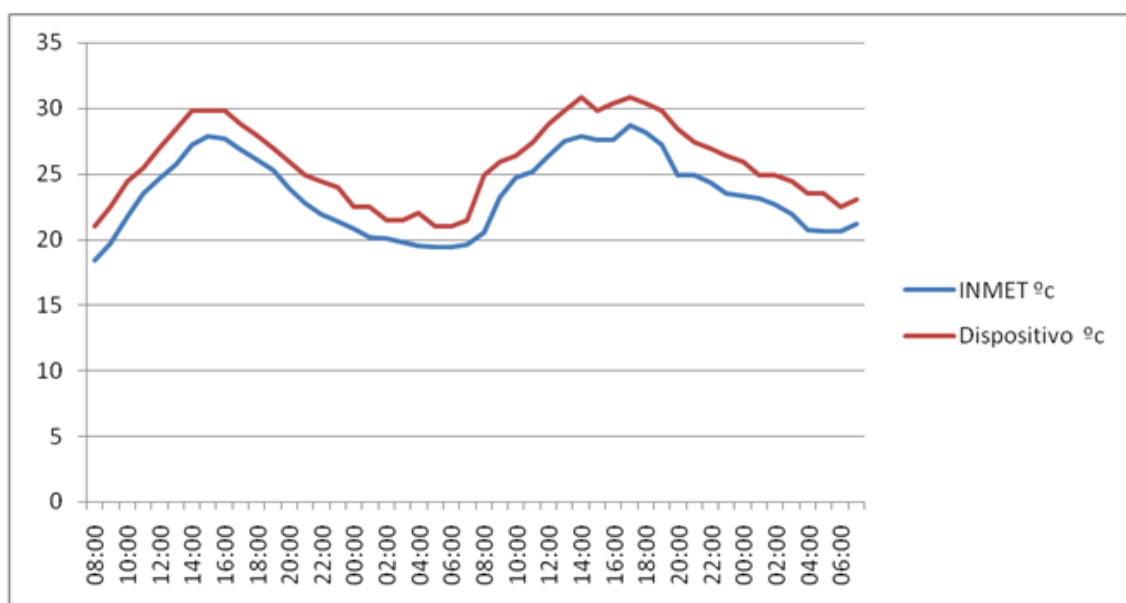
Data	Hora	Diferença °c
21/11/2018	08:00	2,60
21/11/2018	09:00	2,80
21/11/2018	10:00	2,70
21/11/2018	11:00	1,90
21/11/2018	12:00	2,30
21/11/2018	13:00	2,70
21/11/2018	14:00	2,60
21/11/2018	15:00	1,90
21/11/2018	16:00	2,10
21/11/2018	17:00	2,00
21/11/2018	18:00	1,80
21/11/2018	19:00	1,60
21/11/2018	20:00	2,00
21/11/2018	21:00	2,10
21/11/2018	22:00	2,50
21/11/2018	23:00	2,60
21/11/2018	00:00	1,70
22/11/2018	01:00	2,30
22/11/2018	02:00	1,40
22/11/2018	03:00	1,70
22/11/2018	04:00	2,50
22/11/2018	05:00	1,60
22/11/2018	06:00	1,60
22/11/2018	07:00	1,90
22/11/2018	08:00	4,40
22/11/2018	09:00	2,70
22/11/2018	10:00	1,70
22/11/2018	11:00	2,20

22/11/2018	12:00	2,40
22/11/2018	13:00	2,30
22/11/2018	14:00	2,90
22/11/2018	15:00	2,20
22/11/2018	16:00	2,70
22/11/2018	17:00	2,10
22/11/2018	18:00	2,20
22/11/2018	19:00	2,60
22/11/2018	20:00	3,50
22/11/2018	21:00	2,50
22/11/2018	22:00	2,60
22/11/2018	23:00	2,90
22/11/2018	00:00	2,60
23/11/2018	01:00	1,80
23/11/2018	02:00	2,20
23/11/2018	03:00	2,50
23/11/2018	04:00	2,80
23/11/2018	05:00	2,90
23/11/2018	06:00	1,90
23/11/2018	07:00	1,80

Fonte: Acervo pessoal, 2018

Em representação uma gráfica fica melhor a visualização da diferença encontrada. Isto pode ser observado no gráfico da Figura 19.

Figura 19 – Diferença encontrada



Fonte: Acervo pessoal, 2018

As linhas mostram que o sensor acompanhou as oscilações de temperatura de forma proporcional ao dado apontado pelo INMET. Contudo, ao observar a consolidação dos dados, pode-se constatar que em média o dispositivo apresentou uma temperatura 2,32°C superior à leitura da estação do INMET.

Quando se observa a temperatura máxima obtida, o número é excedente em 4,40°C a temperatura do INMET. O que ficou 89,65% acima da média das diferenças. Isto ocorreu às 08:00h do dia 22/11/2018.

Considerando que a diferença registrada no instante seguinte (9:00h) foi lida como 2,70°C (38,63% menor), surgiu uma suspeita de que a leitura que apresentou a maior diferença poderia ter sido influenciada por um fator atípico.

Ao observar o local de instalação do dispositivo, percebeu-se que apesar de ser um local coberto, ocorria por volta das 8:00h alguns minutos de incidência direta de luz solar sobre o dispositivo, o que pode ter gerado a distorção. Auxilia na avaliação da precisão da leitura transportar a diferença para o formato de pontos percentuais, representado na Tabela 4.

Tabela 4 – Diferença percentual entre a temperatura na cidade de Barra Bonita (SP) aferida pelo dispositivo e a temperatura informada pelo INMET (2018)

Data	Hora	Diferença %
21/11/2018	08:00	14,13%
21/11/2018	09:00	14,21%
21/11/2018	10:00	12,44%
21/11/2018	11:00	8,09%
21/11/2018	12:00	9,35%
21/11/2018	13:00	10,51%
21/11/2018	14:00	9,56%
21/11/2018	15:00	6,81%
21/11/2018	16:00	7,58%
21/11/2018	17:00	7,46%
21/11/2018	18:00	6,90%
21/11/2018	19:00	6,32%
21/11/2018	20:00	8,37%
21/11/2018	21:00	9,21%
21/11/2018	22:00	11,42%
21/11/2018	23:00	12,15%
21/11/2018	00:00	8,17%
22/11/2018	01:00	11,39%

22/11/2018	02:00	6,97%
22/11/2018	03:00	8,59%
22/11/2018	04:00	12,82%
22/11/2018	05:00	8,25%
22/11/2018	06:00	8,25%
22/11/2018	07:00	9,69%
22/11/2018	08:00	21,46%
22/11/2018	09:00	11,64%
22/11/2018	10:00	6,88%
22/11/2018	11:00	8,73%
22/11/2018	12:00	9,09%
22/11/2018	13:00	8,36%
22/11/2018	14:00	10,39%
22/11/2018	15:00	7,97%
22/11/2018	16:00	9,78%
22/11/2018	17:00	7,32%
22/11/2018	18:00	7,83%
22/11/2018	19:00	9,56%
22/11/2018	20:00	14,06%
22/11/2018	21:00	10,04%
22/11/2018	22:00	10,70%
22/11/2018	23:00	12,34%
22/11/2018	00:00	11,16%
23/11/2018	01:00	7,79%
23/11/2018	02:00	9,69%
23/11/2018	03:00	11,42%
23/11/2018	04:00	13,53%
23/11/2018	05:00	14,08%
23/11/2018	06:00	9,22%
23/11/2018	07:00	8,49%

Fonte: Acervo pessoal, 2018

Pode-se analisar que, em média, a temperatura coletada pelo dispositivo ficou 10% maior do que a temperatura oficial do INMET.

4.3 Outros resultados alcançados

Durante o curso de mestrado houve diversas publicações de artigos, em sua maior parte na forma de capítulos de livros. Como resultado direto do projeto de produto apresentado, foi produzido o artigo “Aplicações de IoT com Inteligência Artificial”, publicado como capítulo do livro “RELAÇÕES PÚBLICAS, IMAGEM E SOM E TECNOLOGIA” (SILVA et al, 2018).

Ainda em termos de publicações, houve a produção do livro “Internet das Coisas”, em conjunto com o professor Eduardo Morgado e seus outros orientandos, no qual foi possível trabalhar em coautoria de dois capítulos. Os capítulos produzidos foram “Arduino e Raspberry Pi” e “Bluetooth, Wireles, Zigbee”.

Além da estação meteorológica detalhada neste trabalho, também foi construído ao longo dos estudos um protótipo de sinal escolar, desenvolvido para artigo “IoT na prática: construindo um sistema de alarme escolar com Arduino” produzido na disciplina “Inovação em Tecnologias Emergentes”.

Durante o desenvolvimento do trabalho, também foi produzido um manual de instalação para o “Curso de Introdução à Linguagem Python”, ministrado em Jaú (SP), 2018.

Como difusão destes trabalhos, foi realizado o evento Lançamento do Livro: “Internet das Coisas”, Prof. Dr. Eduardo Martins Morgado em Bauru, 2018. Após este evento, surgiu a oportunidade de ministrar a palestra “Desvendando a Internet das Coisas” no evento “Semana de Tecnologia 2018 - SI e GTI” da Fatec Jaú.

Publicação de Livros e Capítulos

- MORGADO, E. M.; SILVA, A.R. Arduino e Raspberry Pi IN MORGADO, E. M. et al. Internet das Coisas: completa: teoria, prática e desafios. Recife: Cubzac, 2018.
- MORGADO, E. M.; SILVA, A.R. Bluetooth, Wireles, Zigbee IN MORGADO, E. M. et al. Internet das Coisas: completa: teoria, prática e desafios. Recife: Cubzac, 2018.
- CAMPANA, E. C.; CAMPANA, S. B. C.; MORGADO, E. M.; GALVANI, A. G.; SILVA, A. R. Ensino de Programação como Alternativa para Preparar as Novas Gerações para a Sociedade da Informação IN IRIGARAY, F.; RIBEIRO, R; GOSCIOLA, V.; GOBBI, M. C., SILVA, M. ARTES, AMBIENTES MIDIÁTICOS, EDUCAÇÃO E PLATAFORMAS. Rosario: UNR Editora, 2018.
- SILVA, A. R. ; CAMPANA, E. C.; MORGADO, E. M.; MARAR, J. F.; Aplicações de IoT com Inteligência Artificial IN IRIGARAY, F; ANDRELO, R.; GUALARDO, T.; MAGNONI, A. F.; ALBINO, J. RELAÇÕES PÚBLICAS, IMAGEM E SOM E TECNOLOGIA. Rosario: UNR Editora, 2018.

- SILVA; A. R.; MORGADO, E. M.; CAZALE, R. C. T.; MACHADO FILHO; F. Big Data: No Centro da Transformação Digital IN MORAES, E.; SILVA, L. M. P.; VICENTE, M. M. Caderno de Resumos da XX Jornada Multidisciplinar - 2018: “Comunicação, (des) ilusões e (des) afetos Sociais. Bauru: UNESP - FAAC, 2018.

- CAZALE, R. C. T.; MACHADO FILHO; F.; SILVA; A. R.; MORGADO, E. M.; Inteligência Artificial: O Futuro do Futuro IN MORAES, E.; SILVA, L. M. P.; VICENTE, M. M. Caderno de Resumos da XX Jornada Multidisciplinar - 2018: “Comunicação, (des) ilusões e (des) afetos Sociais. Bauru: UNESP - FAAC, 2018.

Responsável por cursos

- SILVA, A.. R. Curso: Introdução à Linguagem Python. Fatec Jahu, 7 de Abril de 2018.

- SILVA, A.. R. Curso: Introdução à Linguagem Python. Fatec Jahu, 14 de Abril de 2018.

4.4 Parceria Institucional

Houve uma parceria com a empresa UPPERCASE que flexibilizou os horários do autor, seu funcionário para frequentar as atividades do mestrado. Foram utilizados os dados do INMET, que por uma definição do governo são de livre acesso à população, o que pode ser considerado uma parceria com todo o público.

4.5 Dificuldades

Uma das primeiras dificuldades enfrentadas foi encontrar bibliografia em português sobre o tema “Internet das Coisas”. A maior parte do material disponível, especialmente aquele que trata do referencial teórico e programação, que permeiam as etapas de desenvolvimento do trabalho são livros e textos em inglês. Não houve grandes dificuldades para tradução. Mas é sempre importante ter referências na língua nativa.

Outra dificuldade foi na escolha de um sensor de temperatura adequado para o projeto. O sensor DHT11 para o qual havia maior quantidade de material disponível não possui capacidade para fazer leitura de faixas de temperatura abaixo de 0°C. Por isto foi escolhido o sensor LM35.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS

A especificação do sensor LM35 da Texas *Instruments* (*datasheet* em Anexo) é de que o sensor tem uma variação positiva ou negativa de apenas 0,5°C em relação à temperatura real.

Contudo, nos resultados obtidos, apurou-se uma diferença média de 2,32°C positivos na utilização do sensor. Em um primeiro olhar, a diferença poderia ter sido gerada por um defeito de fabricação no lote do sensor adquirido. Mas há de se considerar a possível ação de um microclima⁷.

Conclui-se que para uma validação mais completa do dispositivo seria necessário instalá-lo exatamente no mesmo local de uma estação meteorológica automática oficial. Desta forma seria eliminada a possibilidade de diferenças por microclima.

Devido ao prazo curto para desenvolvimento do mestrado, não foi possível realizar um novo teste no mesmo local de uma estação oficial, porque para esta instalação seria necessário firmar uma parceria que permitisse tal ação. E este acordo demandaria mais tempo.

Entre as melhorias que poderiam ser feitas, temos o uso de um modelo de sensor mais caro e possivelmente mais preciso. Também seria valoroso trocar a interface *ethernet* por um módulo WIFI, para utilizar internet sem fio.

Como o dispositivo não dispunha de um relógio interno, ele precisou ser ativado em uma hora pontual (08h00) para que as leituras ocorressem corretamente a cada uma hora. Isto poderia ser resolvido com um componente *Real Time Clock*, que informa ao dispositivo a hora atual sempre que consultado.

Por último, seria também interessante desenvolver um tipo de carenagem para proteger os circuitos do dispositivo e permitir sua fixação exposto à chuva sem risco de que este seja danificado.

Além da programação de cada componente destes requerer tempo, sua utilização também traria um aumento do custo para a pesquisa e para a produção do

⁷ Estação climática própria de uma zona, que difere do padrão climático total, geralmente por influências locais particulares. (Dicionário Michalis)

produto final, caso fosse comercializado. Quando se trata de custos, é importante frisar que o projeto não dispunha de bolsa para fomentação e foi realizado todo com financiamento do autor do trabalho e seu orientador.

Apesar de o dispositivo ter apresentado 10% de diferença em relação à sua precisão, ainda que este seja inviável para alguns casos, seu desenvolvimento gerou colaboração científica.

A partir deste trabalho, outros pesquisadores que venham a estudar sobre as características necessárias para um dispositivo de similar objetivo, poderão fazer uso desta referência de forma a realizar os testes no mesmo local da estação de referência para eliminar diferenças por microclima e medir com maior segurança sua precisão.

REFERÊNCIAS

- ALLDATASHEET. **LM35 Datasheet**, 2000. Disponível em: <<https://goo.gl/vqg8A5>>. Acesso em: Set. 2018.
- ASHTON, K. **Finep - Entrevista exclusiva com o criador do termo “Internet das Coisas”**, 2015. Disponível em <<https://goo.gl/RdxwXJ>>. Acesso em: Ago. 2018.
- CONGRESS IN CSV. **Comma Separated Values (RFC 4180)**, 2012. Disponível em: <<https://goo.gl/WNc1zc>>. Acesso em: Set. 2018.
- CULKIN, J.; HAGAN, E. **Make: Learn Electronics With Arduino**. San Francisco: Maker Media Inc., 2017.
- GAY, W. **Mastering The Raspberry**. Apress, 2014.
- ETHERNET. **Arduino Ethernet Shield Without POE Module**, 2018. Disponível em: <<https://goo.gl/tZj52L>>. Acesso em: Ago. 2018.
- FAKHOURY, R. S. et al. CIDADES INTELIGENTES: criação e auxílio de mobiliário urbano sustentável através de dispositivo. In: **Márcia Regina Vazzoler, Mariana Falcão Bormio. (Org.). Inovações disruptivas: novos modelos, impactos e implicações**. 1ed. Agudos: Editora Faag, v. 1, p. 162-175, 2018.
- GOUVEIA, P. R. N. T. Convergência de redes sem fios para Comunicação M2M e Internet das Coisas em Ambientes Inteligentes. **Universidade da Beira Interior**, 2013. Disponível em: <https://ubithesis.ubi.pt/bitstream/10400.6/1892/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Mestrado_Paulo_T_Gouveia.pdf>. Acesso em: Set 2017.
- IETF. **RFC 7230 – Hypertext Transfer Protocol (HTTP/1.1)**, 2014. Disponível em: <<https://goo.gl/pGUkY4>>. Acesso em: Out. 2018.
- INMET. **INMET - Sobre o INMET**, 2018. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acessado em: Jul. 2018.

JACOBSSON, A.; DAVIDSSON, P. Towards a model of privacy and security for smart homes. **Internet of Things (WF-IoT), 2015 IEEE 2nd World Forum on. IEEE**, p. 727-732, 2015.

MONK, S. **Programação com Arduino**: começando com sketches – série tekne. Bookman, 2013.

MORGADO, E. M. et al. **Internet das Coisas**: completa: teoria, prática e desafios. Recife: Cubzac, 2018.

O GLOBO. **Sofia é o primeiro robô do mundo a receber cidadania**, 2017. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/sociedade/tecnologia/sophia-o-primeiro-robo-do-mundo-receber-um-titulo-de-cidadania-21996085>>. Acesso em: Jul. 2018.

PILAU, F. G. et al. Temperatura basal, duração do ciclo e constante térmica para a cultura do crambe. **Bragantia**, v. 70, n. 4, p. 958-964, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87052011000400032&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: Set. 2018.

SANTAELLA, L. Mídias Locativas: A Internet Móvel de Pessoas e Coisas. **Revista FAMECOS**, p.96-102, 2008.

SHETH, A. Internet of Things to Smart IoT Through Semantic, Cognitive, and Perceptual Computing. **IEEE**, p.108-112, 2016.

SICARI, S. et al. Security, privacy and trust in Internet of Things: The road ahead. **Computer Networks**, v. 76, p. 146-164, 2015.

SPARKFUN. **Internet of Things Experiment Guide**, 2018. Disponível em: <<https://goo.gl/hK4QT5>>. Acesso em: Set. 2018.

SILVA, A. R.; CAMPANA, E. C.; MORGADO, E. M.; MARAR, J. F.; Aplicações de IoT com Inteligência Artificial. IN IRIGARAY, F; ANDRELO, R.; GUALARDO, T.; MAGNONI, A. F.; ALBINO, J. **RELAÇÕES PÚBLICAS, IMAGEM E SOM E TECNOLOGIA**. Rosario: UNR Editora, 2018.

STERLING, B. **Shaping Things**. Cambridge. Mass.: Mit Press, 2005.

TEXAS. TI.COM. **LM35 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ Temperature Sensor with Analog Output and 30V Capability**, 2018. Disponível em: <<http://www.ti.com/product/LM35>>. Acesso em: Jul. 2018.

UNO. **Arduino Uno Rev. 3.**, 2018. Disponível em: <<https://goo.gl/Kx42iy>>. Acesso em: Nov. 2018.

WEINBERG, B. D. et al. Internet of Things: Convenience vs. privacy and secrecy. **Business Horizons**, v. 58, n. 6, p. 615-624, 2015.

WEISER, M. The Computer for the 21st Century. **Scientific American**, p.96-102, 1991.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 - DataSheet LM35

LM35

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors
Literature Number:

TEXAS INSTRUMENTS

Literature Number: SNIS159B

LM35

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors



Literature Number: SNIS159B

LM35

Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

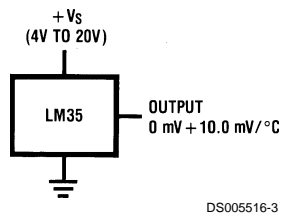
The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/4^\circ\text{C}$ at room temperature and $\pm 3/4^\circ\text{C}$ over a full -55 to $+150^\circ\text{C}$ temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only $60\ \mu\text{A}$ from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55° to $+150^\circ\text{C}$ temperature range, while the LM35C is rated for a -40° to $+110^\circ\text{C}$ range (-10° with improved accuracy). The LM35 series is available pack-

aged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

Features

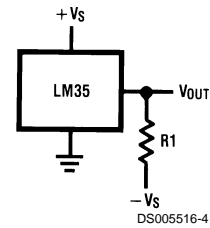
- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear + 10.0 mV/°C scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at +25°C)
- Rated for full -55° to $+150^\circ\text{C}$ range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than $60\ \mu\text{A}$ current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1/4^\circ\text{C}$ typical
- Low impedance output, $0.1\ \Omega$ for 1 mA load

Typical Applications



DS005516-3

FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor (+2°C to +150°C)



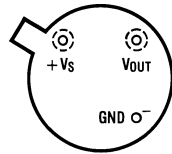
DS005516-4

Choose $R_1 = -V_S/50\ \mu\text{A}$
 $V_{\text{OUT}} = +1,500\ \text{mV}$ at $+150^\circ\text{C}$
 $= +250\ \text{mV}$ at $+25^\circ\text{C}$
 $= -550\ \text{mV}$ at -55°C

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

Connection Diagrams

**TO-46
Metal Can Package***

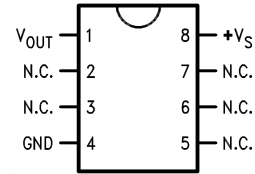


BOTTOM VIEW
DS005516-1

*Case is connected to negative pin (GND)

Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH, LM35CAH or LM35DH
See NS Package Number H03H

**SO-8
Small Outline Molded Package**

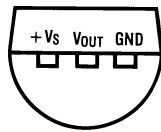


DS005516-21

N.C. = No Connection

Top View
Order Number LM35DM
See NS Package Number M08A

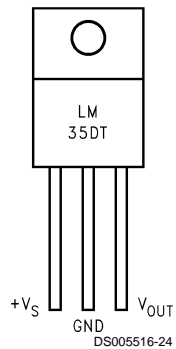
**TO-92
Plastic Package**



BOTTOM VIEW
DS005516-2

Order Number LM35CZ, LM35CAZ or LM35DZ
See NS Package Number Z03A

**TO-220
Plastic Package***



DS005516-24

*Tab is connected to the negative pin (GND).

Note: The LM35DT pinout is different than the discontinued LM35DP.

Order Number LM35DT
See NS Package Number TA03F

Absolute Maximum Ratings (Note 10)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	+35V to -0.2V
Output Voltage	+6V to -1.0V
Output Current	10 mA
Storage Temp.:	
TO-46 Package,	-60°C to +180°C
TO-92 Package,	-60°C to +150°C
SO-8 Package,	-65°C to +150°C
TO-220 Package,	-65°C to +150°C
Lead Temp.:	
TO-46 Package,	
(Soldering, 10 seconds)	300°C

TO-92 and TO-220 Package, (Soldering, 10 seconds)	260°C
SO Package (Note 12)	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
ESD Susceptibility (Note 11)	2500V
Specified Operating Temperature Range: T_{MIN} to T_{MAX} (Note 2)	
LM35, LM35A	-55°C to +150°C
LM35C, LM35CA	-40°C to +110°C
LM35D	0°C to +100°C

Electrical Characteristics

(Notes 1, 6)

Parameter	Conditions	LM35A			LM35CA			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.2	± 0.5		± 0.2	± 0.5		°C
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	± 0.3			± 0.3		± 1.0	°C
	$T_A = T_{MAX}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		°C
	$T_A = T_{MIN}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4		± 1.5	°C
Nonlinearity (Note 8)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.18		± 0.35	± 0.15		± 0.3	°C
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	+10.0	+9.9, +10.1		+10.0		+9.9, +10.1	mV/°C
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1$ mA	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		mV/mA
	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.5		± 3.0	± 0.5		± 3.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.01	± 0.05		± 0.01	± 0.05		mV/V
	$4V \leq V_S \leq 30V$	± 0.02		± 0.1	± 0.02		± 0.1	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5V, +25^\circ\text{C}$	56	67		56	67		μA
	$V_S = +5V$	105		131	91		114	μA
	$V_S = +30V, +25^\circ\text{C}$	56.2	68		56.2	68		μA
	$V_S = +30V$	105.5		133	91.5		116	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4V \leq V_S \leq 30V, +25^\circ\text{C}$	0.2	1.0		0.2	1.0		μA
	$4V \leq V_S \leq 30V$	0.5		2.0	0.5		2.0	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.5	+0.39		+0.5	μA/°C
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of <i>Figure 1</i> , $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	°C
Long Term Stability	$T_J = T_{MAX}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			°C

Electrical Characteristics

(Notes 1, 6)

Parameter	Conditions	LM35			LM35C, LM35D			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy, LM35, LM35C (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		$^\circ\text{C}$
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	± 0.5			± 0.5		± 1.5	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$	± 0.8	± 1.5		± 0.8		± 1.5	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$	± 0.8		± 1.5	± 0.8		± 2.0	$^\circ\text{C}$
Accuracy, LM35D (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$				± 0.6	± 1.5		$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MAX}}$				± 0.9		± 2.0	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{\text{MIN}}$				± 0.9		± 2.0	$^\circ\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.3		± 0.5	± 0.2		± 0.5	$^\circ\text{C}$
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	+10.0	+9.8, +10.2		+10.0		+9.8, +10.2	mV/ $^\circ\text{C}$
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1 \text{ mA}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 2.0		± 0.4	± 2.0		mV/mA
	$T_{\text{MIN}} \leq T_A \leq T_{\text{MAX}}$	± 0.5		± 5.0	± 0.5		± 5.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.01	± 0.1		± 0.01	± 0.1		mV/V
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	± 0.02		± 0.2	± 0.02		± 0.2	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56	80		56	80		μA
	$V_S = +5\text{V}$	105		158	91		138	μA
	$V_S = +30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56.2	82		56.2	82		μA
	$V_S = +30\text{V}$	105.5		161	91.5		141	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	0.2	2.0		0.2	2.0		μA
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	0.5		3.0	0.5		3.0	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+0.39		+0.7	+0.39		+0.7	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of <i>Figure 1</i> , $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	$^\circ\text{C}$
Long Term Stability	$T_J = T_{\text{MAX}}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			$^\circ\text{C}$

Note 1: Unless otherwise noted, these specifications apply: $-55^\circ\text{C} \leq T_J \leq +150^\circ\text{C}$ for the LM35 and LM35A; $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq +110^\circ\text{C}$ for the LM35C and LM35CA; and $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +100^\circ\text{C}$ for the LM35D. $V_S = +5\text{Vdc}$ and $I_{\text{LOAD}} = 50 \mu\text{A}$, in the circuit of *Figure 2*. These specifications also apply from $+2^\circ\text{C}$ to T_{MAX} in the circuit of *Figure 1*. Specifications in **boldface** apply over the full rated temperature range.

Note 2: Thermal resistance of the TO-46 package is $400^\circ\text{C}/\text{W}$, junction to ambient, and $24^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to case. Thermal resistance of the TO-92 package is $180^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to ambient. Thermal resistance of the small outline molded package is $220^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to ambient. Thermal resistance of the TO-220 package is $90^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to ambient. For additional thermal resistance information see table in the Applications section.

Note 3: Regulation is measured at constant junction temperature, using pulse testing with a low duty cycle. Changes in output due to heating effects can be computed by multiplying the internal dissipation by the thermal resistance.

Note 4: Tested Limits are guaranteed and 100% tested in production.

Note 5: Design Limits are guaranteed (but not 100% production tested) over the indicated temperature and supply voltage ranges. These limits are not used to calculate outgoing quality levels.

Note 6: Specifications in **boldface** apply over the full rated temperature range.

Note 7: Accuracy is defined as the error between the output voltage and $10\text{mV}/^\circ\text{C}$ times the device's case temperature, at specified conditions of voltage, current, and temperature (expressed in $^\circ\text{C}$).

Note 8: Nonlinearity is defined as the deviation of the output-voltage-versus-temperature curve from the best-fit straight line, over the device's rated temperature range.

Note 9: Quiescent current is defined in the circuit of *Figure 1*.

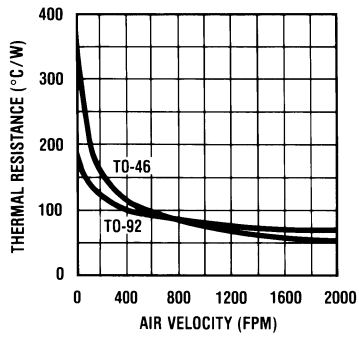
Note 10: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its rated operating conditions. See Note 1.

Note 11: Human body model, 100 pF discharged through a $1.5 \text{ k}\Omega$ resistor.

Note 12: See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" or the section titled "Surface Mount" found in a current National Semiconductor Linear Data Book for other methods of soldering surface mount devices.

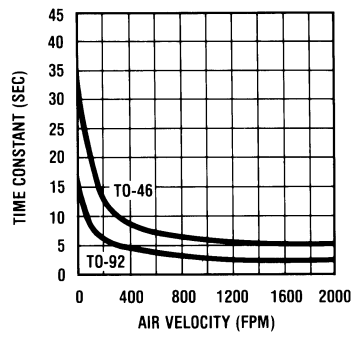
Typical Performance Characteristics

Thermal Resistance Junction to Air



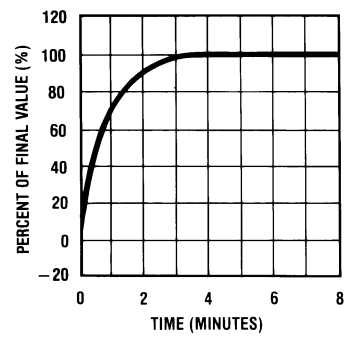
DS005516-25

Thermal Time Constant



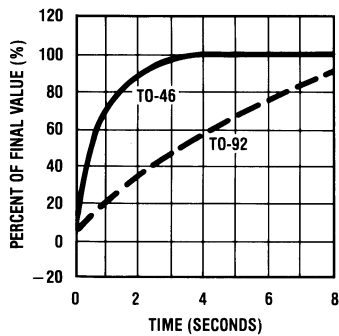
DS005516-26

Thermal Response in Still Air



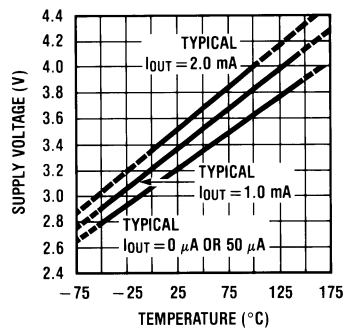
DS005516-27

Thermal Response in Stirred Oil Bath



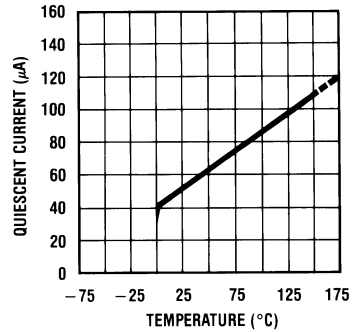
DS005516-28

Minimum Supply Voltage vs. Temperature



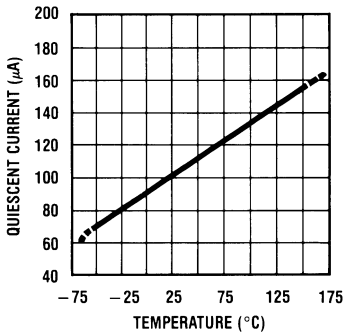
DS005516-29

Quiescent Current vs. Temperature (In Circuit of Figure 1.)



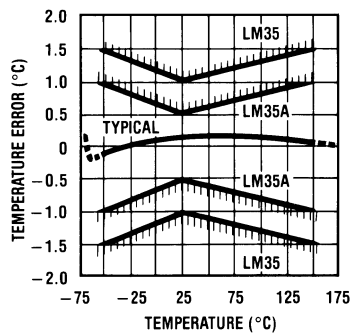
DS005516-30

Quiescent Current vs. Temperature (In Circuit of Figure 2.)



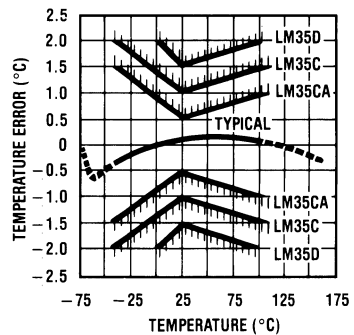
DS005516-31

Accuracy vs. Temperature (Guaranteed)



DS005516-32

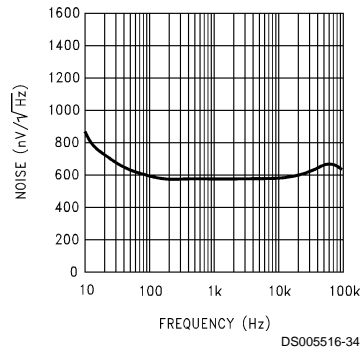
Accuracy vs. Temperature (Guaranteed)



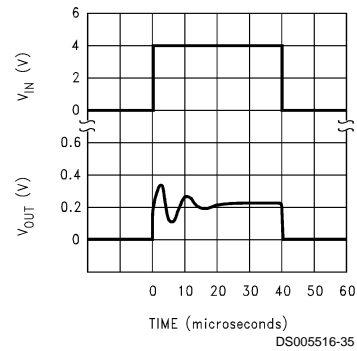
DS005516-33

Typical Performance Characteristics (Continued)

Noise Voltage



Start-Up Response



Applications

The LM35 can be applied easily in the same way as other integrated-circuit temperature sensors. It can be glued or cemented to a surface and its temperature will be within about 0.01°C of the surface temperature.

This presumes that the ambient air temperature is almost the same as the surface temperature; if the air temperature were much higher or lower than the surface temperature, the actual temperature of the LM35 die would be at an intermediate temperature between the surface temperature and the air temperature. This is especially true for the TO-92 plastic package, where the copper leads are the principal thermal path to carry heat into the device, so its temperature might be closer to the air temperature than to the surface temperature.

To minimize this problem, be sure that the wiring to the LM35, as it leaves the device, is held at the same temperature as the surface of interest. The easiest way to do this is to cover up these wires with a bead of epoxy which will insure that the leads and wires are all at the same temperature as the surface, and that the LM35 die's temperature will not be affected by the air temperature.

The TO-46 metal package can also be soldered to a metal surface or pipe without damage. Of course, in that case the V- terminal of the circuit will be grounded to that metal. Alternatively, the LM35 can be mounted inside a sealed-end metal tube, and can then be dipped into a bath or screwed into a threaded hole in a tank. As with any IC, the LM35 and accompanying wiring and circuits must be kept insulated and dry, to avoid leakage and corrosion. This is especially true if the circuit may operate at cold temperatures where condensation can occur. Printed-circuit coatings and varnishes such as Humiseal and epoxy paints or dips are often used to insure that moisture cannot corrode the LM35 or its connections.

These devices are sometimes soldered to a small light-weight heat fin, to decrease the thermal time constant and speed up the response in slowly-moving air. On the other hand, a small thermal mass may be added to the sensor, to give the steadiest reading despite small deviations in the air temperature.

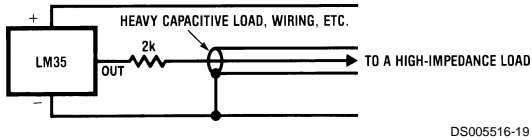
Temperature Rise of LM35 Due To Self-heating (Thermal Resistance, θ_{JA})

	TO-46, no heat sink	TO-46*, small heat fin	TO-92, no heat sink	TO-92**, small heat fin	SO-8 no heat sink	SO-8** small heat fin	TO-220 no heat sink
Still air	400°C/W	100°C/W	180°C/W	140°C/W	220°C/W	110°C/W	90°C/W
Moving air	100°C/W	40°C/W	90°C/W	70°C/W	105°C/W	90°C/W	26°C/W
Still oil	100°C/W	40°C/W	90°C/W	70°C/W			
Stirred oil	50°C/W	30°C/W	45°C/W	40°C/W			
(Clamped to metal, Infinite heat sink)		(24°C/W)				(55°C/W)	

*Wakefield type 201, or 1" disc of 0.020" sheet brass, soldered to case, or similar.

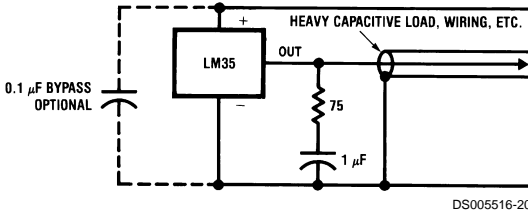
**TO-92 and SO-8 packages glued and leads soldered to 1" square of 1/16" printed circuit board with 2 oz. foil or similar.

Typical Applications



DS005516-19

FIGURE 3. LM35 with Decoupling from Capacitive Load



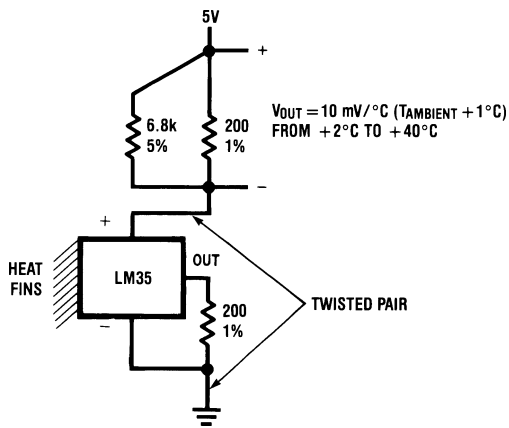
DS005516-20

FIGURE 4. LM35 with R-C Damper

CAPACITIVE LOADS

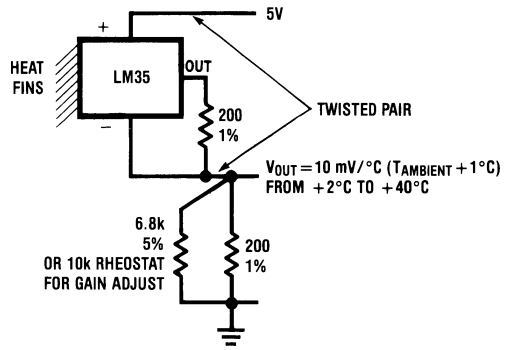
Like most micropower circuits, the LM35 has a limited ability to drive heavy capacitive loads. The LM35 by itself is able to drive 50 pF without special precautions. If heavier loads are anticipated, it is easy to isolate or decouple the load with a resistor; see Figure 3. Or you can improve the tolerance of capacitance with a series R-C damper from output to ground; see Figure 4.

When the LM35 is applied with a 200Ω load resistor as shown in Figure 5, Figure 6 or Figure 8 it is relatively immune to wiring capacitance because the capacitance forms a bypass from ground to input, not on the output. However, as with any linear circuit connected to wires in a hostile environment, its performance can be affected adversely by intense electromagnetic sources such as relays, radio transmitters, motors with arcing brushes, SCR transients, etc, as its wiring can act as a receiving antenna and its internal junctions can act as rectifiers. For best results in such cases, a bypass capacitor from V_{IN} to ground and a series R-C damper such as 75Ω in series with 0.2 or 1 μF from output to ground are often useful. These are shown in Figure 13, Figure 14, and Figure 16.



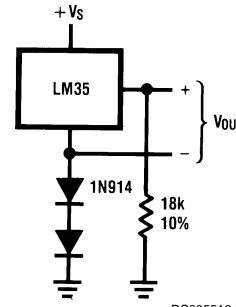
DS005516-5

FIGURE 5. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Grounded Sensor)



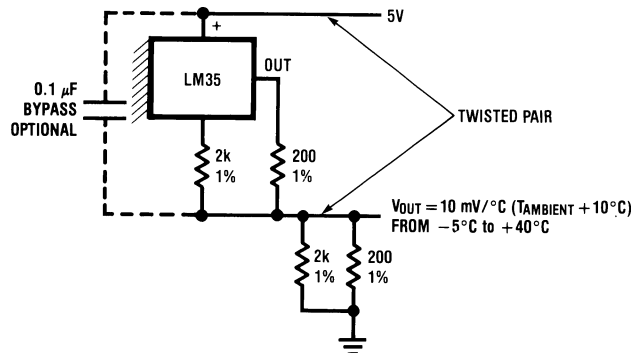
DS005516-6

FIGURE 6. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Output Referred to Ground)



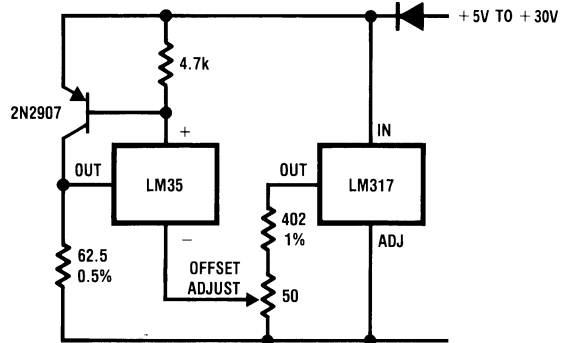
DS005516-7

FIGURE 7. Temperature Sensor, Single Supply, -55° to +150°C



DS005516-8

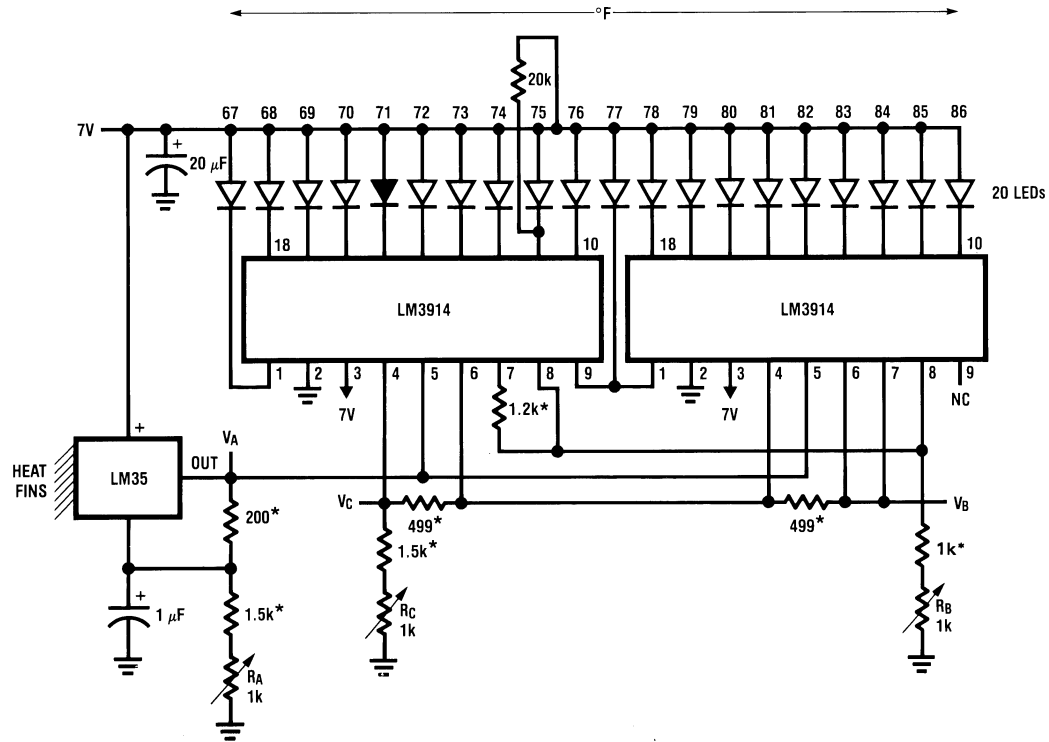
FIGURE 8. Two-Wire Remote Temperature Sensor (Output Referred to Ground)



DS005516-9

FIGURE 9. 4-To-20 mA Current Source (0°C to +100°C)

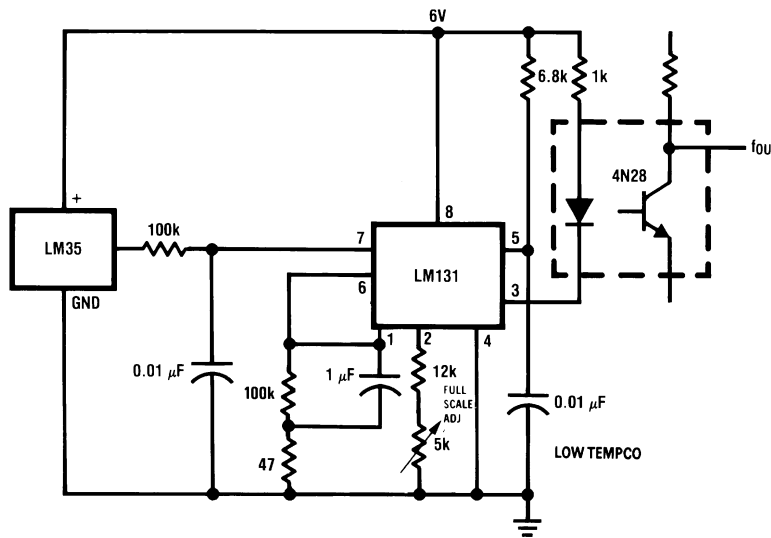
Typical Applications (Continued)



DS005516-16

*=1% or 2% film resistor
 Trim R_B for $V_B=3.075V$
 Trim R_C for $V_C=1.955V$
 Trim R_A for $V_A=0.075V + 100mV/°C \times T_{ambient}$
 Example, $V_A=2.275V$ at $22°C$

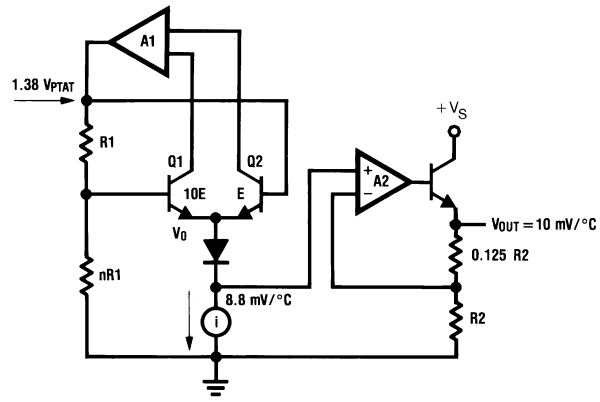
FIGURE 15. Bar-Graph Temperature Display (Dot Mode)



DS005516-15

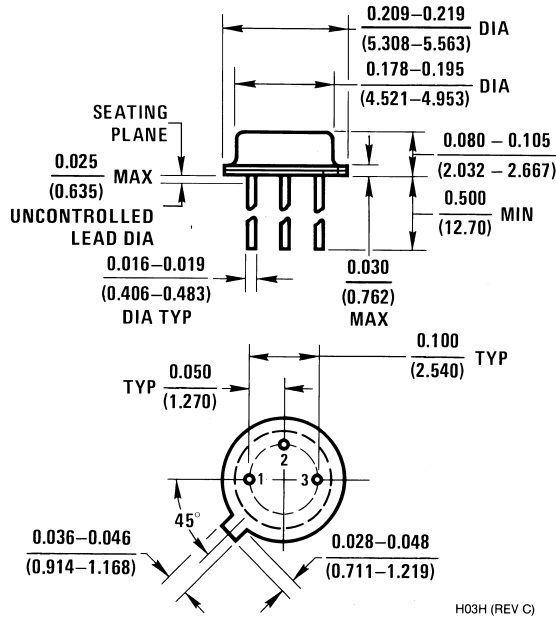
FIGURE 16. LM35 With Voltage-To-Frequency Converter And Isolated Output
 ($2°C$ to $+150°C$; 20 Hz to 1500 Hz)

Block Diagram



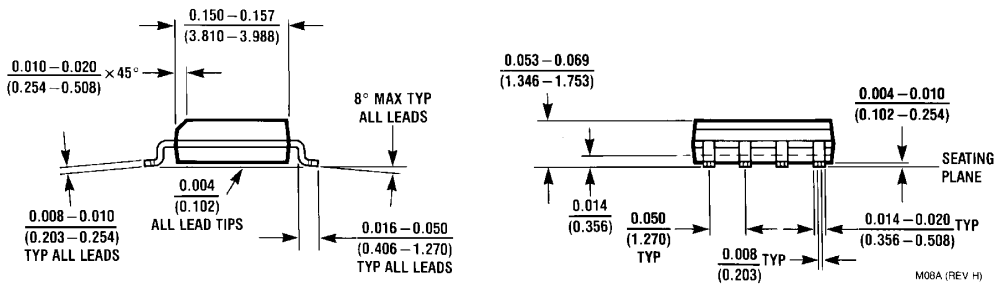
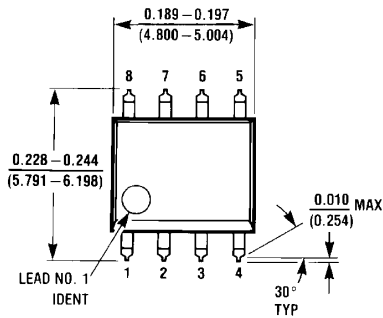
DS005516-23

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



H03H (REV C)

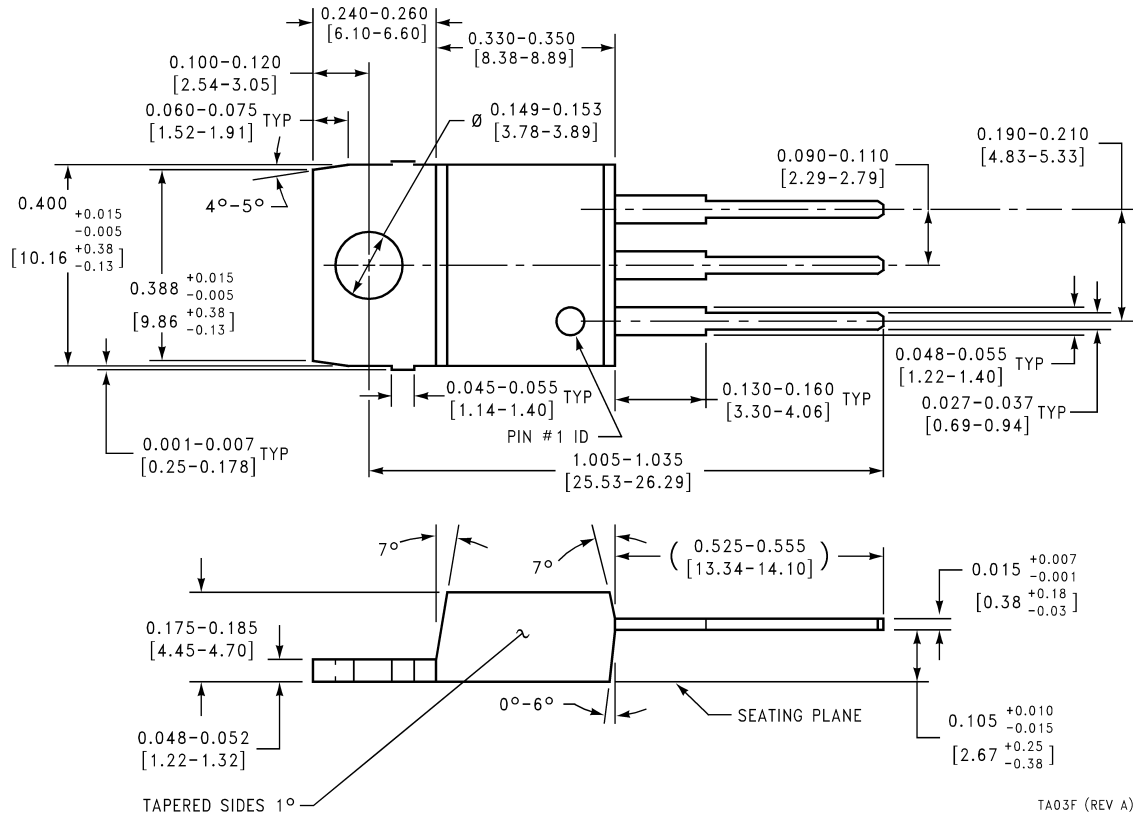
TO-46 Metal Can Package (H)
Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH,
LM35CAH, or LM35DH
NS Package Number H03H



M08A (REV H)

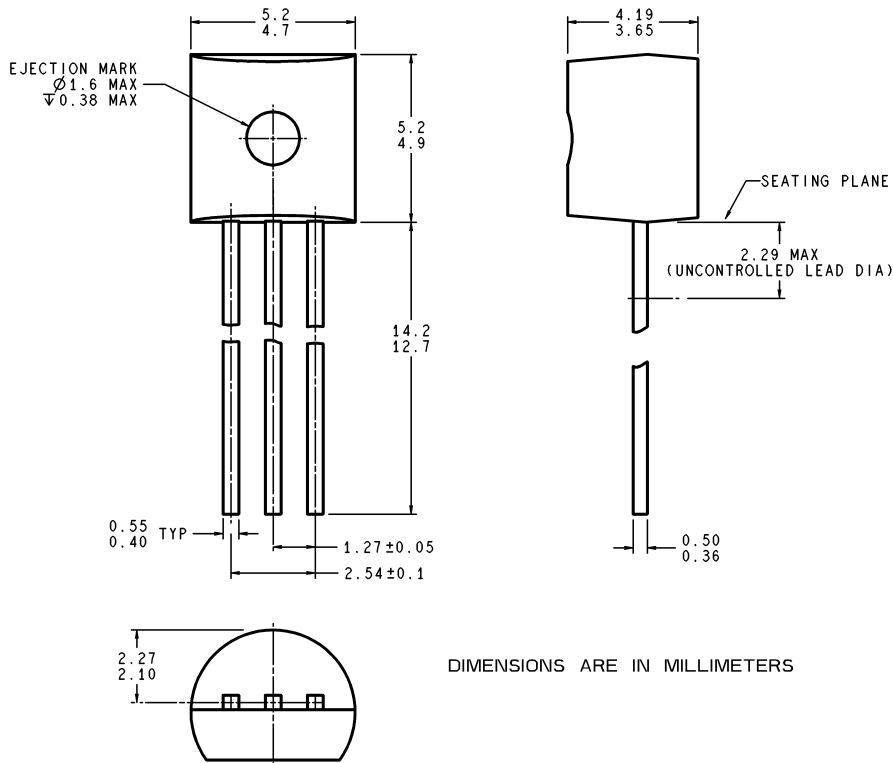
SO-8 Molded Small Outline Package (M)
Order Number LM35DM
NS Package Number M08A

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



Power Package TO-220 (T)
Order Number LM35DT
NS Package Number TA03F

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS

Z03A (Rev G)

TO-92 Plastic Package (Z)
Order Number LM35CZ, LM35CAZ or LM35DZ
NS Package Number Z03A

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.



National Semiconductor Corporation
Americas
Tel: 1-800-272-9959
Fax: 1-800-737-7018
Email: support@nsc.com
www.national.com

National Semiconductor Europe
Fax: +49 (0) 180-530 85 86
Email: europe.support@nsc.com
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group
Tel: 65-2544466
Fax: 65-2504466
Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-3-5639-7560
Fax: 81-3-5639-7507

IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, modifications, enhancements, improvements, and other changes to its products and services at any time and to discontinue any product or service without notice. Customers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All products are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its hardware products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by government requirements, testing of all parameters of each product is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. Customers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with customer products and applications, customers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any TI patent right, copyright, mask work right, or other TI intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license from TI to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of TI information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. Reproduction of this information with alteration is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for such altered documentation. Information of third parties may be subject to additional restrictions.

Resale of TI products or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that product or service voids all express and any implied warranties for the associated TI product or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

TI products are not authorized for use in safety-critical applications (such as life support) where a failure of the TI product would reasonably be expected to cause severe personal injury or death, unless officers of the parties have executed an agreement specifically governing such use. Buyers represent that they have all necessary expertise in the safety and regulatory ramifications of their applications, and acknowledge and agree that they are solely responsible for all legal, regulatory and safety-related requirements concerning their products and any use of TI products in such safety-critical applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by TI. Further, Buyers must fully indemnify TI and its representatives against any damages arising out of the use of TI products in such safety-critical applications.

TI products are neither designed nor intended for use in military/aerospace applications or environments unless the TI products are specifically designated by TI as military-grade or "enhanced plastic." Only products designated by TI as military-grade meet military specifications. Buyers acknowledge and agree that any such use of TI products which TI has not designated as military-grade is solely at the Buyer's risk, and that they are solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

TI products are neither designed nor intended for use in automotive applications or environments unless the specific TI products are designated by TI as compliant with ISO/TS 16949 requirements. Buyers acknowledge and agree that, if they use any non-designated products in automotive applications, TI will not be responsible for any failure to meet such requirements.

Following are URLs where you can obtain information on other Texas Instruments products and application solutions:

Products

Audio	www.ti.com/audio
Amplifiers	amplifier.ti.com
Data Converters	dataconverter.ti.com
DLP® Products	www.dlp.com
DSP	dsp.ti.com
Clocks and Timers	www.ti.com/clocks
Interface	interface.ti.com
Logic	logic.ti.com
Power Mgmt	power.ti.com
Microcontrollers	microcontroller.ti.com
RFID	www.ti-rfid.com
OMAP Mobile Processors	www.ti.com/omap
Wireless Connectivity	www.ti.com/wirelessconnectivity

Applications

Communications and Telecom	www.ti.com/communications
Computers and Peripherals	www.ti.com/computers
Consumer Electronics	www.ti.com/consumer-apps
Energy and Lighting	www.ti.com/energy
Industrial	www.ti.com/industrial
Medical	www.ti.com/medical
Security	www.ti.com/security
Space, Avionics and Defense	www.ti.com/space-avionics-defense
Transportation and Automotive	www.ti.com/automotive
Video and Imaging	www.ti.com/video

TI E2E Community Home Page

e2e.ti.com

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2011, Texas Instruments Incorporated