



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

FACULDADE DE ENGENHARIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**PLATAFORMA BASEADA EM SENSORES SEM FIO PARA O  
MONITORAMENTO DE PARÂMETROS METEOROLÓGICOS**

**MAURÍCIO SOARES ORTIZ**

**DISSERTAÇÃO PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE  
EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**Porto Alegre**

**2013**



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul

FACULDADE DE ENGENHARIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

# **PLATAFORMA BASEADA EM SENSORES SEM FIO PARA O MONITORAMENTO DE PARÂMETROS METEOROLÓGICOS**

**MAURÍCIO SOARES ORTIZ**

ORIENTADOR: PROF. Dr. FABIAN LUIS VARGAS

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Engenharia Elétrica, da Faculdade de Engenharia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, como requisito para à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

**Porto Alegre  
2013**

Dedico esta obra a todos que prestaram o suporte emocional necessário e compreenderam minha ausência durante sua elaboração, em especial a meus pais, minha esposa e minha filha Izabella.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por ter saúde por meio de condições físicas e mentais para concluir a obra em questão.

Ao governo brasileiro e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela confiança e o apoio financeiro à pesquisa.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Fabian Luis Vargas pelo incentivo, suporte técnico e por confiar em meu trabalho enquanto pesquisador, sem os quais a realização desta obra não seria possível.

A todos professores e colegas do PPGE da PUCRS pela contribuição em minha formação acadêmica, em especial aos professores do Laboratório de Excelência em Eletrônica, Automação e Sistemas Embarcados de Alta Confiabilidade (EASE).

Aos meus colegas do SiSC e atual EASE Christofer Caetano de Oliveira e ao Me. Arthur Denicol Ceratti pelo auxílio no fastidioso trabalho desenvolvido para a obtenção do resultado aqui exposto.

Ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Campus Rio Grande, por proporcionar condições para a realização de aperfeiçoamento e qualificação profissional para seus docentes.

Aos colegas e pesquisadores do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Campus Rio Grande, que dedicaram inúmeros momentos para auxílio nesta caminhada. Principalmente ao colega Prof. Jean Marcel de Almeida Espinoza por inúmeras horas destinadas de sua rotina para acompanhamento e ajuda nesta caminhada.

Aos meus pais, Gilda Helena Soares Ortiz e Ariovaldo Pereira Ortiz, por suas contribuições e por desempenharem o papel de meus primeiros educadores.

A minha esposa, Médelyn Pácola Silveira da Costa Ortiz, por todo apoio, amor e carinho. E a minha filha Izabella que, mesmo sendo pequenina, sentiu a ausência de seu pai no início de sua caminhada.

*“Você pode adiar, mas o  
tempo não posterga.”*

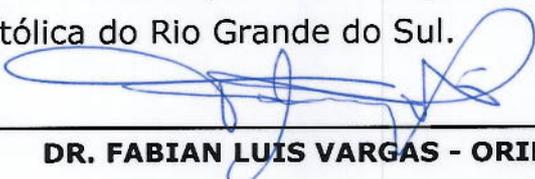
*Benjamin Franklin*



## PLATAFORMA BASEADA EM SENSORES SEM FIO PARA O MONITORAMENTO DE PARÂMETROS METEOROLÓGICOS

**CANDIDATO: MAURÍCIO SOARES ORTIZ**

Esta Dissertação de Mestrado foi julgada para obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

  
\_\_\_\_\_  
**DR. FABIAN LUIS VARGAS - ORIENTADOR**

### BANCA EXAMINADORA

  
\_\_\_\_\_  
**DR. CÉSAR AUGUSTO MISSIO MARCON - FACIN - FACULDADE DE INFORMÁTICA -  
PUCRS**

  
\_\_\_\_\_  
**DRA. LETÍCIA MARIA BOLZANI POEHLS - PPGE - FENG - PUCRS**

## RESUMO

ORTIZ, Maurício S.. **Plataforma baseada em sensores sem fio para o monitoramento de parâmetros meteorológicos**. Porto Alegre. 2013. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL.

A tecnologia de redes de sensores sem fio (RSSFs) está presente atualmente em diversas aplicações, desde simples sistemas como automatizações residenciais até complexas implementações como, por exemplo, usinas nucleares. As redes destinadas a trabalharem com sensores são denominadas de redes de sensores sem fio como o caso do trabalho em questão que utiliza dados analógicos e meteorológicos. O trabalho proposto teve como objetivo o desenvolvimento de um sistema que realiza a aquisição e o armazenamento de dados de grandezas meteorológico-climáticos utilizando uma rede de sensores sem fio de plataforma aberta. O objetivo principal deste sistema de monitoramento é a busca da eficiência energética (isto é, o melhor desempenho possível com baixo consumo de energia) e o reduzido custo de aquisição, montagem e manutenção do sistema em campo. Para tanto, o módulo nRF24 é apresentado conceitualmente, focando na forma de comunicação entre os módulos, onde um único dispositivo nRF24 assume a função de receptor e transmissor. Este sistema foi desenvolvido para aplicação na Criosfera, por ser este um ambiente que apresenta características peculiares como baixa temperatura, vistas sem obstáculos e de difícil acesso para manutenção/coleta dos dados monitorados. Os resultados práticos medidos em laboratório são comparados aos de uma estação meteorológica comercial padrão, a qual serve como referência para validar o sistema proposto.

Palavras-Chaves: sensoriamento remoto, rede de sensores sem fio, estação meteorológica, módulo nRF24.

## ABSTRACT

ORTIZ, Maurício. **Platform based on wireless sensor for monitoring of meteorological parameters.** Porto Alegre. 2013. Dissertation. Post-Graduation Program in Electric Engineering, PONTIFICAL CATHOLIC UNIVERSITY OF RIO GRANDE DO SUL.

Wireless technology is present nowadays in several applications from simple systems as residential automations to complex implementations such as nuclear plants. Networks intended to work with wireless sensors are denominated wireless network sensors as in the case of this work, which uses analog and meteorological data. With the proposal of efficiency with low energy consumption, this work presents the development of a system which accomplishes the acquisition and storage of data collected from a meteorological station using a wireless sensors network open platform. The main objective of this monitoring system is the pursuit of energy efficiency (ie, the best possible performance with low power consumption) and the reduced cost of acquisition, installation and maintenance of the system in the field. With this purposed,, the module nRF24L is conceptually presented, focusing on the communication protocol among modules, where the same device performs the function of receiver and transmitter. This system was developed for application on the Cryosphere, because this is an environment that offers unique features such as low temperature, unobstructed views and difficult to access for maintainability / collection of monitored data. Practical results measured in laboratory are compared to a standard commercial weather station, which serves as a benchmark to validate the proposed system.

Key-words: remote sensing, wireless sensor network, meteorological station, module nRF24.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Geleira <i>Union</i> .....	15
Figura 2 - Classificação da Meteorologia Moderna.....	22
Figura 3 - Exemplo de Estação Meteorológica.....	24
Figura 4 - Estação Campbell.....	26
Figura 5 - Topologia em Estrela.....	33
Figura 6 - Topologia em Malha.....	34
Figura 7 - Topologia em Árvore.....	34
Figura 8 - Unidade de um Nó Sensor.....	36
Figura 9 - Componentes de um Nó Sensor.....	37
Figura 10 - Classificação da Rede <i>Wireless</i> .....	38
Figura 11 - Comparação das Principais Tecnologias <i>Wireless</i> .....	39
Figura 12 - Metodologia Proposta.....	43
Figura 13 - Estrutura da Rede de Aquisição de Parâmetros Meteorológicos Proposta.....	44
Figura 14 - Plataforma Concentradora.....	45
Figura 15 - Plataforma Cliente (nó sensor).....	46
Figura 16 - Fluxo de Informação da Plataforma Concentradora.....	47
Figura 17 - Fluxo de Funcionamento da Plataforma Cliente.....	48
Figura 18 - Módulo nRF24L.....	49
Figura 19 - Módulo nRF24L em Rede de Emissão e Recepção.....	51
Figura 20 - Arduíno UNO.....	54
Figura 21 - Arduino PRO Mini.....	58

Figura 22 - Sensor LDR. ....	59
Figura 23 - Montagem do LDR com o Arduino PRO. ....	60
Figura 24 - Sensor de Temperatura DS18B20. ....	61
Figura 25 - Sensor de Temperatura e Umidade Relativa. ....	62
Figura 26 - Modelo Genérico de uma Bateria Fornecendo Energia para uma Máquina Genérica. ....	67
Figura 27 - Percentual de Perda de Pacotes. ....	71
Figura 28 - Processo de Descarga da Bateria Concentradora. ....	72
Figura 29 - Processo de Descarga da Bateria Cliente ....	72
Figura 30 - Resposta Sensor de Luminosidade ....	77
Figura 31 - Resposta Sensor de Temperatura ....	78
Figura 32 - Resposta Sensor de Umidade. ....	79
Figura 33 - Variáveis Sensoriadas vs Tempo. ....	80

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Custos de Implementação da Plataforma Concentradora.....	73
Tabela 2 - Custos de Implementação do Nó Sensor LDR.....	74
Tabela 3 - Custo de Implementação do Nó Sensor Umidade. ....	74
Tabela 4 - Custo de Implementação do Nó Sensor Temperatura. ....	74
Tabela 5 - Custo Total do Protótipo.....	75

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Sensores de uma Estação Meteorológica.....	24
Quadro 2 - Comparação de Tecnologias <i>Wireless</i> .....	40
Quadro 3 - Modos de Configuração do nRF24L.....	50
Quadro 4 - Instruções para o nRF24L + SPI.....	50
Quadro 5 – Dados Técnicos do Arduino PRO Mini .....	58
Quadro 6 - Características do Sensor DHT11.....	63
Quadro 7 – Distância Máxima de Operação.....	70
Quadro 8 - Consumo de Energia: Concentradora e Cliente.....	71
Quadro 9 - Correlação Protótipo vs AWS Comercial.....	81

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2. JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1. Justificativa.....</b>	<b>16</b>
<b>2.2. Objetivos .....</b>	<b>17</b>
2.2.1. Objetivo Geral .....	18
2.2.2. Objetivos Específicos.....	18
<b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>19</b>
<b>3.1. A previsão do tempo .....</b>	<b>19</b>
<b>3.2. Meteorologia e o uso de sensores.....</b>	<b>20</b>
3.2.1. Aquisição orbital de dados meteorológicos.....	22
3.2.2. Aquisição de dados meteorológicos de campo.....	23
3.2.2.1. Estação Meteorológica Comercial AWS – Campbell .....	25
<b>3.3. Rede de Sensores Sem Fios (RSSF).....</b>	<b>28</b>
3.3.1. Aplicações de redes de sensores sem fios .....	29
3.3.2. Características das RSSFs .....	30
3.3.2.1. Tolerância a falhas.....	31
3.3.2.2. Escalabilidade .....	31
3.3.2.3. Custo de produção.....	31
3.3.2.4. Ambiente de operação.....	32
3.3.2.5. Topologia da rede .....	32
3.3.2.6. Restrições de hardware .....	35
3.3.2.7. Meio de transmissão .....	35
3.3.2.8. Consumo de energia.....	35
3.3.3. Principais componentes de uma RSSF.....	36
3.3.4. Comparação das principais tecnologias sem fio .....	37
3.3.5. Análise comparativa entre as principais tecnologias sem fio .....	40
<b>4. REDE DE SENSORES SEM FIO PROPOSTA.....</b>	<b>42</b>
<b>4.1. Especificação do Modelo do Sistema Proposto .....</b>	<b>42</b>
4.1.1. Plataforma Concentradora .....	44
4.1.2. Plataforma Cliente (nó sensor) .....	45
4.1.3. Configurações de Funcionamento .....	46

<b>4.2. Implementação do Sistema Embarcado</b> .....	<b>48</b>
4.2.1. Módulo <i>Wireless</i> nRF24L.....	48
4.2.1.1. Transmissão de dados nRF24L.....	52
4.2.1.2. Recepção de dados nRF24L.....	53
4.2.2. Plataforma Concentradora.....	53
4.2.2.1. Microcontrolador.....	54
4.2.2.2. Armazenamento de Dados.....	55
4.2.2.3. Comunicação <i>Wireless</i> .....	55
4.2.2.4. Alimentação.....	55
4.2.2.5. Relógio de Tempo Real.....	56
4.2.3. Plataforma Cliente (nó sensor).....	57
4.2.3.1. Comunicação <i>Wireless</i> , RTC e Alimentação.....	57
4.2.3.2. Microcontrolador.....	57
4.2.3.3. Medição de Luminosidade.....	59
4.2.3.4. Medição de Temperatura.....	60
4.2.3.5. Medição de Umidade.....	61
<b>5. VALIDAÇÃO</b> .....	<b>64</b>
<b>5.1. Métricas de Avaliação</b> .....	<b>64</b>
5.1.1. Avaliação da confiabilidade quanto à distância máxima de operação.....	65
5.1.2. Avaliação da confiabilidade quanto à perda de pacotes.....	65
5.1.3. Consumo de energia e autonomia do sistema proposto.....	66
5.1.4. Custo de implementação.....	68
<b>5.2. Estudo de Caso</b> .....	<b>69</b>
5.2.1. Distância de conexão entre emissor e receptor de sinal.....	69
5.2.2. Perdas de pacote.....	70
5.2.3. Consumo e Autonomia de Energia das Plataformas.....	71
5.2.4. Custos de implementação do protótipo.....	73
5.2.5. Análise Paramétrica: Protótipo vs Plataforma Comercial AWS.....	75
5.2.6. Conclusões do capítulo.....	81
<b>6. CONCLUSÕES</b> .....	<b>83</b>
<b>7. PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>85</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>86</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>91</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O monitoramento contínuo do clima e da meteorologia tem exibido medidas irrefutáveis de mudanças climáticas atuais (IPCC, 2013). Neste contexto, a Antártica tem mostrado evidências de constituir-se como uma região de ocorrência de alterações substanciais no clima e em sua dinâmica glacial (TURNER et al., 2005). No entanto, mensurar com rigor a intensidade destas alterações climático-meteorológicas constitui-se em um problema complexo, haja visto a reduzida fonte de dados meteorológicos e o elevado custo de aquisição destes. Como forma de contornar esse impasse, surge a possibilidade de utilização de fontes de dados alternativos, baseadas em redes de sensores construídas em plataforma livre, de baixo custo de instalação e operação.

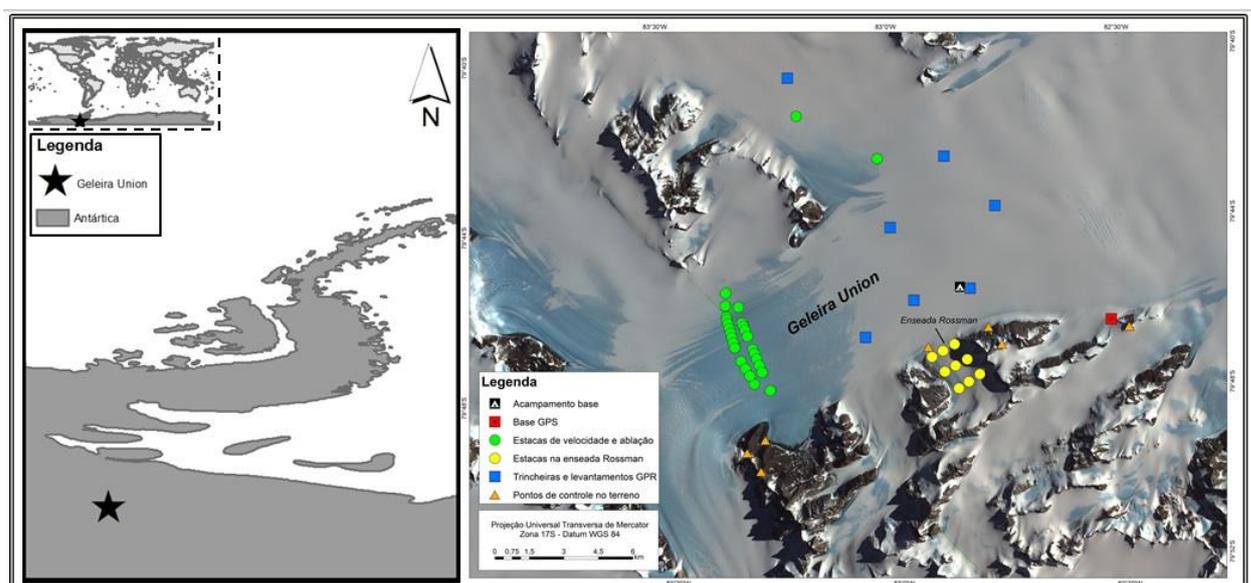
Esses sensores, se construídos apropriadamente, permitem obter variáveis climático-temporais com pequeno custo de instalação e operação, permitindo ampliar a rede de coleta de dados. Com isto, comparando o custo de sensores meteorológicos convencionais com os sensores utilizados em aplicações de plataforma livre, a um mesmo custo, obtém-se uma rede muito mais densa de sensores e variáveis coletadas ao optar-se por sensores de plataforma livre.

Segundo Shepherd et al., (2012) a região oeste da Antártica exhibe consideráveis valores de perda de massa, indicando uma maior susceptibilidade desta região. Estas variáveis podem estar associadas às alterações no regime termodinâmico local, o que poderá ser evidenciado com a coleta sistemática de dados meteorológicos locais. Desta forma, intensificar a coleta de dados meteorológicos de campo, obtendo valores densamente especializados e numericamente confiáveis, irá contribuir para a compreensão das massas de gelo antárticas bem como para o melhor entendimento das relações entre o clima global e esta região.

Este trabalho busca o desenvolvimento de uma rede de sensores baseados em uma plataforma livre (*open source*), são sistemas de hardware e software que apresentam código “livre” e “aberto” possibilitando assim modificações no sistema, com a finalidade de mensurar as principais variáveis meteorológicas de interesse (umidade, radiação e temperatura). Estes sensores serão devidamente analisados através da comparação temporal do conjunto de dados obtidos por estes com dados obtidos por sensores profissionais calibrados. Espera-se com este trabalho validar o desenvolvimento e o uso de sensores baseados em plataforma livre para o monitoramento de variáveis meteorológicas. Com isto, pretende-se demonstrar a viabilidade técnica e econômica de se basear a coleta, armazenamento e manipulação de dados meteorológicos através de uma plataforma livre, de baixo custo e alta confiabilidade.

O presente trabalho tem como área de estudo a Geleira *Union* (Figura 1), localizada na porção ocidental da Antártica, mais precisamente  $79^{\circ}46'S$  e  $82^{\circ}50'W$ . (GUDMUNDSSON; JENKINS, 2009). A escolha da área firma-se em dois alicerces: as variáveis climáticas evidenciadas na literatura (SHEPHERD et al., 2012)(GUDMUNDSSON; JENKINS, 2009) e o fato de que a área já possui uma estação meteorológica de campo profissional instalada, devidamente aferida e calibrada, o que permite a comparação e validação da plataforma proposta com um padrão reconhecido atualmente como o de referência.

Figura 1 - Geleira *Union*.



Fonte: LaCrio, (2013).

## 2. JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS

Neste capítulo da dissertação estão presentes a justificativa que embasa o estudo e os objetivos a serem alcançados. A justificativa expõe informações sobre como o problema levantado para o estudo surgiu e seu diferencial frente à outras abordagens. O objetivo do trabalho exhibe o que se pretende alcançar com a realização da pesquisa.

### 2.1. Justificativa

Apesar da necessidade de um monitoramento preciso sobre o comportamento climático dos ambientes glaciais, a obtenção de dados em grandes malhas amostrais fica frequentemente prejudicada pelas características específicas desses ambientes, como o difícil acesso e o clima com características extremas, bem como pelo alto custo dos equipamentos convencionais utilizados para este tipo de aplicação. Sob essa perspectiva, a quantidade e qualidade dos dados climático-meteorológicos obtidos para a região mostram-se reduzidas e, assim, limitadoras de considerações mais consistentes e detalhadas sobre a dinâmica deste ambiente.

A exemplo, uma estação meteorológica automática convencional (*Automatic Weather Station – AWS*), produzida pela empresa Campbell atinge o custo total de U\$ 21.612,45 (dólares americanos), conforme documentação de aquisição no laboratório de pesquisa LaCrio (Laboratório de Monitoramento da Criosfera, FURG). Esta estação meteorológica está atualmente em operação na Geleira *Union* e os dados gerados por esta servem de base para comparação com os resultados obtidos pelo protótipo desenvolvido neste trabalho.

O alto custo do equipamento dificulta a aquisição de várias unidades para a instalação de uma malha amostral, o que permitiria um monitoramento com alto nível de resolução espacial. Aliado à limitação do custo, têm-se o fato do risco de dano ou perda dos equipamentos devido à criticidade do ambiente em que se instalam tais

equipamentos. A instabilidade de alguns ambientes glaciais também expõe os equipamentos a situações em que o mesmo pode ser perdido, destruído ou não recuperado.

Nesse sentido, a produção de equipamentos a partir de plataformas livre, permite a montagem de instrumentos com características similares às apresentadas por AWS, porém considerando plataformas de custo substancialmente inferior.

Isso possibilita ampliar massivamente a malha amostral com o custo de apenas uma estação convencional tipo AWS, devido ao custo do sistema proposto nesse trabalho ser reduzido, conforme apresentado no capítulo que trata sobre o custo de implementação. Assim, o desenvolvimento de equipamentos sensores baseados no conceito *de* plataforma livre possibilitaria reduzidos custos operacionais e de instalação, bem como um melhor entendimento do processo de aquisição de dados, fundamental para uma análise científica dos dados coletados.

Experimentos básicos para a medição de temperatura já foram instalados em ambientes glaciais para a coleta de informações. O Anexo I apresenta informações quanto a importância deste tipo de experimento, devido aos dados registrados serem fonte de estudo para a compreensão da influência dos processos climáticos na dinâmica de derretimento das geleiras.

## 2.2. Objetivos

Considerando a justificativa apresentada no item 2.1, o presente trabalho consiste no desenvolvimento de um sistema de aquisição e armazenamento de dados meteorológico-glaciais de campo baseado em plataforma livre. Este sistema tem como característica principal reduzidos custos operacionais e de instalação, além de permitir acesso e manipulação irrestritos dos dados coletados, o que por sua vez, propicia uma ampla análise científica do meio monitorado.

Este sistema para aquisição e armazenamento de dados meteorológico-glaciais de campo é baseado fundamentalmente em uma única central para coleta dos dados: a plataforma livre Arduino (Arduino, 2013), a ser aplicado à uma rede de sensores na Geleira *Union*, no Chile. Para tal construção, a seguir descrevem-se os objetivos gerais e específicos desta dissertação de mestrado.

### 2.2.1. Objetivo Geral

O trabalho tem como objetivo geral a especificação, implementação e validação de um sistema capaz de realizar a aquisição e o armazenamento de dados de grandezas meteorológicos-climáticos utilizando uma rede de sensores sem fio (RSSF) ou *Wireless Sensor Network (WSN)* e, o sensoriamento remoto por meio da transmissão desses dados através da tecnologia sem fio, visando à redução de custos no que se refere à aquisição/instalação/manutenção de equipamentos quando comparados aos valores de equipamentos convencionais, bem como permitir acesso e manipulação irrestritos dos dados coletados, de forma a propiciar uma ampla análise científica do meio monitorado.

### 2.2.2. Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral proposto faz-se necessário cumprir as seguintes etapas, denominadas como objetivos específicos:

- I. Descrever, mensurar e pormenorizar os detalhes meteorológicos-climáticos da área de aplicação do estudo;
- II. Determinar as variáveis meteorológico-climáticas de interesse e avaliar comparativamente os tipos de sensores e princípios físicos necessários pra medição destas variáveis;
- III. Especificar a plataforma ser montada com suas respectivas plantas e documentação, topologia da rede, técnicas de tolerância a falhas quanto à coleta, armazenamento e manipulação dos dados climáticos monitorados;
- IV. Implementar a plataforma com o conjunto de sensores em uma rede sem fio, executando a medição e gravação dos dados de interesse;
- V. Validar a montagem do conjunto de sensores da estação proposta em um ambiente de simulação ou junto à área da Geleira *Union* em sobreposição a sensores calibrados e certificados.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo tem como princípio a apresentação e o enquadramento do trabalho nas pesquisas no que tange uma explicação sobre os procedimentos e métodos utilizados para medições e verificações meteorológicas, dos mais complexos e atuais até as estações meteorológicas convencionais. Transcorre também sobre a tecnologia dos sistemas sem fio (*wireless*), mais precisamente das redes de sensores sem fio.

#### 3.1. A previsão do tempo

A previsão do tempo baseia-se na premissa de que o tempo constitui um sistema termodinâmico determinístico. Sendo assim, conhecendo as variáveis de estado do sistema em um determinado momento do tempo, poderíamos resolver suas equações de estado para qualquer outro instante, determinando um estado termodinâmico pretérito ou futuro (VIANELLO; ALVES, 2013). O problema desta consideração é que o número de variáveis termodinâmicas relacionadas a um determinado estado é muito numeroso e suas medidas imprecisas. Este fato, associado à natureza caótica da atmosfera, onde pequenas mudanças no estado inicial acarretam grandes alterações em um estado futuro, fazem com que as previsões sejam limitadas.

Para que seja realizada a previsão do tempo precisam-se reunir as várias observações meteorológicas, em conjunto. As observações de superfície e as sondagens de altitude são enviadas para centros coletores e depois para os centros nacionais, observações provenientes de aviões, navios, boias, estações meteorológicas automáticas e balões são recolhidas via satélite; as próprias observações por satélites são recebidas em centros de processamento, onde as

imagens são preparadas e as temperaturas e ventos são calculados e filtrados (NCEP, 2013)(NCAR, 2013).

Construir um prognóstico de previsão meteorológica ou climática se faz dependente de uma série de dados e de medições de diversas grandezas como, por exemplo, temperatura, umidade e radiação. Estas medições devem ser realizadas sempre em intervalos regulares e com a rede mais densa possível de estações meteorológicas. A imprecisão e a escassez dessa fonte de dados acarretam em erros de previsão e em uma limitação temporal no prognóstico.

Os previsores precisam de informações a cerca da atmosfera em todo o Mundo, junto à superfície e a vários níveis de altitude (i.e., níveis barométricos). Nenhum sistema de medição pode fornecer todas às informações necessárias para a realização de uma previsão, por esse motivo são utilizados vários meios e métodos para obtenção de tais informações.

### **3.2. Meteorologia e o uso de sensores**

O termo Meteorologia refere-se à ciência que estuda os fenômenos atmosféricos. O termo tem origem em uma obra escrita por Aristóteles em 340 a.C., denominada *Meteórica*, que versava sobre os conhecimentos gregos sobre o clima e tempo. O desenvolvimento científico da meteorologia ocorreu a partir do século XVI, com o desenvolvimento de equipamentos de medição de variáveis meteorológicas como o termômetro (medição de temperatura) e o barômetro (medição de pressão do ar).

Em paralelo ao uso de equipamentos de medida junto ao estudo da atmosfera, surgiu o registro e troca de informações. Para organizar essa troca de dados, surgiu no final do século XIX a Organização Meteorológica Internacional (*International Meteorological Organization* - IMO), responsável por organizar os primeiros protocolos para observação meteorológica. Após a segunda guerra mundial, com a percepção da importância da meteorologia como ciência de apoio militar, ampliou-se a IMO, dando origem a Organização Meteorológica Mundial (*World Meteorological Organization* - WMO), ligada a Organização das Nações Unidas (ONU).

Neste contexto de desenvolvimento de equipamentos de medida meteorológica e surgimento do sensoriamento remoto demarca-se o século XX como marco no desenvolvimento de equipamentos como balões atmosféricos, utilizado ainda hoje para sondagens verticais, a aplicação de radares (sensores ativos de micro-ondas), o surgimento do primeiro satélite meteorológico (o TIROS-1) e o desenvolvimento de modelos matemáticos de base física para descrição da atmosfera. Estes modelos, em confluência ao avanço na informática, permitiram a análise e previsão mais precisas do clima e do tempo.

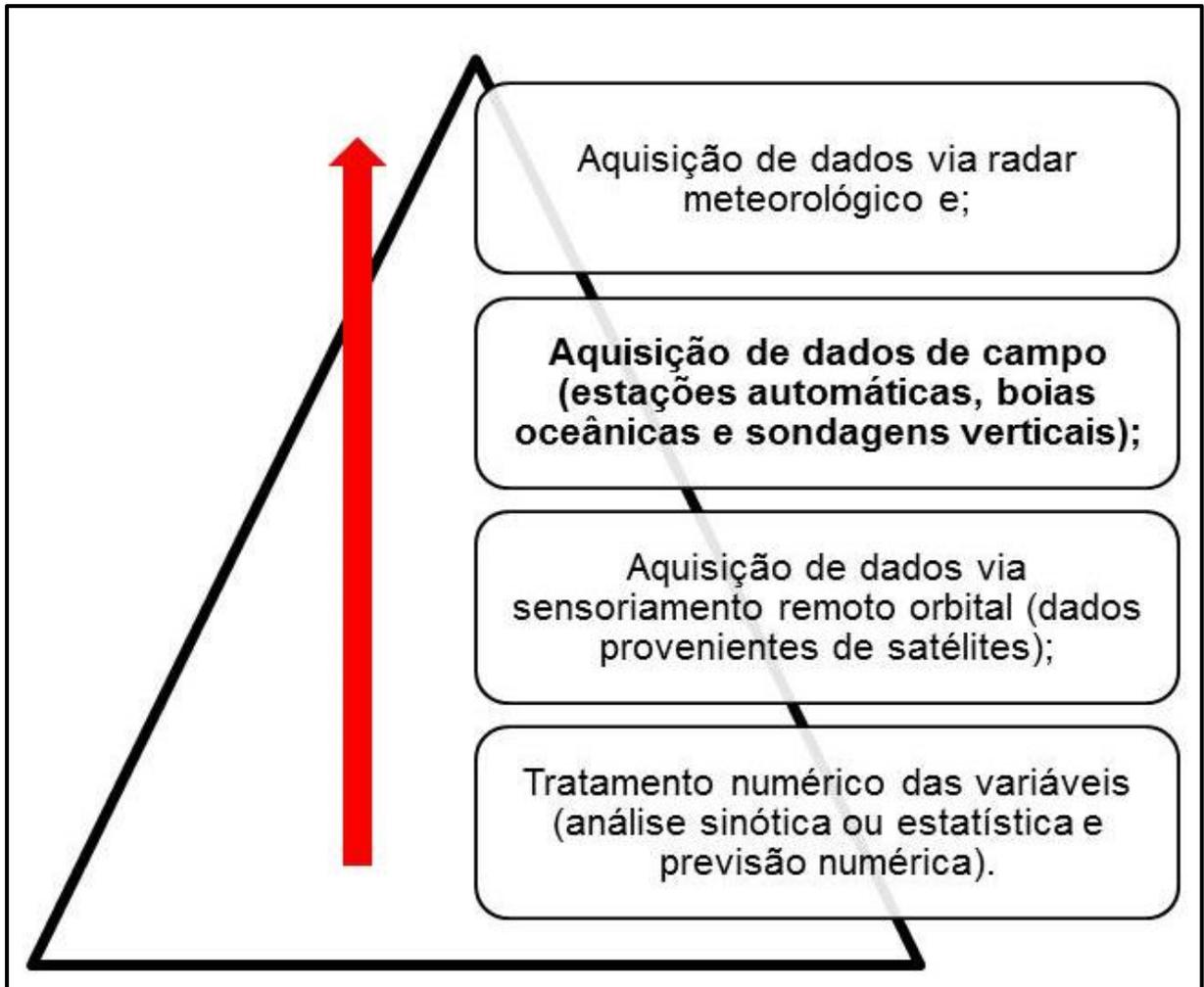
Neste caminho, a meteorologia atual caracteriza-se como uma ciência de vanguarda, unindo-se ao estado da arte da eletrônica, do sensoriamento remoto, da informática e da ciência de sensores. A meteorologia moderna baseia-se em quatro eixos centrais:

- a) Aquisição de dados de campo (estações automáticas, boias oceânicas e sondagens verticais);
- b) Aquisição de dados via sensoriamento remoto orbital (dados provenientes de satélites);
- c) Aquisição de dados via radar meteorológico e;
- d) Tratamento numérico das variáveis (análise sinótica ou estatística e previsão numérica).

Quanto ao tratamento numérico das variáveis a análise sinótica está inserida no estudo da meteorologia sinótica, que é a parte da meteorologia que estuda uma grande porção horizontal da atmosfera terrestre, abrangendo a análise de imagens de satélite e mapas, possibilitando a observação de fenômenos climáticos e meteorológicos de grande escala (como depressões, ciclones e anticiclones).

A Figura 2 apresenta graficamente a classificação de utilização dos eixos centrais da meteorologia moderna quanto a qualidade dos dados coletados.

Figura 2 - Classificação da Meteorologia Moderna.



Fonte: Ortiz, (2013).

No que tange este trabalho, faz-se necessário discutir a aquisição orbital e de campo de dados meteorológicos, caracterizando a vanguarda da meteorologia neste âmbito, bem como expondo a contribuição desta pesquisa para a meteorologia e a glaciologia, ciência que se vale da meteorologia como forma de aquisição de dados.

### 3.2.1. Aquisição orbital de dados meteorológicos

O marco tecnológico para a medida/acompanhamento de variáveis meteorológicas como a precipitação atmosférica (chuva, neve ou gelo) se deu com o desenvolvimento de sensores orbitais na faixa de micro-ondas para este fim (VIANELLO; ALVES, 2013). Esta abordagem atingiu seu ápice em 2013, com o

início operacional do projeto conjunto NASA/JAXA (agência espacial americana e agência espacial japonesa, respectivamente) intitulado GPM/DPR (*the Global Precipitation Measurement / Dual-frequency Precipitation Radar*), objetivando o desenvolvimento, lançamento e operação de 24 satélites equipados com radares meteorológicos voltados ao acompanhamento global da precipitação atmosférica (JAXA, 2013).

Esta abordagem de aquisição de dados de precipitação, tão importantes para a meteorologia, é possível devido ao diferente comportamento da água líquida, do vapor d'água e dos cristais de gelo frente às micro-ondas (RAMAGE et al., 2003) (JENSEN, 2009) (VIANELLO; ALVES, 2013). Embora esta possibilidade seja conhecida desde a década de 1950, iniciativas como a implementada neste ano com o GPM/DPR pouco haviam avançado. Isto se explica pelo fato de que os países desenvolvidos possuem número considerável de radares meteorológicos de campo, os quais fornecem melhores representações da distribuição espacial das chuvas, não sendo necessário para estas nações investimentos em sensores orbitais, sabidamente mais complexos.

### **3.2.2. Aquisição de dados meteorológicos de campo**

Até meados da década de 1980, a aquisição e o registro de variáveis meteorológicas ocorria quase que totalmente de forma manual (VIANELLO; ALVES, 2013). Com a rápida expansão da informática e da eletrônica ao longo do período decorrido entre 1990 e meados de 2000, ocorreu uma transição sistemática na aquisição de dados meteorológicos de campo, se dando atualmente na maioria das vezes de forma automatizada.

A tecnologia de vanguarda para aquisição de dados meteorológicos está pautada pela tecnologia de sensores orbitais, embora os dados de maior precisão e cobertura temporal ainda são aqueles obtidos em campo por estações automáticas ou radares. Além disto, mesmo com a aquisição de dados via sensoriamento remoto, dados de campo se fazem necessários para calibração e validação das medidas (BISCARO, 2007; VIANELLO; ALVES, 2013).

Embora os dados de campo sejam acurados e de vital importância para a aquisição de variáveis meteorológicas, seu uso é por vezes restrito devido ao alto

custo de instalação e manutenção (VIANELLO; ALVES, 2013). A forma construtiva atual mais usual para sensores meteorológicos de campo são as chamadas estações automáticas. Estas estações constituem-se de um conjunto de sensores de interesse, comandados por um microcontrolador pré-programado para aquisição e registro dos dados segundo o interesse do usuário.

A forma básica de um conjunto de sensores meteorológicos é apresentada na Figura 3, tendo os sensores correspondentes descritos junto ao Quadro 1. Estes sensores podem variar segundo o interesse do usuário e/ou aplicação dos dados obtidos.

Figura 3 - Exemplo de Estação Meteorológica.



Fonte: Campbell Scientific, (2013a).

Quadro 1 - Sensores de uma Estação Meteorológica.

<b>Sensor</b>	<b>Função</b>
Termômetro	Mede a temperatura do ar
Anemômetro	Mede a direção/intensidade dos ventos
Pluviômetro	Mede a precipitação pluvial
Barômetro	Mede a pressão atmosférica
Heliógrafo	Mede o número de horas durante o dia que os raios solares atingem diretamente a superfície da terra num determinado local
Actinógrafo	Mede a quantidade de energia que atinge a superfície na terra
Higrômetro / higrógrafo	Mede a umidade relativa do ar

Fonte: Ortiz, (2013).

As estações meteorológicas convencionais para uso geral como, por exemplo, para utilização na agricultura e pela defesa civil, possuem um valor inferior ao de uma estação do tipo AWS, entretanto, este tipo de estação necessita de um

técnico meteorologista de campo para anotações dos dados gerados pelos sensores junto à estação meteorológica. Estes valores sofrem variações conforme a ampliação da complexidade e precisão dos sensores, bem como a autonomia da estação.

No Brasil, em parte pelo alto custo de aquisição e manutenção das estações automáticas de campo, tem-se um pequeno número destas disponíveis. Além desta situação, locais de difícil acesso ou constituído por condições climáticas severas, tem indicado o uso de estações meteorológicas de campo.

Uma alternativa as estações meteorológicas automáticas comerciais é o desenvolvimento de projetos particulares de estações meteorológicas, baseados em plataforma *open-source* de baixo custo. Entretanto, o problema desta alternativa recai sobre o escasso número de dados para validação desta aplicação, o que limita seu uso e aceite por meio da comunidade acadêmica ligada a meteorologia.

#### 3.2.2.1. *Estação Meteorológica Comercial AWS – Campbell*

Esta parte do capítulo trata sobre uma estação meteorológica automática convencional (*Automatic Weather Station – AWS*) específica, devido ao fato da estação em questão ser utilizada como componente de referência para a elaboração de parte da proposta do trabalho e, ferramenta de verificação dos dados da proposta (Figura 4).

Uma AWS permite a medição e o armazenamento de parâmetros meteorológicos automaticamente, que posteriormente pode oportunizar a verificação das condições atuais e, também, através de mecanismos específicos preverem as condições das grandezas medidas ou relacionadas a estas (INMET, 2013). A leitura e o armazenamento automáticos são os elementos distintos de uma estação convencional.

Figura 4 - Estação Campbell.



Fonte: LaCrio, (2013).

Entretanto, considerando a estação utilizada como base para o desenvolvimento deste trabalho, a estação da marca Campbell (Figura 4), segue informações referentes aos sensores utilizados para a medição das principais grandezas meteorológicas.

#### **a) Termômetro e Higrômetro**

Descrição – o elemento sensível é um termopar, formado por um par de ligas metálicas que sofre alterações distintas de resistividade com a alteração da temperatura, gerando uma diferença de potencial elétrico (i.e., tensão elétrica) entre a liga metálica. A leitura é dada pela relação entre a temperatura e tensão medida em mV no termopar.

Instalação – no abrigo meteorológico em posição horizontal e levemente inclinado (YOUNG, 2013).

Temperatura: -50 a +50°C com acurácia de  $\pm 0,3^\circ\text{C}$ ;

Umidade: 0 a 100% RH com acurácia de  $\pm 1\%$  (YOUNG, 2013).

### **b) Anemômetro**

Descrição – Haste direcional orientada pelo fluxo do vento. Tem a leitura dada através de um reostato de eixo livre que encontra-se fixo ao eixo da haste de orientação. Conforme a haste se orienta com o vento, altera-se o valor da resistência junto ao reostato. Esta resistência é relacionada ao ângulo de direção do vento. Já a velocidade do vento é obtida através da indução eletromagnética produzida entre um pequeno ímã móvel fixo junto ao eixo de rotação do cata-vento do sensor e uma bobina de leitura que o envolve. A indução eletromagnética e a tensão induzida são diretamente proporcionais à velocidade do vento, permitindo a transformação de grandezas. Os sensores de vento deverão ser instalados em área livre acima do nível do terreno ao seu redor, com distância horizontal 10 vezes superior à altura do obstáculo. Em alguns casos a distância horizontal pode ser reduzida para 3 vezes sua altura, sendo que valores inferiores a estes inviabilizam por completo a representação do fenômeno (YOUNG, C., 2013). Suas unidades de medida são:

Velocidade do vento: m/s ou Km/h;

Direção do vento: ° (Graus) ou quadrante (ex.: NE, N);

Instalação: canto sul com altura de 8 – 10m em relação ao solo (YOUNG, C., 2013).

### **c) Sensor de Radiação Solar**

Descrição – O piranômetro aqui empregado baseia-se no efeito foto-elétrico, apresentando as funções de heliógrafo e actinógrafo. Quando um fluxo radiante atinge um alvo metálico no sensor, este produz uma tensão elétrica de saída. Esta tensão é relacionada à radiação que atingiu o sensor. Como não se faz distinção sobre a origem do fluxo radiante que atinge o sensor, a radiação que é

aferida é denominada radiação solar global. Este fluxo radiante representa uma soma entre a radiação difusa com a radiação direta que atinge o sensor (CAMPBELL SCIENTIFIC, 2013b).

Instalação – Suporte nivelado na sua base, as faces laterais devem ficar orientadas para o N (norte), S (sul), L (leste) e O (oeste).

Nesse sensor, os ajustes devem existir para propiciar a concentricidade, meridiano e latitude, garantindo uma exposição sem sobras para o sensor (CAMPBELL SCIENTIFIC, 2013b). Isto é, para o sensor de radiação solar, o nivelamento e enquadramento da face sensora deve ser o mais próximo possível do ideal, possibilitando ao sensor realizar as medições com maior grau de exatidão.

#### **d) Pluviômetro**

Descrição – Sensor utilizado para medição da precipitação líquida (chuva). A precipitação é estimada pela razão entre o volume inicial e a superfície de captação em questão. A montagem do instrumento na estação Campbell® trás o formato “*Ville de Paris*”, com um recipiente em formato de tronco cônico com área de captação e respiro na parte afunilada inferior. O nível é marcado pela estação através de uma boia eletrônica.

Instalação – deve ser montado em uma área livre ao lado da estação evitando sombras de vento (áreas encobertas por estruturas) em suporte a 1,5m nivelado em relação ao solo.

### **3.3. Rede de Sensores Sem Fios (RSSF)**

Nesta parte do capítulo é apresentada uma revisão acerca dos conceitos e informações sobre o sistema de comunicação sem fio, e, também sobre os tipos de padrões mais conhecidos e trabalhados atualmente destes sistemas de comunicação.

O conceito de tecnologia sem fio apresentado em (JINDAL et al., 2005) onde diz que os sistemas de telecomunicações que utilizam ondas eletromagnéticas para o deslocamento do sinal sobre uma parte ou sobre todo o trajeto de comunicação

necessário sem a utilização de cabeamento são chamados de sistemas com tecnologia *sem fio*

Os sistemas que utilizam a tecnologia sem fio estão muito difundidos atualmente e suas principais aplicações estão apresentadas de forma geral na seção seguinte do trabalho.

### 3.3.1. Aplicações de redes de sensores sem fios

As RSSFs possuem inúmeras aplicações, todas estas envolvendo processamento de sinal, redes e protocolos, sistemas embarcados, gerenciamento de informação e sistemas distribuídos, entre as principais aplicações, pode-se destacar (AKYILDIZ, IAN F. et al., 2002):

- **Aplicações militares:** Em Hou et al.(2005) as redes de sensores sem fio são apresentadas como sistemas com características de comunicação, rastreamento e controle, proporcionando suporte a atividades militares como, por exemplo, vigiar tropas contra possíveis ataques químicos, biológicos e nucleares, monitoramento de munição e equipamentos. Outra utilização militar seria o exemplo apresentado por Nemeroff et al. (2001) que fala sobre a possibilidade de perceber a presença do inimigo em áreas cobertas por redes de sensores.
- **Aplicações ambientais:** Para aplicações ambientais pode-se informar que redes de sensores sem fio podem ser utilizadas, por exemplo, para o controle e monitoramento de animais, queimadas e abalos sísmicos. Uma rede de sensores sem fio com a finalidade de verificar a qualidade da água utilizada para irrigação da agricultura é apresentada em Ramanathan et al. (2006). No trabalho de Akyildiz *et al.* (2002) foi apresentada uma rede de sensores sem fio para a detecção de enchentes, onde uma malha de sensores possuía como variável principal o controle de nível.
- **Aplicações médicas:** No caso de aplicações médicas as redes de sensores sem fio, podem ser utilizadas para o monitoramento e acompanhamento de sinais vitais do paciente, podendo estender-se até a supervisão de médicos (AKYILDIZ, I.F. et al., 2002). O trabalho apresentado por JAFARI et al. (2005) transcorre sobre uma rede de sensores sem fio que tem como finalidade

monitorar a pressão arterial e a temperatura do corpo para transmitir à dispositivos *palmtop*, este dispositivo ainda possui a função de enviar as informações para os médicos através da internet, ajudando no diagnóstico rápido dos profissionais.

- **Aplicações agrícolas:** No caso de aplicações agrícolas que apontam o uso real de rede de sensores sem fio pode-se apontar os trabalhos de Burrell et al. (2004) e Jafari et al. (2005) que abordam o monitoramento de parâmetros utilizando rede de sensores sem fios aplicados a vinhedos e, no trabalho de Baggio (2005) sobre a aplicação de rede de sensores em cultivo de batatas, buscando o monitoramento de temperatura e umidade com a finalidade de verificar a possibilidade de ocorrência de fungos.

- **Aplicações comerciais:** Alguns exemplos de aplicações comerciais são a detecção, monitoramento e o rastreamento de veículos e a supervisão de residências. Uma amostra de aplicação comercial é o caso do museu interativo americano, localizado em *San Francisco Exploratum*, que possui como característica a interação entre os objetos e as pessoas buscando fornecer um maior aprendizado sobre eles. Utiliza uma rede de sensores sem fios para localizar qualquer objeto dentro do museu (RABAEY et al., 2000).

Um arranjo de nós com características sensitivas e com capacidade de intercomunicação é denominado de rede de sensores sem fios. Os nós possuem a função de verificar atributos de grandezas e enviar estes dados a uma estação base. Esta comunicação é realizada por intermédio de uma rede sem fio, havendo diversos tipos de topologias para a configuração de rede de sensores, topologias estas que estão destacadas no decorrer do capítulo (BRITO; PERALTA, 2008) (WHEELER, 2007) (ALLIANCE, 2009).

### 3.3.2. Características das RSSFs

A seguir serão apresentados os principais tópicos que devem ser analisados quando do projeto de uma rede de sensores sem fios.

### 3.3.2.1. *Tolerância a falhas*

Conforme Akyildiz, I.F. et al. (2002) uma falha pode ser apresentada por um nó de uma rede de sensores sem fio por não possuir a alimentação elétrica necessária para seu funcionamento, por ter sofrido danos físico ou por alguma interferência ampla do ambiente em que se encontra. Entretanto, este tipo de fato não pode proporcionar condições para que um único nó sensor da rede invalide todo o sistema sem fio, afetando assim, as tarefas dos outros elementos da rede. A tolerância a falhas é a capacidade de manter em funcionamento correto o sistema mesmo na ocorrência de falhas (WEBER, 2002). A tolerância a falhas de um nodo sensor pode ser verificada com a distribuição de Poisson que é frequentemente utilizada para modelar o número de ocorrências de um evento por certo período de tempo ou por certo volume ou por uma determinada área (CAMPOS; RÊGO, 2011).

### 3.3.2.2. *Escalabilidade*

Escalabilidade de uma rede é quando uma rede consegue manter suas propriedades e suas características iniciais do projeto ao incluir novos sensores. Existem aplicações que conforme o sensoriamento a ser realizado possuem centenas e até milhares de nós sensores (AKYILDIZ, I.F. et al., 2002). A quantidade está diretamente relacionada com o contexto de aplicação. Conforme Akyildiz, I.F. et al. (2002) a escalabilidade representa um atributo importante para compor protocolos de redes de sensores sem fio para transmissão de dados e gerenciamento no consumo de energia elétrica. Uma rede deve ser capaz de manter suas funcionalidades independente da quantidade de nós sensores presentes nesta rede. A redundância de informações disseminada pela rede é outro ponto a ser considerado quanto à escalabilidade das redes de sensores sem fios, visto que, geralmente a redundância é resultado de um aumento do número de nós sensores da rede.

### 3.3.2.3. *Custo de produção*

Conforme o número de nós sensores aumente em uma rede, o custo por nó sensor é elemento muito importante no delineamento de uma aplicação, bem como, para justificar o custo da rede como um todo. O custo final para efetivar uma rede de sensores sem fio deve ser inferior ao valor de uma rede tradicional, caso contrário, a implantação da rede torna-se não justificada (AKYILDIZ, IAN F. et al., 2002).

#### 3.3.2.4. *Ambiente de operação*

A detecção de algum fenômeno a ser realizado pelo nó sensor é dependente da localização dos nós sensores em uma determinada área. Existem inúmeras aplicações para os sensores que são em ambientes hostis como, por exemplo, fundo de oceanos, no interior de grandes equipamentos, locais contaminados quimicamente ou biologicamente ou até mesmo em regiões radioativas. Portanto, existem inúmeras intempéries que as redes de sensores sem fios devem estar aptas a suportarem.

#### 3.3.2.5. *Topologia da rede*

Como uma rede de sensores sem fio tende a possuir um número elevado de nós sensores e devem funcionar sem intervenção e sujeitos a falhas frequentes, a manutenção da topologia da rede é algo fundamental para o seu funcionamento. A topologia da rede possui destaque devido ao fato de que, mesmo após os nós sensores estarem instalados em campo, a rede pode sofrer ações de diversos fatores como, por exemplo, energia disponível, obstáculos móveis e adição de novos nós sensores.

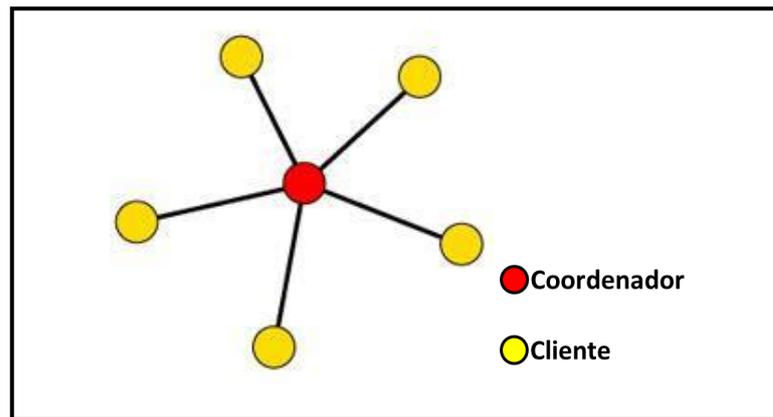
Considerando o acima exposto e a norma IEEE 802.15.4 do *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE COMPUTER SOCIETY, 2007) que é um padrão que efetua o controle de acesso para redes sem fio pessoais de baixas taxas de transmissão é possível informar que as principais topologias de rede encontradas na bibliografia são: árvore, estrela e malha. Os principais elementos formadores destas redes são o coordenador (*coordinator*), os roteadores (*routers*) e os clientes.

Conforme Messias, (2013) os coordenadores são dispositivos de funções completas ou também chamados de FFD (*Full Function Device*), são os dispositivos mais complexos, necessitam de mais processamento e, conseqüente consomem mais energia. Já os roteadores e os clientes são dispositivos de funções reduzidas ou RFD (*Reduced Function Device*) possui comunicação única com o coordenador e não pode atuar como coordenador.

A Figura 5 mostra a formação em estrela de uma rede de sensores sem fio. Esta é a topologia mais simples de ser implementada e possui designação para ambientes com poucos obstáculos para a transmissão dos dados. Todo o controle da rede é realizado pelo coordenador, que possui comunicação direta com todos os

dispositivos finais da rede (PINHEIRO, 2006). A comunicação de toda rede é gerenciada por um nó central e, caso exista nó em falha (clientes) esses não afetam o funcionamento dos demais. No caso do nó central apresentar falhas, toda a rede será afetada e, nessa posição central técnicas de redundância geralmente são instaladas.

Figura 5 - Topologia em Estrela.

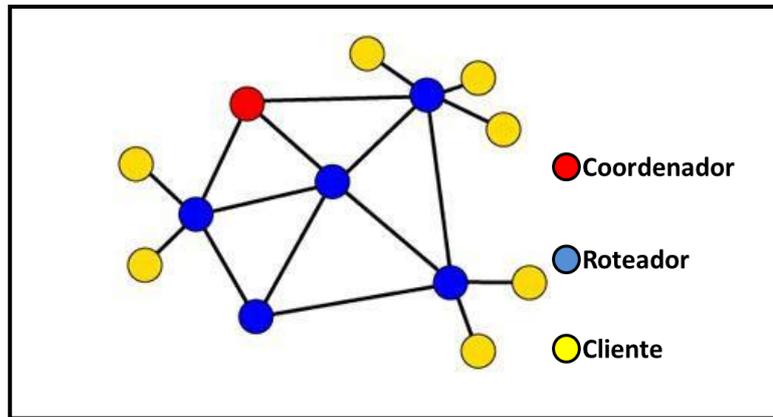


Fonte: Adaptada de Messias, (2013).

A Figura 6 apresenta a topologia em malha onde é possível a comunicação entre dois roteadores, fato que possibilita a expansão física da rede quando é necessário um maior alcance. Existem múltiplos caminhos para a transmissão da informação entre cada nó da rede e, é o tipo de topologia mais utilizado quando se necessita cobrir áreas extensas de sensoriamento.

Para esta topologia qualquer falha em um roteador não afetará a rede como um todo, visto que, a mesma possui diversos caminhos para transmitir a informação. Para cada nó cliente existe somente um roteador possível para a transmissão da informação, sendo assim, se o roteador que está ligado à este cliente sofre danos, as ramificações deste deixarão de funcionar.

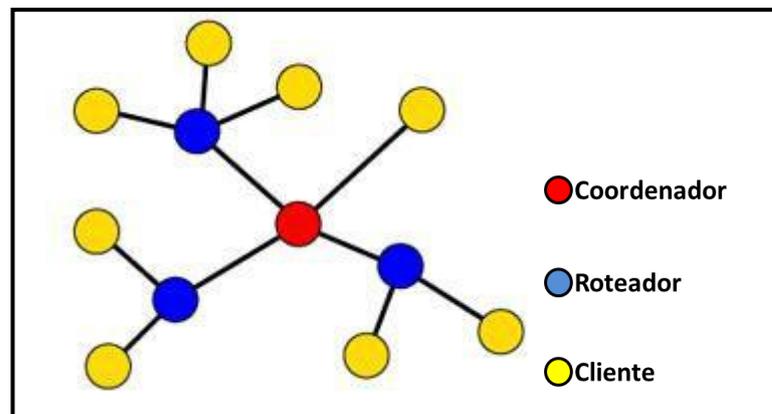
Figura 6 - Topologia em Malha.



Fonte: Adaptada de Messias,(2013).

A topologia em árvore apresentada na Figura 7 possui o coordenador com a função central da rede de sensores, recebe a informação de todos os roteadores, centraliza as informações. Entretanto, se o coordenador ou algum roteador sofrer falhas, a rede como um todo será afetada, no caso do coordenador, ou uma determinada ramificação sofrerá consequências, no caso de um roteador. Isto ocorre devido ao fato de existir somente um caminho para chegar a um determinado nó.

Figura 7 - Topologia em Árvore.



Fonte: Adaptada de Messias, (2013).

#### 3.3.2.6. *Restrições de hardware*

Os sensores são componentes muito limitados de memória e processamento. Desta forma os programas desenvolvidos devem ser otimizados para apresentar execução eficiente e ocupar reduzido espaço de armazenamento. Essas restrições se fazem importantes devido a grande limitação no consumo de energia, a fim de aumentar a vida útil da bateria e portanto, do sistema de monitoramento como um todo.

#### 3.3.2.7. *Meio de transmissão*

Segundo Teleco, (2013) a comunicação entre os sensores da rede pode ser realizada através de sinais infravermelhos ou sinais de rádio frequência (RF).

A comunicação através de sinais infravermelhos exigem uma linha de visada do sinal direta entre o transmissor e o receptor. Por esta limitação, as redes com comunicação por infravermelho são pouco utilizadas (TELECO, 2013).

Já a comunicação através de sinais de RF é muito difundida, pois, apresenta como principal vantagem, ao contrário do que ocorre na comunicação por infravermelho, a não necessidade de alinhamento entre transmissor de sinal e receptor, ou seja, neste tipo de rede o transmissor e o receptor não precisam estar alinhados, ou seja, não necessitam de visada direta para o funcionamento correto. O receptor só precisa estar suficientemente próximo do transmissor, para ser capaz de receber os sinais de rádio com um nível de potência que seja suficiente para decodificar os sinais corretamente, podendo haver, inclusive, obstáculos sólidos entre os dois. Como desvantagem, pode-se citar a sensibilidade a ruídos provocados por aparelhos que operam na mesma faixa de frequência da rede de transmissão.

#### 3.3.2.8. *Consumo de energia*

As RSSF são formadas por dispositivos que devem utilizar pouca energia para seu funcionamento. O tempo de vida de um nó sensor é um dos requisitos fundamentais de uma rede de sensores sem fio e está diretamente relacionado com o nível de energia de sua bateria.

Muitas características das RSSF estão diretamente relacionadas com o consumo de energia das baterias como, por exemplo, protocolos de roteamento (XU et al., 2001), topologia e arquitetura da rede (DELICATO et al., 2004), configuração de serviços (BU; NAGHDY, 2005) e algoritmos de segurança da rede (WOOD et al., 2006). Contudo, a análise do consumo de energia em redes de sensores sem fio pode ser dividida em 3 partes: sensoriamento, comunicação e processamento de dados (AKYILDIZ, I.F. et al., 2002).

As tarefas que mais consomem energia em uma RSSF são a transmissão e recepção de dados. A ocorrência de uma transmissão consome mais energia do que o processamento de dados (AKYILDIZ, I.F. et al., 2002)(ARAUJO et al., 2007).

### 3.3.3. Principais componentes de uma RSSF

Neste item do capítulo é realizada uma apresentação geral das características básicas de um nó sensor. Um nó sensor é constituído de forma geral por quatro unidades: sensoriamento, processamento, transmissão e energia (LOUREIRO et al., 2003), conforme apresentado na Figura 8.

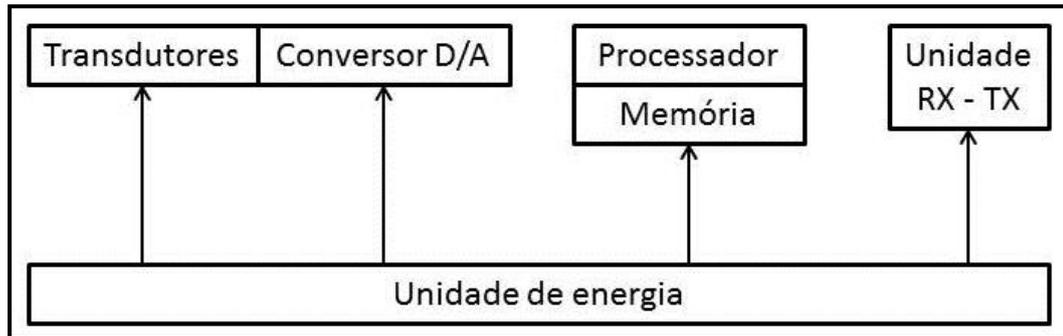
Figura 8 - Unidade de um Nó Sensor.



Fonte: Loureiro et al., 2003

Entretanto, estas unidades apresentadas na Figura 8 possuem elementos que correlacionam cada uma das partes, como pode ser visto na Figura 9. Conforme a aplicação que o nó sensor recebe, elementos adicionais podem ser utilizados como, por exemplo, um sensor de posicionamento global.

Figura 9 - Componentes de um Nó Sensor.



Fonte: Adaptado de Loureiro et al., (2003).

O sensoriamento é realizado em duas etapas: sensor e conversor AD (Analógico Digital). Muitos sinais captados pelos sensores são do tipo analógico e necessitam da conversão AD para que esta comunicação seja repassada ao controlador do nó sensor.

Os nós sensores se comunicam com a plataforma concentradora através da transmissão e recepção dos sinais utilizando mais comumente a RF. Em uma rede de sensores sem fios este elemento é o mais importante, devido ao fato de proporcionar condições aos dados adquiridos pelos sensores serem enviados e armazenados na plataforma principal ou concentradora.

A fonte de energia possui a função de alimentar todos os elementos de um nó sensor e, como discutido anteriormente, este é um dos requisitos principais que uma rede de sensores sem fios apresenta maiores cuidados.

#### 3.3.4. Comparação das principais tecnologias sem fio

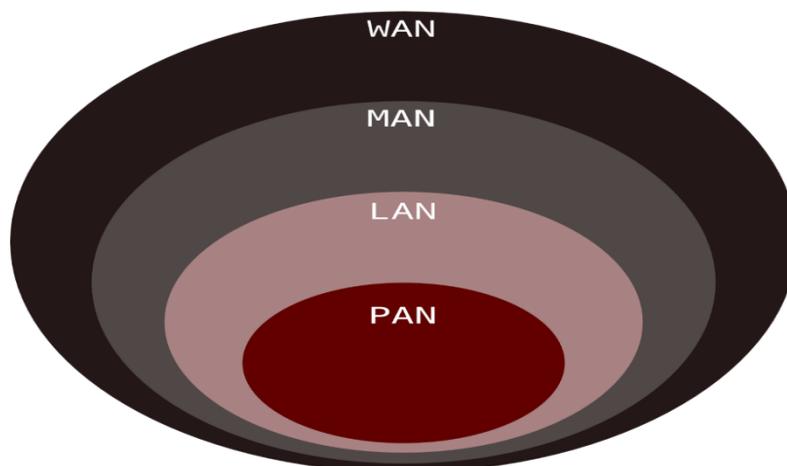
Atualmente as redes de sensores sem fios estão em ascendência devido à afirmação de protocolos na área, como o IEEE 802.15.4 (IEEE COMPUTER SOCIETY, 2007) e o *Zigbee* (ALLIANCE, 2009).

Para um melhor entendimento das principais tecnologias sem fio é apresentada uma comparação das principais características de cada um dos tipos de tecnologias. Começando pela classificação das redes sem fio no que tange a sua abrangência, conforme (AHMAD; RALHMAN, 2005) tem-se:

- **Wide Area Network (WAN):** Utilizada para a interligação de uma grande geográfica de redes MAN, LAN e PAN. A WAN transmite os dados através de linhas telefônicas, microondas ou rádio frequência e, sua área de abrangência pode chegar a poucas centenas de quilômetros.
- **Metropolitan Area Network (MAN):** É um tipo de rede para uso corporativo com alcance muito grande (dezenas de quilômetros), chegando a alcançar um raio de quilômetros. É um tipo de rede utilizada em locais que apresentam o mesmo espaço físico e, possui como principais características a interligação de redes LAN's e uma taxa de erro maior que as redes LAN e PAN devido à sua abrangência.
- **Local Area Network (LAN):** Rede local que usa ondas de rádio para fazer uma conexão Internet ou entre uma rede. Utiliza o padrão IEEE 802.11 para comunicação. Alta velocidade, flexibilidade na instalação, expansibilidade, facilidade de acesso e padronização são as principais características de uma rede LAN, além de possuir limitação geográfica (chegando a poucas centenas de metros).
- **Personal Area Network (PAN):** Pode ser vista com a interação entre os dispositivos móveis de um utilizador. A PAN é projetada para pequenas distâncias (na ordem de dezenas de metros), baixo custo e baixas taxas de transferência. É o tipo de rede em que se enquadra o protocolo IEEE 802.15.4.

Graficamente a Figura 10 apresenta a classificação das redes sem fio WAN, MAN, LAN e PAN, quanto à área de abrangência.

Figura 10 - Classificação da Rede *Wireless*.

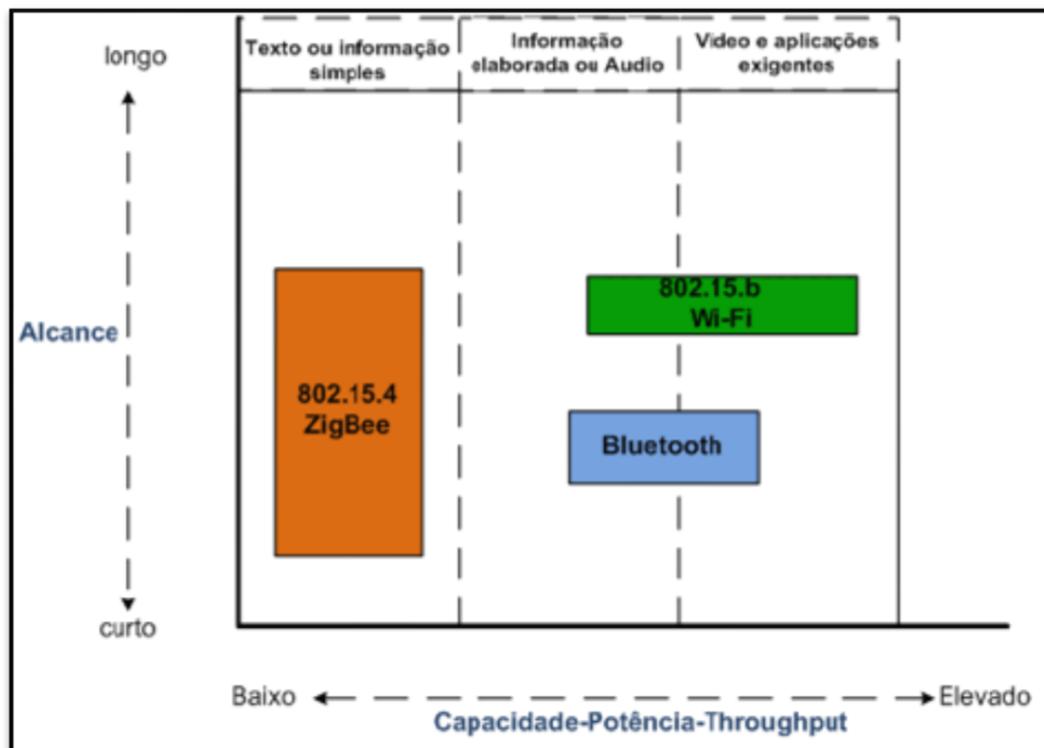


Fonte: Adaptado de Tenouk, (2013)

Os protocolos PAN são os que utilizam menos recursos de *hardware*, possuem menor taxa de transmissão de dados e são aplicados em menores distâncias, por consequência menores consumos de energia estão associados a estes protocolos, quando comparados ao protocolo LAN (AHMAD; RALHMAN, 2005).

A Figura 11 apresenta as informações quanto ao alcance e a taxa de dados de tecnologias sem fio (capacidade, potência e rendimento). Um esquema base para o entendimento das aplicações de cada um dos tipos de tecnologias, levando em conta as três principais tecnologias: *ZigBee*, *Bluetooth* e *Wi-Fi*.

Figura 11 - Comparação das Principais Tecnologias *Wireless*.



Fonte: ZUCATTO et al., 2007

*ZigBee* e *Bluetooth* são protocolos para redes *wireless* de área pessoal (WPAN), conforme definição do IEEE e, o protocolo *Wi-Fi* é utilizado para redes sem fio de área local (WLAN).

Obstáculos e interferências são tipos de circunstâncias que modificam o alcance de transmissão da rede de sensores sem fio. Os dispositivos baseados na tecnologia *ZigBee* apresentam um alcance de transmissão entre 10 e 3100 metros e, possui como banda de frequência os seguintes valores: 2,4GHz (globalmente),

915MHz (América) e 868MHz (Europa). Para a frequência principal de 2,4GHz a taxa de transferência de dados é de 250Kbps (NUNO; TEIXEIRA, 2008).

A tecnologia *Bluetooth* apresenta grande aplicação para os equipamentos telemóveis (telefonía celular), pois uma de suas principais características é a baixa taxa de transferência de informações entre dispositivos que estão geograficamente posicionados pertos um do outro. Possui uma taxa em torno de 1Mbit/s com a banda de frequência de 2,4GHz e, um alcance de transmissão em torno de 10m para a versão 1.2 (BARONTI et al., 2007). Entretanto, para a versão 4.0, mantendo-se a mesma banda de frequência de 2,4GHz, apresenta um taxa de 24Mbit/s e alcance aproximado de 100m.

O *Wi-Fi* é utilizado em aplicações com grandes necessidades de transferência de informações como, por exemplo, acesso à internet e conteúdos de vídeo. Possui um elevado consumo de energia e, permite facilmente transmissão de sinal a uma distância de 100m, com uma frequência de 2,4Ghz e com taxa de transmissão de dados de 54Mbps (NUNO; TEIXEIRA, 2008).

### 3.3.5. Análise comparativa entre as principais tecnologias sem fio

Portanto, para um melhor esclarecimento sobre as principais tecnologias utilizadas em redes de sensores sem fio, está sendo apresentada uma comparação final entre as tecnologias no Quadro 2.

Quadro 2 - Comparação de Tecnologias Sem Fio.

	 ZigBee Alliance	 Bluetooth®	 Wi-Fi™
<b>Gama de frequências</b>	868Mhz, 915Mhz, 2,4Ghz	2,4Ghz	2,4Ghz
<b>Débito</b>	20-250Kb/s	1Mb/s – 24Mb/s	54Mb/s
<b>Consumo</b>	≈30mA TX, Standby 0,20µA	>400mA TX, Standby 0,20mA	>400mA TX, Standby 20mA
<b>Alcance</b>	10 – 3100m	10 – 100m	até 150m
<b>Célula básica</b>	Estrela	Piconnet	BSS
<b>Pontos fortes</b>	Consumo, Nº de nós, Custo	Interoperabilidade	Taxa de transferência elevada
<b>Principais aplicações</b>	Controle remoto, sensores, dispositivos alimentados por baterias	Periféricos de PC, Telemóveis	Internet, Transferência de dados, Vídeo/Áudio

Fonte: Adaptado de (ZUCATTO et al., 2007)(NUNO; TEIXEIRA, 2008).

Concluindo, o protocolo *ZigBee* apresenta-se como adequado para aplicações em que o estado “*sleep*” é muito utilizado, como no caso de alguns tipos de redes de monitorização, fornecendo assim mais tempo de vida às baterias utilizadas para sua alimentação. Já, a tecnologia *Bluetooth* é mais adequada quando dispositivos necessitam se comunicar por um espaço de tempo considerável, transmitindo informações em distâncias menores e com menor latência, ou seja, menor atraso de tempo para um pacote de dados ir de um ponto para outro. Para distâncias maiores e com maior necessidade de taxa de transmissão, a tecnologia *Wi-Fi* é a mais indicada. Porém, é um tipo de tecnologia que apresenta um elevado consumo de energia quando comparada às demais tecnologias.

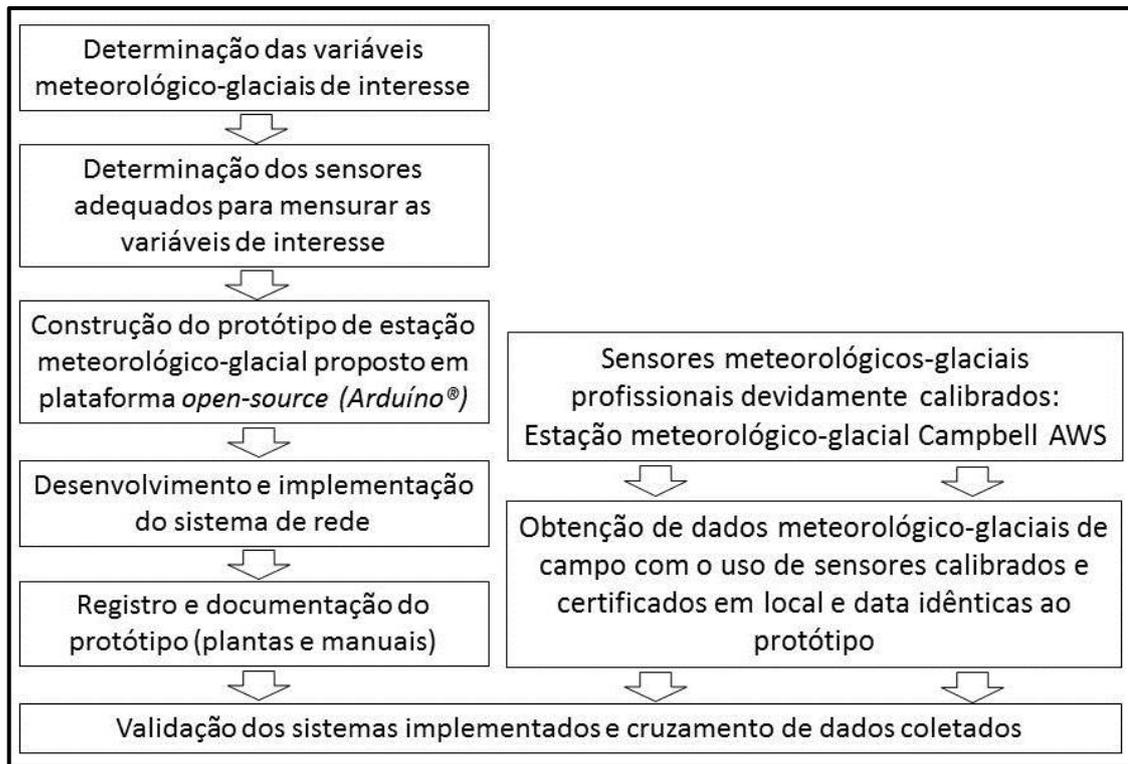
## **4. REDE DE SENSORES SEM FIO PROPOSTA**

Este capítulo expõe detalhadamente a plataforma baseada em sensores sem fio, estando dividido em duas partes: na primeira, a especificação do modelo do sistema proposto é descrita, enquanto que na segunda, foca-se na sua implementação, no item que elucida a descrição do sistema embarcado. Para tanto, serão expostos os passos metodológicos seguidos para o modelo proposto e aplicado na construção do protótipo.

### **4.1. Especificação do Modelo do Sistema Proposto**

O detalhamento metodológico do trabalho, apresentado junto à Figura 12, expõe o início da proposta através da definição de quais variáveis servem como base para o desenvolvimento do protótipo. A seguir, foram escolhidos os sensores a serem utilizados pelo sistema a fim de adquirir e analisar as variáveis em questão, levando em conta o fato de que a plataforma a ser utilizada para a aquisição destes dados deveria seguir o padrão de sistemas com código “livre” e “aberto” e os sensores em questão deveriam ser de baixo custo de aquisição e montagem, além de confiáveis para as condições de uso.

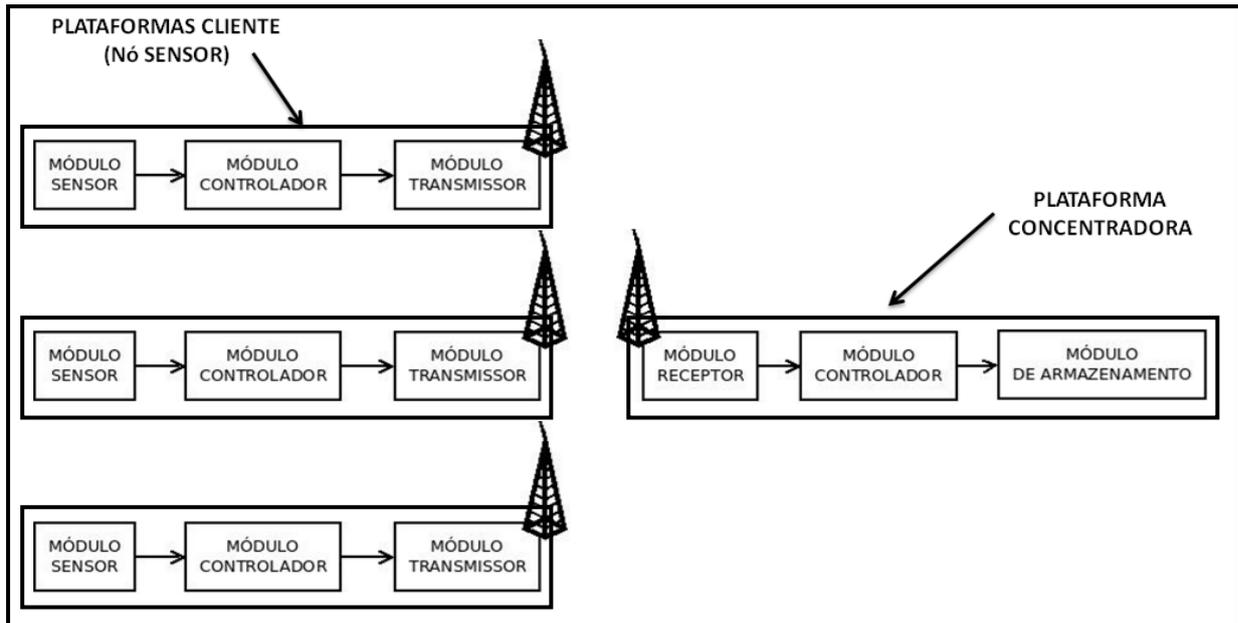
Figura 12 - Metodologia Proposta



Fonte: Ortiz, (2013).

Quanto ao *hardware* do sistema, tem-se o desenvolvimento da *plataforma concentradora* e das *plataformas clientes* que são os elementos que armazenam e captam os dados, respectivamente. Em paralelo ao sistema proposto, uma estação automática profissional (*AWS - marca Campbell®*), foi montada para funcionamento concomitante junto ao protótipo, executando o armazenamento dos dados nos mesmos períodos de testes do protótipo proposto, fornecendo dados voltados ao cruzamento e validação do sistema, conforme a ser descrito na sessão da validação do protótipo e apresentação dos resultados no item **Erro! Fonte de referência não encontrada.** A Figura 13 apresenta de forma resumida o sistema da rede de sensores sem fio proposto neste trabalho e, cada parte desta rede será discutida no decorrer deste capítulo.

Figura 13 - Estrutura da Rede de Aquisição de Parâmetros Meteorológicos Proposta.



Fonte: Ortiz, (2013).

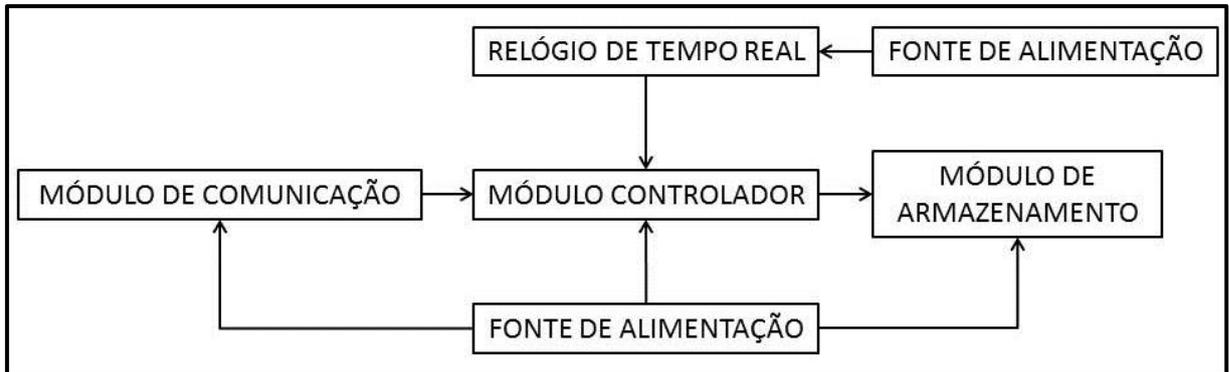
Conforme a Figura 13 e levando em conta as informações apresentadas anteriormente no texto, mais precisamente no item 3.3.2.5. que se refere aos tipos de topologias para redes de sensores sem fio, fica evidenciado que a topologia da proposta é do tipo estrela.

#### 4.1.1. Plataforma Concentradora

A plataforma concentradora (Figura 14) é formada por um módulo receptor de dados, um microcontrolador, módulo de armazenamento de dados e por um relógio de tempo real (*Real Time Clock – RTC*), além de uma fonte de alimentação.

Na parte central do sistema, encontra-se um microcontrolador que em linhas gerais tem seu funcionamento sob a forma de uma unidade central de processamento (CPU) com memória de acesso aleatório (RAM) e memória que permite somente leitura (ROM), além de outros elementos. Existe um número elevado de microcontroladores disponíveis no mercado a ser estudado para a aplicação em questão.

Figura 14 - Plataforma Concentradora.



Fonte: Ortiz, (2013).

Entretanto, para a proposta em questão, o cuidado principal está vinculado ao consumo de energia do mesmo, devido ao fato de tratarmos de sensoriamento remoto, seguido da adequação à proposta *open-source*, bem como do baixo custo de aquisição.

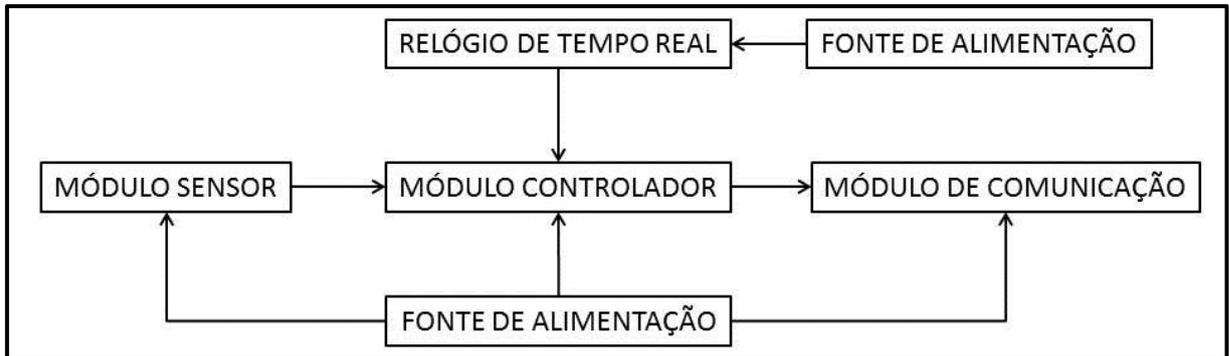
As principais características referentes ao microcontrolador estão vinculadas ao número de bits do conversor analógico digital, memória RAM e consumo de energia, elementos que variam conforme a aplicação.

#### 4.1.2. Plataforma Cliente (nó sensor)

Cada nodo é provido com capacidade de processamento incorporado a requisitos de *hardware* e *software* para aquisição de dados, processamento de dados e transmissão para uma unidade central de rede de trabalho.

Um nó sensor capta informações através de sua unidade sensorial, realiza um processamento local desta informação e encaminha esta para uma plataforma de coleta de dados (Plataforma Concentradora). Um nó sensor pode ser composto por um ou mais sensores. A Plataforma Cliente, ou nó sensor, está apresentada na Figura 15.

Figura 15 - Plataforma Cliente (nó sensor).



Fonte: Ortiz, (2013).

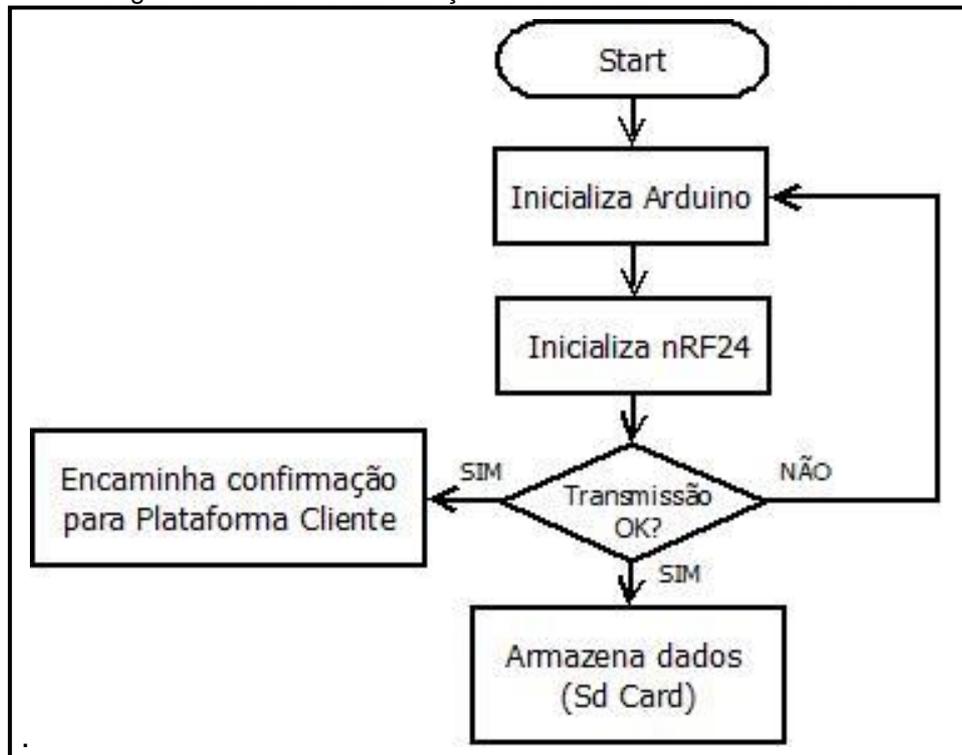
Portanto, a Plataforma Cliente possui um relógio de tempo real com a finalidade de informar ao sistema os dados da coleta no que se refere ao tempo, com alimentação que pode ser da fonte de alimentação do próprio módulo controlador ou independente.

Esta plataforma possui um ou mais sensores que captam os valores das grandezas em estudo e enviam ao módulo controlador do nó sensor através de um módulo transmissor, que apresenta a finalidade de, quando solicitado pelo controlador encaminhar as informações utilizando a tecnologia sem fio à Plataforma Concentradora (ver Figura 15). Não menos importante, tem-se a alimentação do sistema, que fornece a energia para o funcionamento dos elementos pertencentes ao nó sensor.

#### 4.1.3. Configurações de Funcionamento

A Figura 16 apresenta o fluxo de funcionamento da Plataforma Concentradora. Após a inicialização do microcontrolador o mesmo realiza a inicialização do módulo *wireless*, este realiza o recebimento das informações vindas das Plataformas Clientes e, no caso de transmissão com êxito, envia um pacote de retorno para o emissor da informação. Além disto, o pacote que chega é armazenado em módulo de memória para posterior análise. No caso de não recebimento de informação, o microcontrolador, solicita o reinício do módulo *wireless*.

Figura 16 - Fluxo de Informação da Plataforma Concentradora.

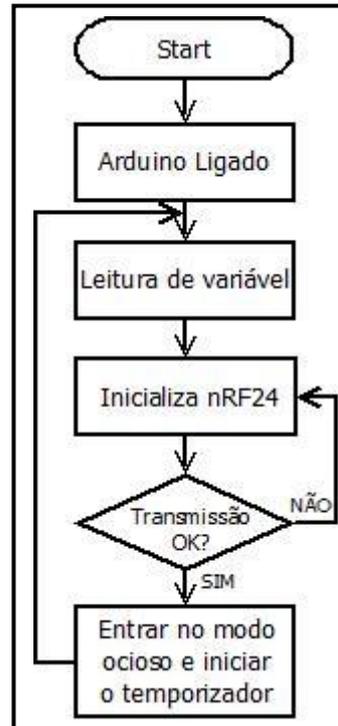


Fonte: Ortiz, (2013).

A Figura 17 apresenta o fluxo de funcionamento do nó sensor onde o microcontrolador ao entrar em funcionamento aciona a leitura de suas entradas (variável medida) e realiza o processamento da informação, realiza a inicialização do módulo transmissor de dados e envia o pacote para a Plataforma Concentradora. O módulo possui um sistema de resposta automática que, ao receber o pacote, gera um novo pacote e encaminha para o elemento transmissor inicial informando do recebimento da informação proveniente deste.

Após entrar no modo ocioso e o temporizador realizar a contagem do tempo de espera, o Arduino sai do modo ocioso e reinicia o processo com a leitura das variáveis conectadas às suas entradas seguindo para o módulo de comunicação nRF24L.

Figura 17 - Fluxo de Funcionamento da Plataforma Cliente.



Fonte: Ortiz, (2013).

## 4.2. Implementação do Sistema Embarcado

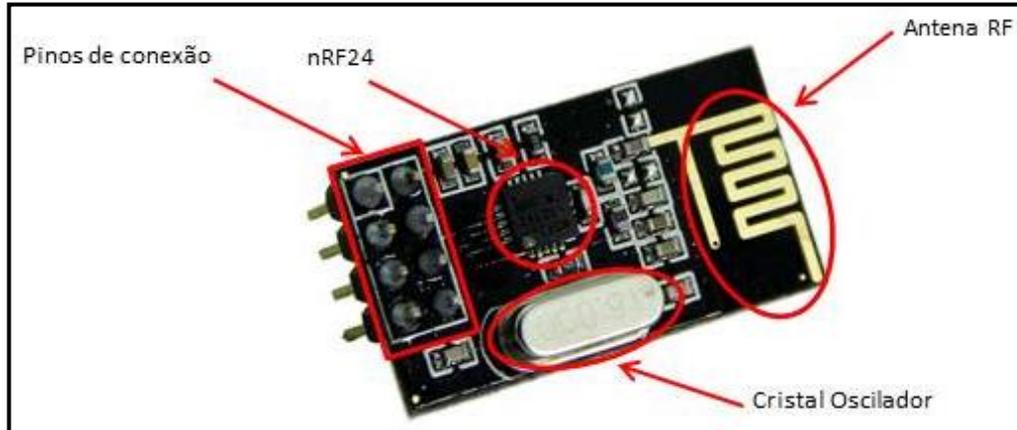
Esta parte do capítulo é destinada ao sistema embarcado utilizado para implementação do modelo proposto apresentado no item 4.1. Informa sobre as características detalhadas da plataforma concentradora e da plataforma cliente implementadas. Além, do módulo de comunicação utilizado.

O módulo nRF24L apresentado no tópico a seguir é parte formadora das Plataformas Concentradora e Cliente, sendo assim, como este possui dupla função (emissor e receptor) a ser utilizada, não se faz necessária a apresentação do módulo para cada uma das plataformas.

### 4.2.1. Módulo *Wireless* nRF24L

O módulo *wireless* nRF24L (Anexo 2) é um componente do tipo rádio que possui como principal característica a comunicação do tipo rádio frequência. A Figura 18 apresenta o módulo de rádio frequência nRF24L da Nordic (NORDIC SEMICONDUCTORS, 2013).

Figura 18 - Módulo nRF24L.



Fonte: Nordic Semiconductors, (2013).

Para o entendimento do funcionamento do módulo em questão é necessário um estudo detalhado e minucioso sobre sua documentação, principalmente seu *datasheet*, fornecido pelo fabricante.

Com o estudo do esquemático do módulo é possível a constatação de que o circuito principal é o *chip* nRF24L. Conforme o fabricante, este módulo pode operar como emissor ou receptor, dependendo exclusivamente de sua configuração, além de possuir comunicação com outros rádio frequência e, além disso, utilizando o protocolo SPI de comunicação consegue comunicar-se com microcontroladores com uma frequência de até 8Mhz. No caso de comunicação entre rádios frequência do mesmo tipo, esta pode apresentar até 2Mbits para a taxa de transferência de dados, possui 125 canais e trabalha na faixa de frequência de 2,4 – 2,5GHz.

Conforme anteriormente mencionado, o módulo possui duas funções conforme sua configuração, entretanto, na prática, as suas funções são dependentes do estado que estão suas entradas e saídas (recebendo ou enviando dados) e como estão configurados os registradores. O Quadro 3 apresenta os principais modos de funcionamento do nRF24L.

Quadro 3 - Modos de Configuração do nRF24L.

Mode	PWR_UP register	PRIM_RX register	CE input pin	FIFO state
RX mode	1	1	1	-
TX mode	1	0	1	Data in TX FIFOs. Will empty all levels in TX FIFOs <sup>a</sup> .
TX mode	1	0	Minimum 10µs high pulse	Data in TX FIFOs. Will empty one level in TX FIFOs <sup>b</sup> .
Standby-II	1	0	1	TX FIFO empty.
Standby-I	1	-	0	No ongoing packet transmission.
Power Down	0	-	-	-

Fonte: Nordic Semiconductors, (2013).

Para a configuração do módulo nRF24L é necessário gravar a sequência de instruções nos registradores do módulo. O Quadro 4 apresenta informações referente ao procedimento de gravação via SPI.

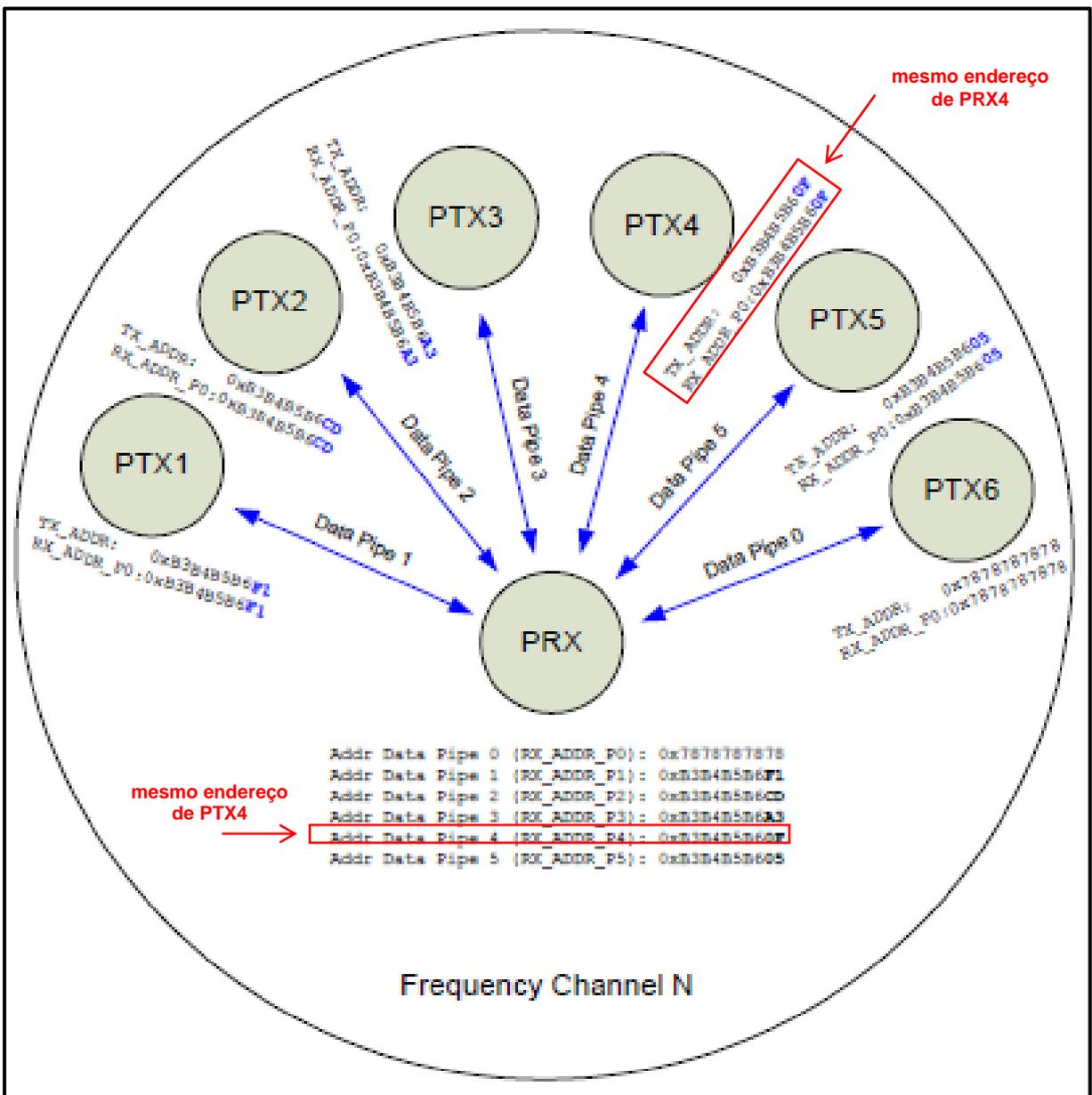
Quadro 4 - Instruções para o nRF24L + SPI.

Command name	Command word (binary)	# Data bytes	Operation
R_REGISTER	000A AAAA	1 to 5 LSByte first	Read command and status registers. AAAAA = 5 bit Register Map Address
W_REGISTER	001A AAAA	1 to 5 LSByte first	Write command and status registers. AAAAA = 5 bit Register Map Address Executable in power down or standby modes only.
R_RX_PAYLOAD	0110 0001	1 to 32 LSByte first	Read RX-payload: 1 – 32 bytes. A read operation always starts at byte 0. Payload is deleted from FIFO after it is read. Used in RX mode.
W_TX_PAYLOAD	1010 0000	1 to 32 LSByte first	Write TX-payload: 1 – 32 bytes. A write operation always starts at byte 0 used in TX payload.
FLUSH_TX	1110 0001	0	Flush TX FIFO, used in TX mode
FLUSH_RX	1110 0010	0	Flush RX FIFO, used in RX mode Should not be executed during transmission of acknowledge, that is, acknowledge package will not be completed.
REUSE_TX_PL	1110 0011	0	Used for a PTX device Reuse last transmitted payload. TX payload reuse is active until W_TX_PAYLOAD or FLUSH TX is executed. TX payload reuse must not be activated or deactivated during package transmission.
R_RX_PL_WID <sup>a</sup>	0110 0000	1	Read RX payload width for the top R_RX_PAYLOAD in the RX FIFO.  Note: Flush RX FIFO if the read value is larger than 32 bytes.
W_ACK_PAYLOAD <sup>a</sup>	1010 1PPP	1 to 32 LSByte first	Used in RX mode. Write Payload to be transmitted together with ACK packet on PIPE PPP. (PPP valid in the range from 000 to 101). Maximum three ACK packet payloads can be pending. Payloads with same PPP are handled using first in - first out principle. Write payload: 1– 32 bytes. A write operation always starts at byte 0.
W_TX_PAYLOAD_NOACK <sup>a</sup>	1011 0000	1 to 32 LSByte first	Used in TX mode. Disables AUTOACK on this specific packet.
NOP	1111 1111	0	No Operation. Might be used to read the STATUS register

Fonte: Nordic Semiconductors, (2013).

A Figura 19 exibe uma representação da rede de módulos funcionando com um receptor e seis transmissores. Nessa figura pode ser observado que a comunicação entre os módulos ocorre quando o endereço do módulo emissor for configurado com o mesmo endereço do módulo receptor. Como o nRF24L pode funcionar como emissor e receptor, o módulo PTX4 salientado na Figura 19, apresenta os endereços de emissão e recebimento de informações de PRX.

Figura 19 - Módulo nRF24L em Rede de Emissão e Recepção.



Fonte: Nordic Semiconductors, (2013).

Toda vez que ocorre uma transição no estado lógico de alto para baixo em CSN, o conteúdo presente no registrador de estado é colocado no MISO. A comunicação de rádio frequência do módulo é realizada em um modo chamado “*Enhanced ShockBurst™*” para transmissão e recepção.

Conforme o *datasheet* apresentado por Nordic Semiconductors, (2008) cada módulo nRF24L possui apenas um endereço para transmissão de informações, entretanto, pode utilizar até seis *data pipes* para recepção de informação. Resumindo, este módulo pode receber dados de seis outros módulos, armazenar estas informações para posterior manuseio.

#### 4.2.1.1. *Transmissão de dados nRF24L*

Quando deseja-se realizar uma transmissão de dados, primeiramente o bit de configuração PRIM\_RX precisa estar em nível lógico baixo. No momento em que a aplicação do microcontrolador possuir dados para enviar, o endereço de destino e os dados a serem enviados devem ser pulsados no nRF24L via interface SPI. Caso ocorra a necessidade de enviar mais dados ao mesmo endereço, esse não precisa ser reenviado. Como o dispositivo de transmissão precisa receber o ACK, o *data pipe* 0 deve ser configurado para recebê-lo, para tanto, o endereço deste deve ser o mesmo utilizado na transmissão.

Um pulso para nível alto em CE com uma duração mínima de 10µs inicia a transmissão. Se a função auto-ACK estiver habilitada (ENAA\_P0=1), ao realizar uma transmissão o rádio passa imediatamente para o modo RX e se um pacote válido é recebido dentro da janela de tempo programada, a transmissão então foi bem sucedida. Então, o bit TX\_DS é colocado em nível lógico alto, mostrando que os dados já foram removidos de TX FIFO. Se um ACK válido não é recebido dentro dessa janela de tempo, os dados são reenviados, desde que esta opção (auto-retransmissão) esteja habilitada. Caso, o número máximo de tentativas de envios seja alcançado, o bit MAX\_RT do registrador de status é setado e os dados não são removidos de TX FIFO. O pino de interrupção IRQ é ativado quando MAX\_RT ou TX\_DS são colocados em nível lógico alto. Se o número máximo de tentativas de transmissão é atingido, então uma nova transmissão não pode ser efetuada até que a interrupção MAX\_RX seja zerada.

O dispositivo vai imediatamente para modo *standby* caso CE esteja em nível lógico baixo, consumindo assim pouca energia. Caso contrário, o próximo pacote em TX FIFO será enviado, porém se TX FIFO estiver vazia e CE continuar alto, um segundo modo de *standby* é ativado.

#### 4.2.1.2. *Recepção de dados nRF24L*

Quando o interesse é efetuar uma recepção de dados o bit de configuração PRIM\_RX deve ser colocado em nível lógico alto. Todos os data pipes que serão utilizados para receber dados devem estar habilitados (registrador EM\_RXADDR). Os tamanhos corretos dos pacotes de dados a serem recebidos devem estar configurados (registradores RX\_PW\_PX).

A ativação da recepção do módulo é realizada através da permanência de CE em nível lógico alto. Após, 130µs o módulo nRF24L estará em funcionamento normal, podendo receber informações de outro módulo devidamente configurado.

Quando um pacote válido é recebido (endereço e CRC corretos), os dados são guardados em RX FIFO e o bit RX\_DR do registrador de estado é colocado em nível alto. O pino de interrupção IRQ é posto em alto quando RX\_DR está alto. O RX\_P\_NO no registrador de estado indicará em qual data pipe a informação foi recebida. Se auto-ACK estiver habilitado um ACK será enviado de volta.

Caso seja necessária a comunicação em ambos os lados, o microcontrolador deve fazer o chaveamento em PRIM\_RX para, que, somente assim consiga sincronizar a recepção e transmissão de dados.

#### 4.2.2. **Plataforma Concentradora**

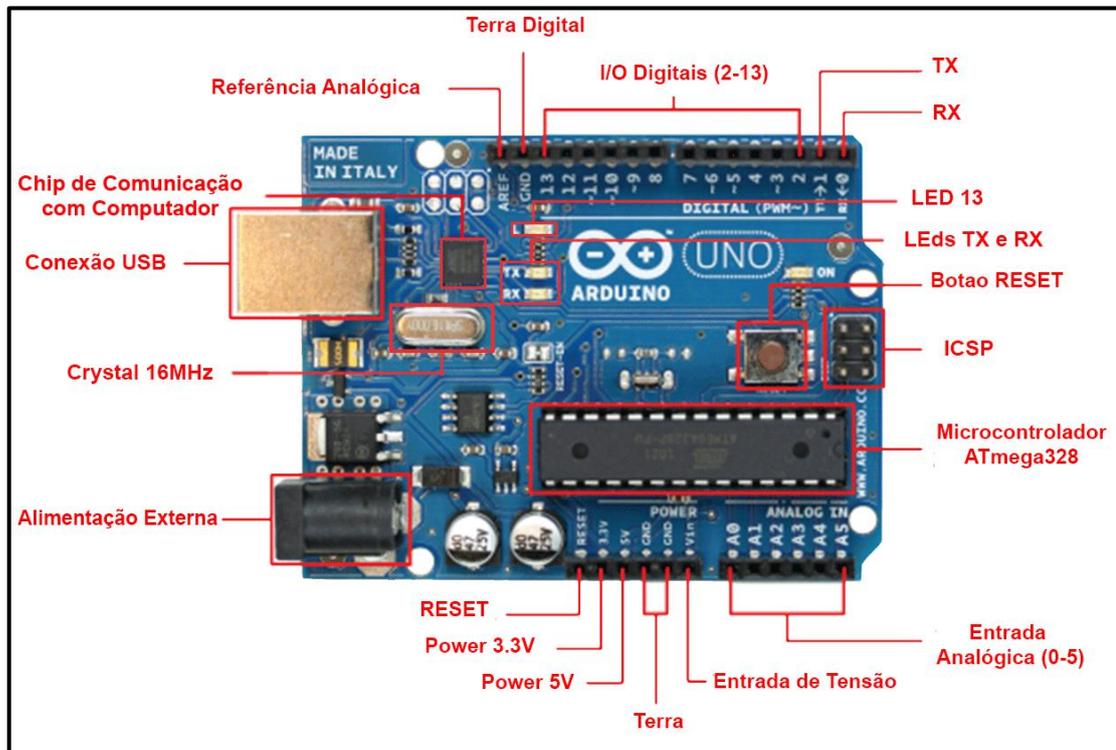
Os elementos pertencentes à Plataforma Concentradora implementada são o microcontrolador, módulo de armazenamento de dados, módulo de transmissão, fonte de alimentação e o relógio de tempo real.

#### 4.2.2.1. Microcontrolador

O principal elemento da plataforma concentradora é o microcontrolador, neste caso o Arduino modelo UNO (Arduino, 2013). A palavra Arduino se refere a três ferramentas separadas, que agrupadas criam um conjunto de ferramentas que nos referimos como Plataforma de Desenvolvimento Arduino (Figura 20): microcontrolador, *Processing* e Ambiente Integrado de Desenvolvimento (IDE).

O microcontrolador, que existe em várias formas, com diversos tamanhos e configurações de placas, disponível livremente que qualquer pessoa, com os conhecimentos necessários pode montar e trabalhar. Esse microcontrolador apresenta um investimento inicial relativamente baixo quando comparado a outros. Seguindo, a linguagem e o compilador, que criam o código para o microcontrolador, assim como a linguagem *Processing*, que simplifica muitas das tarefas dos *designers* e desenvolvedores, quando o desafio é trabalhar com *hardware* e interação física, além de funcionar como um sistema supervisor. O ambiente de programação do Arduino, que como a IDE *Processing*, é ambiente com de código aberto simples e de fácil utilização construída em linguagem de programação Java.

Figura 20 - Arduino UNO.



Fonte: Adaptado de Arduino,(2013).

Estes microcontroladores da série Atmel da AVR (Arduino, 2013) são muito populares com baixo consumo de energia, o que é um fator crítico na escolha de um microcontrolador para sistemas de sensoriamento que utilizam a tecnologia *wireless*, visto que o elevado consumo de energia diminui a autonomia do sistema.

O ATmega328 é o microcontrolador da placa do Arduino UNO e foi selecionado no presente trabalho por conta de seu baixo custo, facilidade de aquisição no mercado nacional e, sobretudo, porque nesse momento inicial 32KB de memória *flash* (memória de somente leitura que pode ser programada e apagada eletricamente) são o suficiente para as aplicações descritas na proposta.

Porém, em um momento posterior, com a inserção de novos nodos sensores e a implementação de um protocolo de comunicação a complexidade do sistema aumentará, necessitando assim de um microcontrolador mais avançado como, por exemplo, o ATmega1280 (128KB de memória *flash*) presente no Arduino modelo Mega.

#### 4.2.2.2. *Armazenamento de Dados*

Considerando que a memória de armazenamento de dados do Arduino é bastante limitada, utilizou-se a opção de usar cartões de memória como alternativa para armazenar os dados monitorados. Além de grande capacidade de armazenamento, apresenta custo relativamente baixo, vindo ao encontro das premissas do trabalho proposto.

#### 4.2.2.3. *Comunicação Wireless*

A comunicação dos dispositivos do sistema é realizada utilizando o módulo nRF24L apresentado em 4.2.1. Na plataforma concentradora, sua configuração é para trabalhar como receptor de dados, estes provenientes dos transmissores presentes nas estações clientes.

#### 4.2.2.4. *Alimentação*

A alimentação do sistema em teste pode ser realizada por um dispositivo eletrônico que faz a conversão de uma tensão alternada da rede (110/220V) para

tensão contínua como, por exemplo, em uma fonte ATX de computador que transforma a tensão AC (corrente alternada) para 3 valores de tensão CC (corrente contínua), sendo elas 12Vcc, 5Vcc e também 3,3Vcc. Para efetuar essa transformação ela dispõe de um circuito eletrônico que faz a retificação da tensão de entrada, e a filtragem e regulação da tensão de saída.

Outro exemplo de aplicação muito bem empregado para este trabalho e, vem ao encontro das premissas do trabalho é a utilização de carregadores antigos de celulares, estes geralmente são *bi-volt* e podem receber em sua entrada as tensões de 110V ou 220V e, liberam em sua saída uma tensão em torno de 5V, dependendo da marca e modelo.

Entretanto, como se trata de um rede de sensores sem fios a utilização da alimentação se deu através de baterias convencionais de 9V, visto que as análises do trabalho estão embasadas na autonomia do sistema.

#### 4.2.2.5. *Relógio de Tempo Real*

Um relógio de tempo real (RTC ou *Real Time Clock*, em inglês) é um relógio computacional (geralmente sob a forma de um circuito integrado) que mantém o controle do tempo/calendário. O RTC está presente na grande maioria de equipamentos e aplicações que necessitam de características específicas, no que diz respeito ao controle de tempo.

Embora o controle do tempo possa ser feito sem um RTC, sua utilização acrescenta vantagens devido ao fato de necessitar de pouca energia para seu funcionamento, propiciando ao sistema principal condições de se dedicar a tarefas mais importantes, é um método reconhecido como preciso e trabalha com fonte de energia do sistema (a mesma do microcontrolador) ou com energia alternativa própria (bateria), permanecendo em funcionamento mesmo na falta de energia da fonte principal do sistema.

Com o intuito de fornecer à aplicação as informações de data e hora do instante em que foram realizadas as leituras dos sensores, utilizou-se um RTC modelo DS1307 (Anexo 3). Este relógio apresenta uma comunicação serial com o protocolo I<sup>2</sup>C (MAXIM, 2008).

O DS1307 ainda possui uma memória de 56 bytes e consome cerca de 500nA, além de comutar para a alimentação secundária no caso de falta de energia,

devido a um sensor interno que realiza exclusivamente esta função (TELECO, 2013). A alimentação secundária é realizada através de uma bateria código CR2032 de 3,5V geralmente de íon-lítio de 35mAh e, sua utilização no sistema é indispensável. Como o consumo de energia do DS1307 é baixo, a duração da bateria de alimentação secundária pode chegar a 8 anos, considerando constante o consumo de 35mAh.

#### 4.2.3. Plataforma Cliente (nó sensor)

Os elementos pertencentes à Plataforma Cliente implementada são o microcontrolador, elemento sensor, módulo de comunicação *wireless*, fonte de alimentação e o RTC.

##### 4.2.3.1. Comunicação Wireless, RTC e Alimentação

Os elementos descritos para a plataforma concentradora de comunicação sem fio, RTC e fonte de alimentação, são os mesmos elementos utilizados pelo nó concentrador de dados. Sendo assim, torna-se dispensável uma reapresentação destes.

##### 4.2.3.2. Microcontrolador

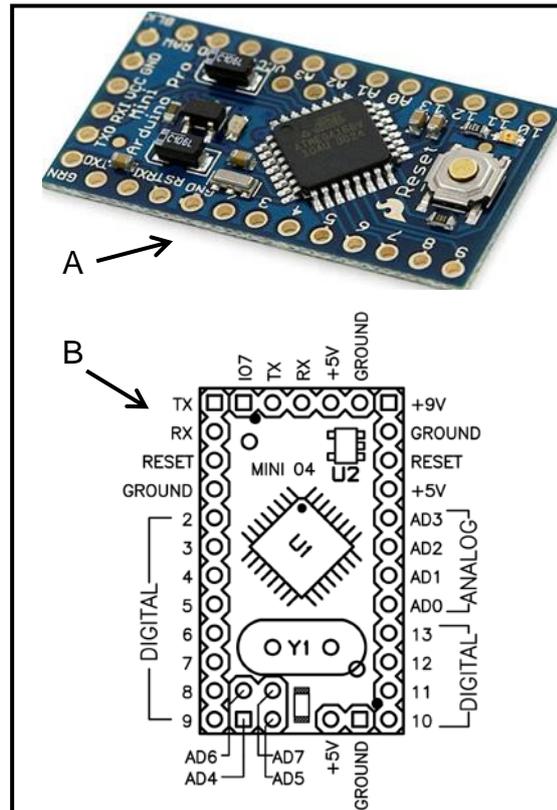
A plataforma cliente é embasada sob a o Arduino modelo PRO Mini (ARDUINO, 2013) que, consiste de um pequeno microcontrolador com as mesmas funções apresentadas pelo Arduino modelo UNO, diferenciadas pelo tamanho físico da placa e está apresentada na Figura 21.

A placa apresenta um microprocessador ATmega328 com 14 entradas e saídas digitais, sendo que 6 podem ser utilizadas como saídas de modulação por largura de pulso ou PWM (*Pulse-Width Modulation*) e 8 entradas de sinal analógico. Esta placa não apresenta conexão para comunicação direta e nem para alimentação.

Devido a característica de pequeno porte essa placa possui uma aplicação embasada na permanência da programação na placa (montagens permanentes), visando à diminuição de custos do projeto final, bem como, um acabamento qualificado quando comparado a placa Arduino UNO. Este modelo está disposto em

duas versões comerciais: funcionamento de 3,3V com 8MHz ou 5V com 16MHz. Para explicar de forma mais detalhada, a Figura 21 apresenta na parte A uma vista em perspectiva da placa real do Arduino modelo PRO Mini e, na parte B da figura está exposta a pinagem da placa para interconexão com o meio externo.

Figura 21 - Arduino PRO Mini.



Fonte: Arduino, (2013).

Conforme *datasheet* da placa Arduino PRO Mini (ARDUINO, 2013) o Quadro 5 apresenta as informações técnicas básicas do Arduino PRO Mini.

Quadro 5 – Dados Técnicos do Arduino PRO Mini

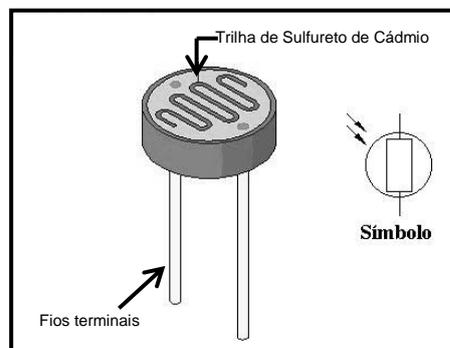
<b>Dados Técnicos – Arduino PRO Mini</b>	
Microcontrolador	ATmega328
Tensão de operação	5V
Tensão de alimentação (limite)	5 – 12V
Entradas e saídas digitais	14 (6 podem ser PWM)
Entradas analógicas	8
Corrente contínua por pino de I/O	40mA
Memória Flash	16 KB (2KB são utilizados pelo bootloader)
Memória SRAM	1KB
EEPROM	512 bytes
Velocidade do clock	16MHz

Fonte: Arduino, (2013).

#### 4.2.3.3. *Medição de Luminosidade*

O sensor de luminosidade LDR (*Light Dependent Resistor*) (Figura 22) permite a detecção da luz de um determinado ambiente através da variação de sua resistência (em  $\Omega$ ) conforme a intensidade de luz que chega à sua superfície. São encontrados com facilidade no comércio em geral e apresentam facilidade de aquisição em diferentes tamanhos de área de superfície. Sua resistência diminui proporcionalmente à intensidade de luz ambiente detectada.

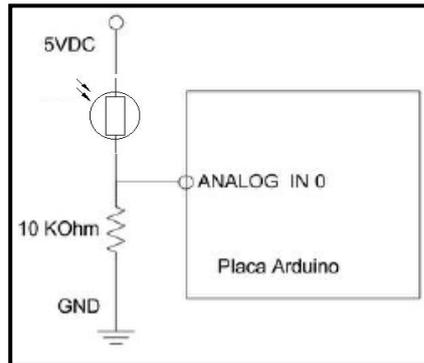
Figura 22 - Sensor LDR.



Fonte: Doctrionics, (2013)

A conexão do LDR (Anexo 4) com a plataforma controladora Arduino PRO é realizada através da conexão de um dos seus terminais à alimentação de +5V fornecida pela placa e, o outro terminal do sensor conectado a uma das entradas analógicas do controlador. Neste terminal (conectado à placa), também existe a necessidade de conectar um resistor de  $10K\Omega$ , por exemplo, para realizar a divisão de tensão entre os dois elementos, visto que o outro terminal da resistência está conectado ao terra do sistema conforme apresentado na Figura 23.

Figura 23 - Montagem do LDR com o Arduino PRO.



Fonte: Adaptado de Doctronics, (2013).

Por se tratar de um sensor analógico e o microcontrolador adotado possuir 10 bits de resolução, existe um intervalo entre 0 e 1023, portanto, 0 condiz com a falta de iluminação total e 1023 corresponde ao máximo de luminosidade incidente sobre o sensor.

#### 4.2.3.4. *Medição de Temperatura*

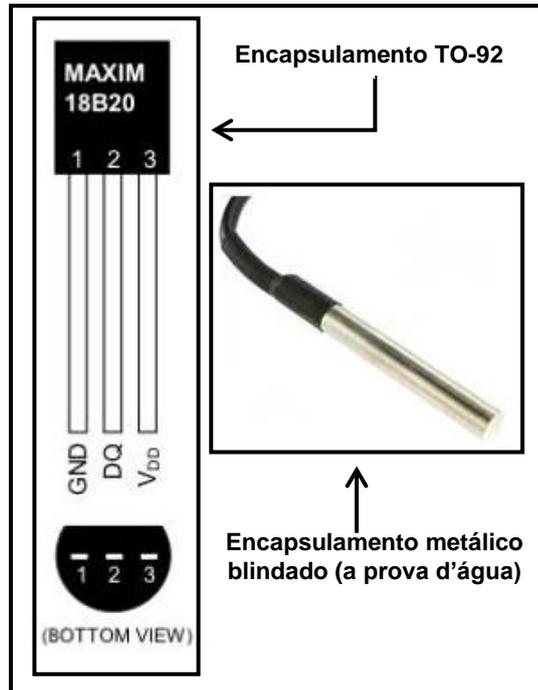
O sensor utilizado para a medição de temperatura é um sensor digital DS18B20 (MAXIM, 2007) que possui um controle de sua resolução entre 9 e 12 bits, com isso ocorre um aumento ou diminuição de sua precisão e, conforme o aumento do número de bits utilizado maior será o tempo de processamento do controlador devido ao aumento do número de conversões necessárias (para mais informações ver Anexo 5). Possui ainda a função de alarme através de configurações realizadas por um usuário para níveis máximos e mínimos de temperatura.

A Figura 24 apresenta o sensor DS18B20 em diferentes encapsulamentos (muitas vezes chamados de invólucros). A primeira parte da imagem remete a um sensor DS18B20 com encapsulamento do tipo TO-92 (encapsulamento mais utilizado para o sensor) e a segunda parte mostra o encapsulamento para ambientes externos e que possui também a característica de ser a prova d'água.

Sua comunicação com o controlador é do tipo *One-Wire* (um fio) que apresenta como característica a comunicação através de uma única linha de dados. É um protocolo de comunicação que basicamente consiste barramento de dados formado por dois fios e ligados aos sensores, sendo um dos fios o de *ground* (terra) e outro é utilizado para alimentação e dados simultaneamente (MICROCHIP, 2008).

Os componentes que utilizam o protocolo *One-Wire* são elementos que necessitam de uma corrente de alimentação muito reduzida, possibilitando assim utilizar o próprio barramento de dados como alimentação para seu funcionamento.

Figura 24 - Sensor de Temperatura DS18B20.



Fonte: Maxim, (2007).

Este protocolo pode ser utilizado para uma sequência de sensores devido à característica de comunicação entre os componentes sensores e o controlador ser do tipo mestre/escravo. O controlador mestre realiza a identificação dos endereços de cada sensor no barramento, é uma identificação única e de fábrica, apresenta um código de 64 bits gravado em uma pequena memória ROM (*Read Only Memory*). Um protocolo *One-Wire* permite que até 127 elementos estejam conectados ao mesmo barramento (MICROCHIP, 2008).

#### 4.2.3.5. Medição de Umidade

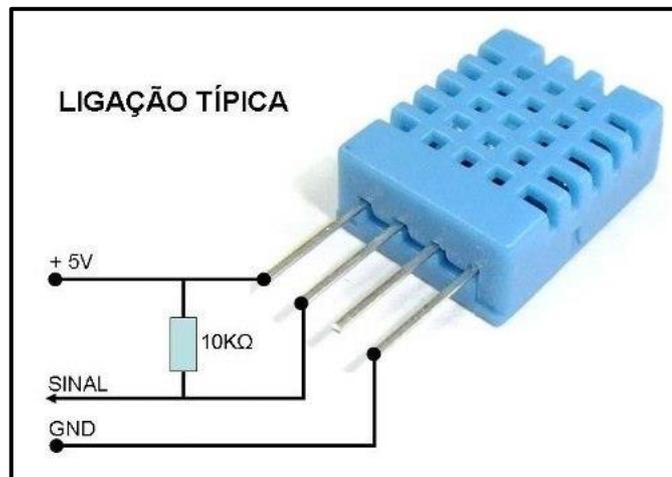
Para a medição de umidade foi escolhido o sensor DHT11 que apresenta dois sensores no mesmo encapsulamento (temperatura e umidade).

A parte de temperatura é realizada com um termistor NTC (*Negative Temperature Coefficient*) que apresenta um coeficiente de variação de resistência com a temperatura negativo, ou seja, a resistência diminui com o aumento da temperatura. A medição de umidade é realizada através de um elemento resistivo. Possui como característica a diminuição da resistência interna com o aumento da umidade (D-ROBOTICS, 2010).

Estes sensores estão ligados a um conversor analógico-digital AD e à leitura dos valores pode ser realizada através de um canal de comunicação serial dedicado (*One-Wire*), devido ao fato do DHT11 possuir internamente um microcontrolador de 8 bits.

A Figura 25 apresenta um sensor DHT11 com seu esquema de ligação usual, onde o resistor de 10k $\Omega$  é utilizado para calibragem do componente (mais informações no Anexo 6).

Figura 25 - Sensor de Temperatura e Umidade Relativa.



Fonte: Adaptado de D-Robotics, (2010).

O Quadro 6 apresenta as características principais do sensor DHT11 que foram consideradas para sua escolha.

Quadro 6 - Características do Sensor DHT11.

<b>Descrição</b>	<b>Umidade</b>	<b>Temperatura</b>
Tensão de alimentação	3 a 5,5VDC (5VDC recomendado)	
Saída do Sinal	digital de 1 fio	
Faixa de medição	20 - 90%	0 - 50°C
Precisão	±4%RH (Max ± 5%RH)	±2°C
Resolução	1%	0,1°C
Estabilidade a longo prazo	±0,5%RH/ano	----

Fonte: Adaptado de D-Robotics, (2010)

Os dados apresentados evidenciam a limitação de utilizar este sensor para medir temperatura na criosfera, no que diz respeito ao intervalo de temperatura. O sensor possui uma medição de 0 a 50°C, não correspondendo aos possíveis valores de temperatura para o ambiente glacial.

## 5. VALIDAÇÃO

Este capítulo está destinado a apresentar a validação da proposta e está dividido em duas partes. Na primeira parte do capítulo são apresentadas as informações referentes às métricas pertinentes à validação do sistema proposto e implementado, expondo informações quanto ao teste de confiabilidade, estimativas de consumo de energia e sobre o custo de implementação do sistema.

Posteriormente, a etapa de validação do protótipo é exposta na segunda parte do capítulo, nesta etapa são apresentados os procedimentos realizados, seguido dos resultados obtidos e das respectivas discussões. O capítulo é finalizado com a apresentação da correlação entre a plataforma implementada e a estação AWS utilizada como para a realização deste trabalho.

### 5.1. Métricas de Avaliação

Com a finalidade de avaliar o comportamento de uma rede de sensores sem fios, parâmetros são apresentados para quantificar o desempenho de um determinado sistema. Geralmente, várias métricas são utilizadas para comparar vários cenários. Para o estudo de avaliação de desempenho as métricas devem ser primeiramente definidas, sendo que o tipo das métricas depende de qual sistema está sendo avaliado (JOHNSON; MARGALHO, 2011).

Pelo exposto, as métricas selecionadas para avaliar o trabalho em questão buscam ressaltar os parâmetros que apresentam importância em ambientes em que os recursos computacionais são escassos.

### **5.1.1. Avaliação da confiabilidade quanto à distância máxima de operação**

Como primeiro parâmetro de análise tem-se o teste de confiabilidade do sistema implementado quanto à distância máxima de operação, é uma métrica que busca a consolidação da distância máxima de operação entre a plataforma concentradora e a plataforma cliente, através de teste de comunicação em visada direta. É um procedimento simples em que é realizada a comunicação entre o emissor e o receptor e, após, o afastamento do elemento sensor (Plataforma Cliente) buscando o ponto de desconexão do sistema. Claramente, este teste foi feito (3 vezes) para confirmação da distância obtida, para eliminar dúvidas quanto à desconexão por outros motivos. Obtendo uma média entre as distâncias de desconexão dos três testes.

Para este teste, um programa foi desenvolvido para enviar o sinal que o sensor da Plataforma Cliente estava sensoriando para a Plataforma Concentradora e, cada uma das plataformas recebeu em sua montagem um LED (*Light-Emitting Diode*) para que houvesse o acompanhamento entre a emissão e o recebimento do sinal entre as Plataformas. O tempo de leitura configurado foi de 30 segundos. No ponto em que houve a desconexão, ou seja, falha entre o envio e o recebimento de pacotes, foi realizada a medição de distância linear com o auxílio de uma trena a laser para a verificação entre a Plataforma Concentradora e a Plataforma Cliente.

### **5.1.2. Avaliação da confiabilidade quanto à perda de pacotes**

Esta métrica consiste na verificação da quantidade de pacotes que ao serem enviados são recebidos pela plataforma de destino, considerando que não existe uma criticidade quanto ao recebimento dos pacotes, por não se tratar de um sistema de tempo real crítico. Para tanto, a potência de transmissão do módulo nRF24 quando configurado como emissor deve estar configurado na potência mínima ( $P_t = 0$ ) -18dBm.

Conforme (NORDIC, 2003) a verificação de pacotes automaticamente pelo modo emissor ocorre da seguinte forma:

1. TX (Plataforma Cliente) começa a transação através da transmissão de um pacote de dados para o RX (Plataforma Concentradora). O sistema *ShockBurst*<sup>TM</sup> possui a função de ajustar automaticamente a TX (Plataforma Cliente) no modo de recepção para esperar o pacote ACK proveniente da Plataforma Concentradora.

2. Se o pacote for recebido pelo RX (Plataforma Concentradora), então *ShockBurst*<sup>TM</sup> monta automaticamente e transmite um pacote de confirmação (ACK) para o TX (Plataforma Cliente), antes de voltar para o modo de receber.

3. Se o TX não recebe o pacote ACK imediatamente, o sistema *ShockBurst*<sup>TM</sup> retransmite automaticamente o pacote de dados original após um atraso programável e define a TX (Plataforma Cliente) na opção de receptora para esperar o pacote ACK.

### 5.1.3. Consumo de energia e autonomia do sistema proposto

Para fins de estimativa e modelagem da energia consumida pelo sistema, tendo por base os fluxos de entrada a partir da alimentação (i.e., baterias) e os fluxos de saída (i.e., plataforma concentradora e plataforma cliente), foi considerado o modelo padrão de uma bateria simples e o modelo padrão de um componente receptor de energia (TREMBLAY et al., 2007). Estes dois modelos estão implementados junto ao software Matlab® e descrevem o equacionamento dos processos de descarga de uma bateria durante a alimentação de uma máquina qualquer, sendo conhecidos os parâmetros de consumo (e.g., tensão, corrente, entre outros). A Figura 26 apresenta o modelo utilizado para a estimativa da energia consumida pelo sistema.

O modelo de fluxo de energia no sistema proposto pode ser sintetizado segundo a Equação 1:

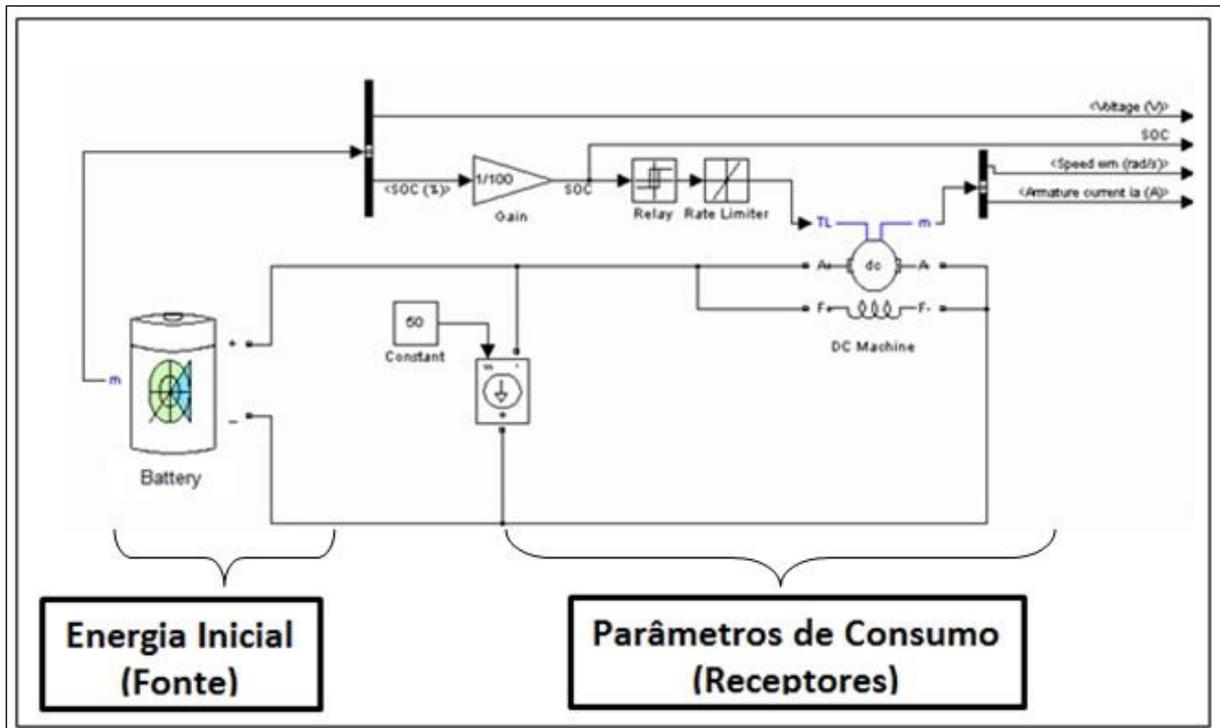
$$E(t) = E(0) - E'(t)$$

Equação 1

onde:

- $E(t)$ : Carga remanescente sobre a fonte de alimentação (bateria)
- $E(0)$ : Carga inicial armazenada na fonte de alimentação
- $E'(t)$ : Energia consumida pelo sistema

Figura 26 - Modelo Genérico de uma Bateria Fornecendo Energia para uma Máquina Genérica.



Fonte: Adaptado de Matlab®.

O consumo de energia da bateria é uma função descrita pela corrente de alimentação dos receptores (neste caso, o sistema). Neste trabalho foi considerada a alimentação por baterias de chumbo-ácido de 9V de tensão nominal. Para o entendimento do processo de descarga destas baterias enquanto alimentam o sistema, foi adotada a Lei de Peukert (DOERFFEL; SHARKH, 2006), que expressa a capacidade de uma bateria de chumbo-ácido, em termos da rapidez com que a mesma é descarregada. Com esta relação descrita por Peukert, pode-se avaliar a capacidade de fornecimento de energia de uma bateria em relação a seu tempo de descarga, por exemplo. Segundo a Lei de Peukert, o tempo de alimentação ou capacidade temporal de alimentação de uma bateria chumbo-ácido pode ser descrito como a Equação 2:

$$t = H \left( \frac{C}{IH} \right)^k$$

Equação 2

Onde:

- $H$ : é o tempo de descarga nominal, em (horas).
- $C$ : é a capacidade nominal de que a taxa de descarga, em (ampéres-hora).
- $I$ : é a corrente de descarga real, em (A - Amps).
- $k$ : é a constante de PEUKERT, (sem dimensão e com valores variando entre 1,1 e 1,3 para baterias chumbo-ácido).
- $t$ : é o tempo real para descarregar a bateria, em (horas).

A Lei de Peukert pode ser adaptada, fornecendo uma estimativa simples e direta da capacidade de tempo de alimentação de uma bateria em função da corrente de alimentação e da carga inicial da bateria. Esta simplificação nos permite estimar o tempo de duração de uma bateria, conhecendo a corrente de alimentação produzida por esta e sua capacidade de carga, conforme a Equação 3.

$$t = \frac{Q}{i^k}$$

Equação 3

Onde:

- $Q$ : Capacidade de carga da bateria (Coulomb);
- $i$ : Corrente de alimentação (Ampere);
- $t$ : Tempo de duração de uma bateria;
- $k$ : é a constante de Peukert (com valores entre 1,1 e 1,3 para baterias chumbo-ácido).

#### 5.1.4. Custo de implementação

Esta métrica consiste na quantificação dos valores em reais (R\$) no que se refere à implantação da plataforma proposta e implementada, levando em conta os valores de cada componente individualmente, buscando a comparação com a estação AWS convencional. A métrica busca a afirmação de que o sistema proposto

e implementado possui requisitos suficientes, no que se refere a custos, para que esta opção torne-se amplamente adotada.

## **5.2. Estudo de Caso**

Para a validação e análise de desempenho da rede de sensores foram analisadas as métricas relacionadas à conexão entre emissor e receptor de sinal, perda de pacotes e o consumo de energia. E, a averiguação destas métricas foi realizada em campo aberto sem obstáculos entre a Plataforma Concentradora e a Plataforma Cliente, buscando o mínimo de interferência quanto a obstáculos, o que ocorre na área a ser aplicado o protótipo desenvolvido.

Os testes do sistema implementado foram realizados na Universidade Federal do Rio Grande (FURG) devido ao fato de utilizar os dados da estação comercial AWS, presente nesta intuição, para correlação de dados com o protótipo desenvolvido.

Esta parte do capítulo também foi destinada para a apresentação dos resultados obtidos com os testes em laboratório, apresentação das informações que agregam valor ao trabalho desenvolvido, bem como, a discussão de todos os passos realizados, principalmente sobre os resultados obtidos com a implementação da rede de sensores sem fio.

### **5.2.1. Distância de conexão entre emissor e receptor de sinal**

Para a distância de conexão entre emissor e receptor de sinal do sistema implementado, com o programa descrito no item 5.1.1 e as características informadas também neste item, foram realizados os testes referentes à máxima distância de operação que o módulo nRF24, aplicado ao sistema, permaneceria em comunicação. Os resultados obtidos estão apresentados no Quadro 7 e, neste é possível a constatação de que com as três medições realizadas para a conexão entre a Plataforma Concentradora e Plataforma Cliente, os valores obtidos em metros são muito aproximados.

Quadro 7 – Distância Máxima de Operação

	<b>Distância 1</b>	<b>Distância 2</b>	<b>Distância 3</b>	<b>Média das Distâncias</b>
Distância (m) do ponto de desconexão: Plataforma Concentradora vs Plataforma Cliente	48,3m	51,4m	49,7m	49,8m

Fonte: Ortiz, (2013).

Portanto, obteve-se uma média muito próxima de 50 metros de comunicação entre as duas plataformas quando em visada direta, o que demonstra a possibilidade de um diâmetro de aproximadamente 100 metros de atuação para uma única Plataforma Concentradora de dados.

### 5.2.2. Perdas de pacote

Para a perda de pacotes, conforme apresentado no item 5.1.2 os experimentos foram embasados na emissão e no recebimento de confirmação de pacotes pela Plataforma Cliente, para isto foi montado um programa para a contagem de pacotes enviados e para a contagem de recepções ACK do módulo.

A Figura 27, onde estão presentes os valores totais de pacotes enviados e o número de confirmações recebidas. Não necessariamente, deveria existir o contador de pacotes enviados pela Plataforma Cliente, visto que, esta é configurada para transmitir a cada fração de tempo o seu pacote, podendo ser calculado com base no tempo o número de pacotes que deveriam ter sido enviados. Entretanto, para a confiabilidade da transmissão a contagem se fez necessária.

Figura 27 - Percentual de Perda de Pacotes.



Fonte: Ortiz, (2013).

### 5.2.3. Consumo e Autonomia de Energia das Plataformas

O consumo de energia a partir do protótipo, considerando a plataforma cliente e a plataforma controladora de rede, demanda o consumo do controlador arduino, sensores e periféricos (i.e., *shields*) empregados. Para fins de estimativa, foram considerados valores típicos de corrente de consumo, dados por  $50\mu\text{A}$  por *shield*,  $95\mu\text{A}$  para a plataforma de comunicação de rede e  $5,9\mu\text{A}$  para o controlador Arduino (RIVERO, 2011). De posse desses valores, foram obtidos os consumos estimados para uma Plataforma Concentradora e uma Plataforma Cliente, com valores descritos pelo Quadro 8.

Quadro 8 - Consumo de Energia: Concentradora e Cliente.

Plataforma Concentradora		Plataforma Cliente	
Componente	Consumo	Componente	Consumo
Comunicador nRF24L	$95\mu\text{A}$	Comunicador nRF24L	$95\mu\text{A}$
Sd Card	$8\mu\text{A}$	Sensor DHT11	$5\mu\text{A}$
RTC	$50\mu\text{A}$	RTC	$50\mu\text{A}$
Arduino	$5,9\mu\text{A}$	Sensor LDR	$3\mu\text{A}$
		DS18B20	$3\mu\text{A}$
		Arduino	$5,9\mu\text{A}$

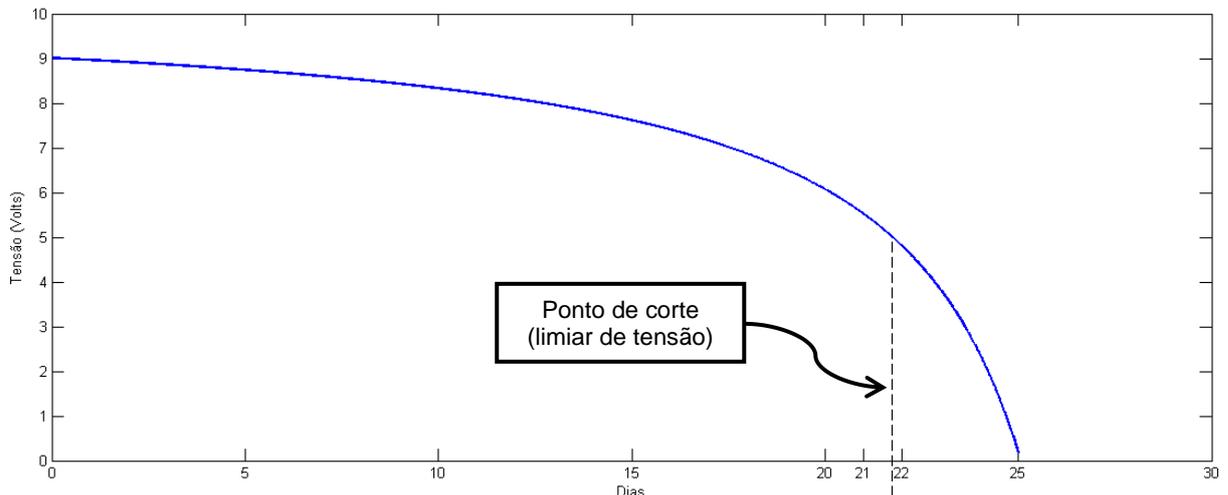
Fonte: Ortiz, (2013).

Estes valores permitiram presumir o consumo de cada plataforma componente do protótipo, fornecendo dados estimados sobre o tempo de funcionamento destes quando alimentados pela fonte padrão considerada (bateria

chumbo-ácido de 9V). Os valores encontrados foram expressos em dias e tiveram como pressuposto o uso contínuo das plataformas, ou seja, sem modelo de espera ou emprego de técnicas de redução de consumo.

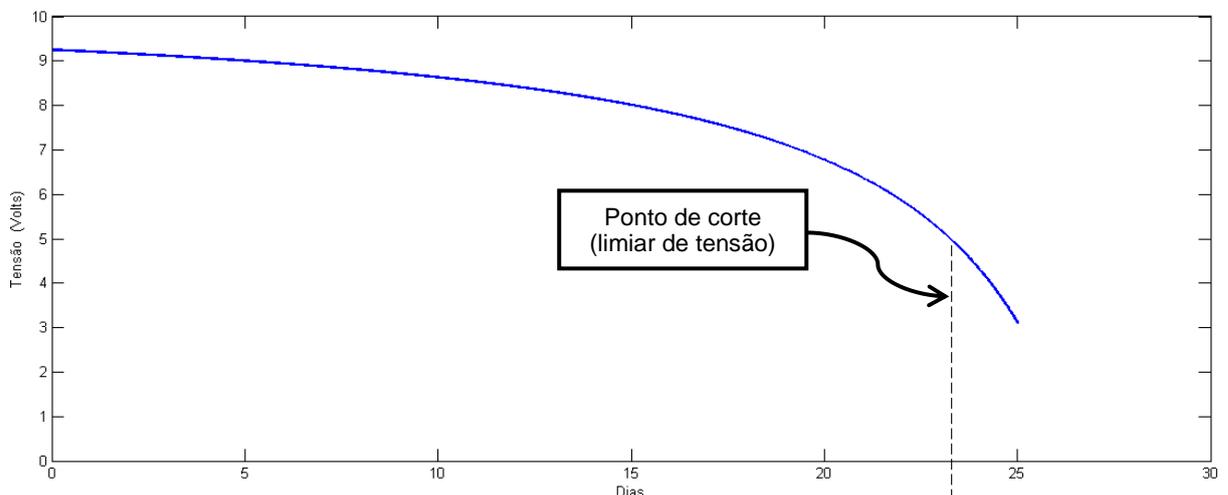
Neste trabalho, considerando a alimentação por baterias padrão com tensão nominal de 9V e construção em chumbo-ácido, foram obtidas durações médias de  $21,3 \pm 2$  dias para a plataforma controladora e  $24,7 \pm 2$  dias para a Plataforma Cliente, respectivamente (Figura 28, Figura 29), considerando uma interrupção de funcionamento para tensões inferiores à 5V (limiar de tensão Arduino) e funcionamento contínuo.

Figura 28 - Processo de Descarga da Bateria Concentradora.



Fonte: Ortiz, (2013) gerada no software Matlab<sup>®</sup>.

Figura 29 - Processo de Descarga da Bateria Cliente



Fonte: Ortiz, (2013) gerada no software Matlab<sup>®</sup>.

Estas estimativas expressam um valor presumido de dias de funcionamento para cada uma das plataformas do protótipo a partir das baterias empregadas e em uma condição padrão de uso (temperatura de 20°C e pressão de 1atm). Estas estimativas podem sofrer variações em função da alteração destas condições. Cada estimativa considera o uso de uma bateria única e o uso contínuo das plataformas, algo que pode ser ajustado.

#### 5.2.4. Custos de implementação do protótipo

No contexto da validação do protótipo apresenta-se o valor da plataforma implementada para os testes da rede de sensores sem fio. Para os valores em questão, considera-se uma plataforma montada sob a topologia estrela formada por uma plataforma concentradora e três clientes. Para melhor entendimento, a Tabela 1 apresenta os custos exclusivamente da plataforma concentradora.

Tabela 1 - Custos de Implementação da Plataforma Concentradora.

<b>Componente da Plataforma Concentradora</b>	<b>Custo</b>
Arduino Uno	R\$ 80,00
Módulo nRF24	R\$ 15,00
<i>Real Time Clock</i> (RTC)	R\$ 24,00
Módulo SD Card	R\$ 20,00
Bateria de Alimentação	R\$ 18,00
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 157,00</b>

Fonte: Ortiz, (2013).

Seguindo, a Tabela 2, Tabela 3 e a Tabela 4 expõem os custos para cada um dos nós sensores implementados para os testes. A Tabela 2 apresenta os valores referentes ao primeiro nodo sensor, que é responsável pela verificação de luminosidade.

Tabela 2 - Custos de Implementação do Nó Sensor LDR.

<b>Componente da Plataforma Cliente – Luminosidade</b>	<b>Custo</b>
Arduino PRO Mini	R\$ 40,00
Sensor de luminosidade LDR	R\$ 2,00
<i>Real Time Clock</i> (RTC)	R\$ 24,00
Módulo nRF24	R\$ 15,00
Bateria de Alimentação	R\$ 18,00
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 99,00</b>

Fonte: Ortiz, (2013).

Conforme já mencionado a Tabela 3 apresenta o custo de implementação de um nodo sensor, neste caso, o de umidade utilizado para a realização dos testes na rede de sensores sem fio.

Tabela 3 - Custo de Implementação do Nó Sensor Umidade.

<b>Componente da Plataforma Cliente – Umidade</b>	<b>Custo</b>
Arduino PRO Mini	R\$ 40,00
Sensor de umidade DHT11	R\$ 12,00
<i>Real Time Clock</i> (RTC)	R\$ 24,00
Módulo nRF24	R\$ 15,00
Bateria de Alimentação	R\$ 18,00
Abrigo meteorológico desenvolvido	R\$ 40,00
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 149,00</b>

Fonte: Ortiz, (2013).

A Tabela 4 mostra o custo de implementação do nó sensor responsável pelo monitoramento de temperatura.

Tabela 4 - Custo de Implementação do Nó Sensor Temperatura.

<b>Componente da Plataforma Cliente – Temperatura</b>	<b>Custo</b>
Arduino PRO Mini	R\$ 40,00
Sensor de temperatura DS18B20 – encapsulado	R\$ 30,00
<i>Real Time Clock</i> (RTC)	R\$ 24,00
Módulo nRF24	R\$ 15,00
Bateria de Alimentação	R\$ 18,00
Abrigo meteorológico desenvolvido	R\$ 40,00
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 167,00</b>

Fonte: Ortiz, (2013).

Por fim, a Tabela 5 exibe os valores no que se refere ao custo total de implementação do sistema proposto e implementado, constando os valores da plataforma concentradora e de cada uma das plataformas cliente utilizadas.

Tabela 5 - Custo Total do Protótipo.

<b>Descrição de Custos</b>	<b>Custo</b>
Plataforma Concentradora	R\$ 157,00
Plataforma Cliente – Luminosidade	R\$ 99,00
Plataforma Cliente – Umidade	R\$ 149,00
Plataforma Cliente – Temperatura	R\$ 167,00
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 572,00</b>

Fonte: Ortiz, (2013).

Quanto aos custos de implementação do sistema foi possível à constatação de que a montagem da estação é viável devido aos valores relativamente baixos dos componentes formadores do conjunto, além de, por outro lado existir valores exorbitantes cobrados por estações automáticas convencionais.

Conforme os resultados já apresentados e discutidos na parte 5.2.4 do capítulo em questão, o sistema implementado pode trabalhar com características de precisão muito compatíveis com as AWS, corroborando com a implementação do sistema proposto de baixo custo.

Os custos apresentados são norteadores, visto que, a comparação não foi realizada considerando o mesmo conjunto de dados para os dois sistemas, a AWS possui um sistema completo de sensores e de aquisição de dados.

### 5.2.5. Análise Paramétrica: Protótipo vs Plataforma Comercial AWS

A validação do protótipo em questão se deu por comparação entre os dados obtidos pela plataforma profissional AWS e pelo protótipo em questão, de forma concomitante. A comparação foi realizada através da análise por regressão linear através do Método dos Mínimos Quadrados (MMQ), comparando o quanto, estatisticamente, os dados obtidos pelo protótipo concordavam com os dados da plataforma AWS, admitida como modelo de referência em campo.

O MMQ é um método padrão para a solução aproximada de sistemas sobre-determinados, sistemas onde o número de equações é maior que o número de variáveis. Em outras palavras, é uma técnica de otimização matemática utilizada para encontrar o melhor ajuste para um conjunto de dados, buscando minimizar a soma dos quadrados das diferenças entre o valor observado e o valor estimado.

O termo "mínimos quadrados" expõe que a solução global do sistema encontrada pelo método minimiza a soma dos quadrados dos erros. O melhor ajuste no sentido dos mínimos quadrados minimiza a soma dos quadrados dos resíduos. Um resíduo representa a diferença entre um valor observado e o valor ajustado fornecido por um modelo. Um requisito para o método dos mínimos quadrados é que o fator imprevisível (erro) seja distribuído aleatoriamente e que essa distribuição seja normal e independente.

Como forma de saída de um modelo de regressão linear através do MMQ, obtêm-se a equação de uma reta de regressão que mais se aproxima do conjunto de dados (i.e., minimiza o erro) e o coeficiente de determinação estatística  $R^2$ . O coeficiente  $R^2$  indica quanto do conjunto total de dados tem sua variância explicada pelo modelo de regressão.  $R^2$  é um coeficiente que varia de zero a 1, com zero indicando nenhuma representatividade da variância dos dados (i.e., variáveis descorrelacionadas) e 1 indicando representatividade máxima ou total da variância dos dados (i.e., variáveis perfeitamente correlacionadas).

No caso específico deste trabalho, o MMQ para fins de regressão linear foi aplicado para estimar a coincidência estatística entre os dados da plataforma AWS e os dados do protótipo, permitindo inferir o quanto o protótipo se aproxima dos dados reais (i.e., AWS). Para fins de representação, foram traçados gráficos de dispersão para o par *AWS vs. Protótipo*, obtendo para os mesmos a regressão linear por MMQ e o respectivo coeficiente de determinação estatística  $R^2$ . Esta etapa foi executada junto ao software Matlab® com o uso da ferramenta *regression*.

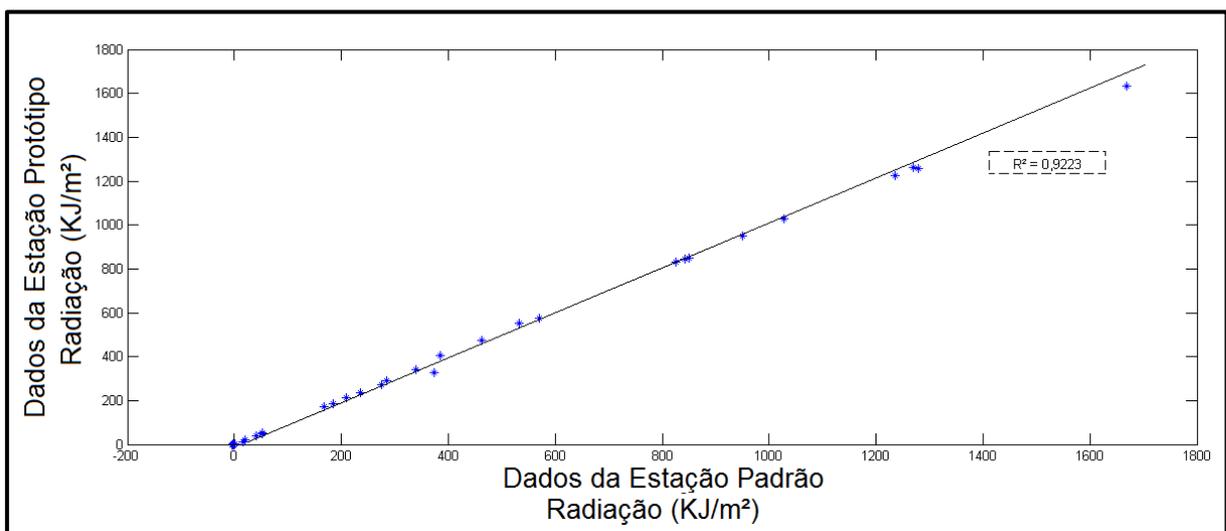
Como forma de verificação da precisão e acurácia das medidas realizadas pelo protótipo, foi implementada uma comparação estatística por regressão linear através do método MMQ entre os dados coletados pela estação protótipo e pela estação comercial AWS. Esta comparação se deu através de medidas contíguas de uma mesma variável, realizadas de forma conjunta pelo protótipo e à estação padrão AWS. Como resultado, obtiveram-se gráficos de dispersão entre os dados do protótipo e a AWS.

A análise via MMQ desta plotagem, com a aplicação da função *regression* do software Matlab, extraiu uma reta de regressão linear que melhor representa a relação entre os dados do protótipo e os dados da estação AWS (i.e., minimiza o erro da representação linear do conjunto de dados).

Como resultados, foram encontrados valores parciais de regressão linear entre os dados protótipo e os dados AWS diferenciados para cada variável de interesse. Dados estes utilizados para exibir um valor médio de coincidência estatística entre os dados protótipo e os dados AWS indicados por  $R^2$  médio.

O resultado parcial de regressão linear para a variável temperatura está representado graficamente pela Figura 30, apresentando a relação definida pelo sensor LDR montado junto ao protótipo vs. o sensor de luminosidade da estação AWS.

Figura 30 - Resposta Sensor de Luminosidade



Fonte: Ortiz, (2013) gerada no software Matlab®.

Em observação às variáveis de interesse de forma individual, o método MMQ exibiu valores de  $R^2$  de aproximadamente 92% para a comparação entre as medidas de luminosidade obtidas pelo protótipo e a estação padrão, 71% para a comparação entre as medidas de temperatura e 94% para as medidas de umidade relativa. Estes valores podem ser observados juntamente à Figura 31 e a Figura 32 para a temperatura e umidade relativa, respectivamente. As maiores discrepâncias entre os valores medidos foram apresentadas para a variável temperatura. Este fato se

explica pela diferença de acondicionamento entre o sensor padrão AWS (com abrigo meteorológico padrão) e o sensor protótipo (colocado de forma exposta ao ambiente). Este fato será corrigido com a construção de um abrigo meteorológico aos moldes do modelo padrão para o acondicionamento do sensor protótipo.

Figura 31 - Resposta Sensor de Temperatura

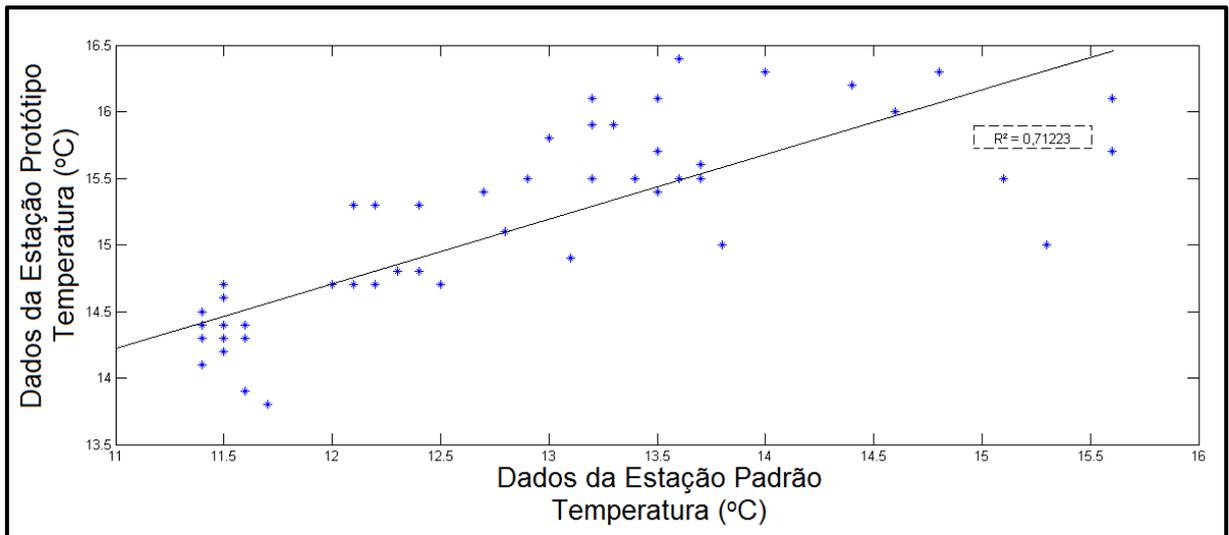
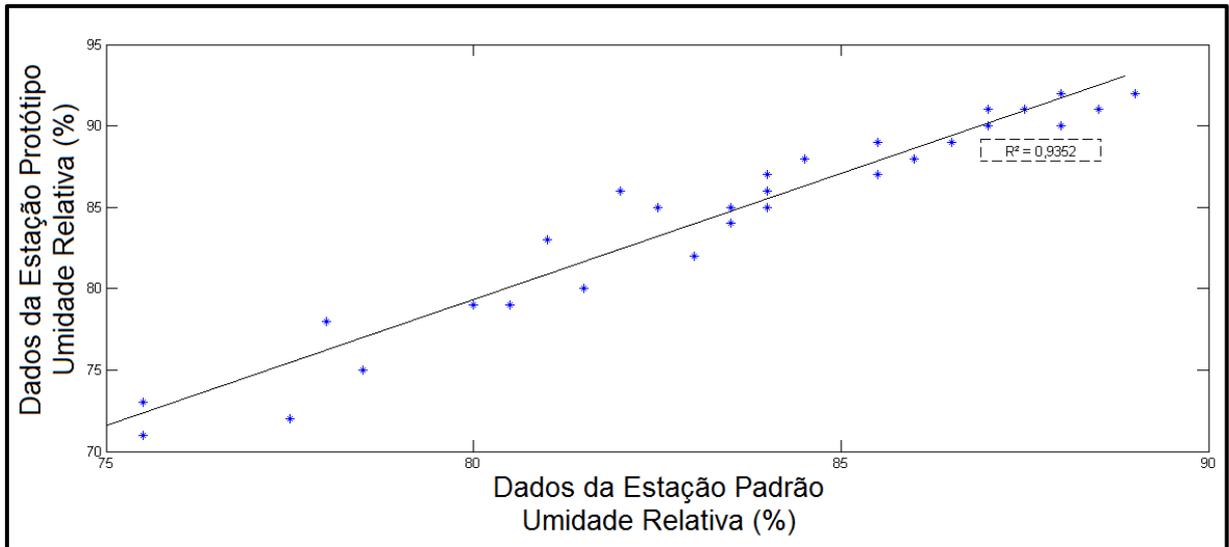


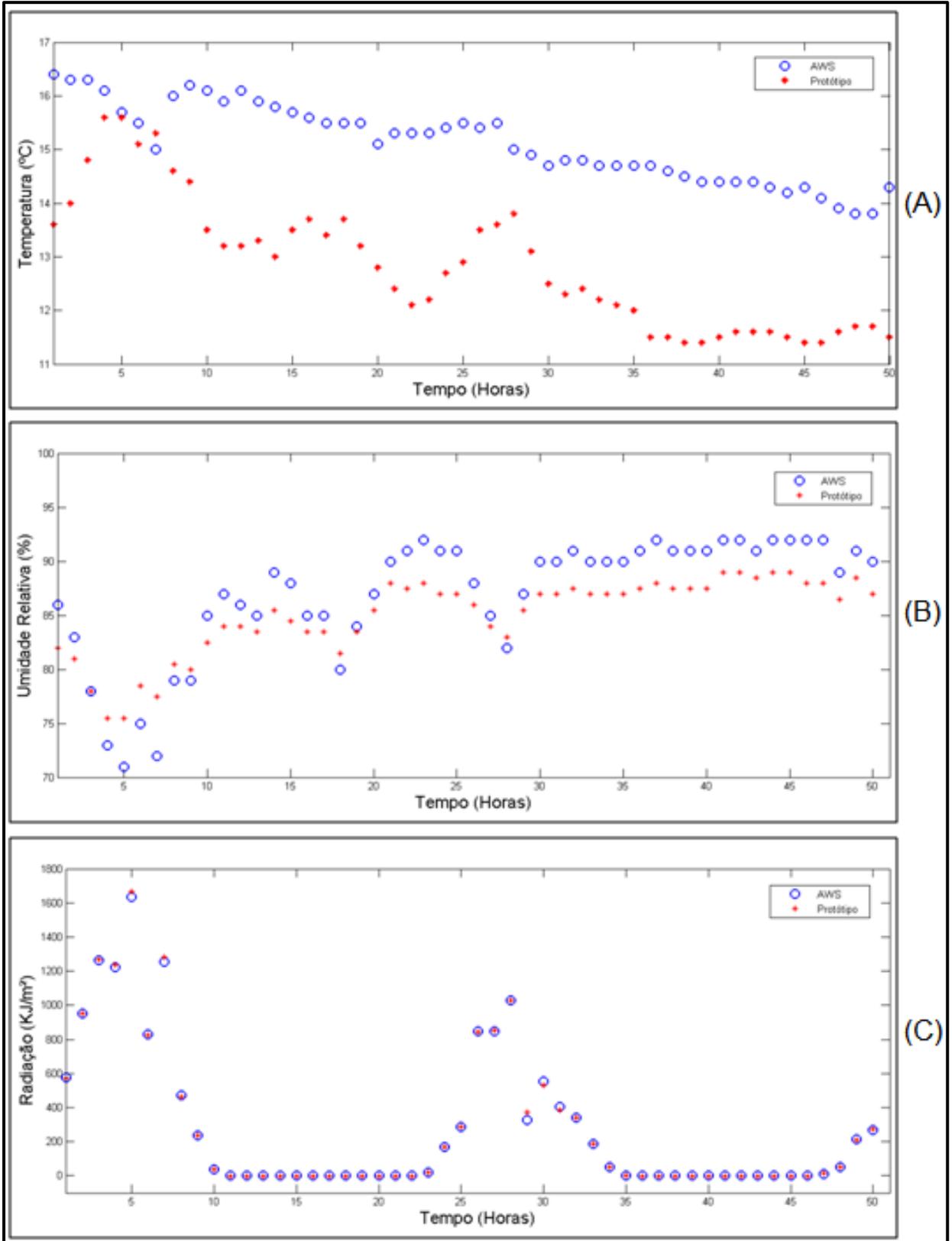
Figura 32 - Resposta Sensor de Umidade.



Fonte: Ortiz, (2013) gerada no *software* Matlab<sup>®</sup>.

Para permitir uma comparação direta das medidas ao longo do tempo, foram construídas saídas gráficas para a comparação dos sensores em questão ao longo do tempo, exibidas pela Figura 33 (Temperatura, A; Umidade, B e; Radiação, C). A análise desta comparação corrobora com os altos valores de correlação anteriormente encontrados, mostrando a capacidade de utilização do protótipo como fonte de dados meteorológico confiável. A análise das saídas gráficas de comparação exibe uma maior coincidência para os valores de medida de radiação (ou luminosidade) do que em comparação às medidas de temperatura. Esta diferença se explica pelo acondicionamento dos sensores AWS e protótipo voltados à obtenção de dados de temperatura.

Figura 33 - Variáveis Sensoriadas vs Tempo.



Fonte: Ortiz, (2013) gerada no software Matlab®.

A comparação dos dados obtidos pelo protótipo com dados contíguos obtidos pela estação meteorológica padrão AWS mostrou alta coincidência estatística, com coeficiente de determinação  $R^2$  com valores médios acima de 85%. Estes valores podem ser ampliados, considerando que os sensores utilizados no protótipo não foram devidamente calibrados, pelo fato de ser um protótipo de teste de viabilidade. Em montagens futuras, colocar-se-á a calibração prévia dos sensores adotados como um passo fundamental, previamente documentado.

### 5.2.6. Conclusões do capítulo

Para o fechamento do capítulo é apresentado o Quadro 9 de correlação entre as informações do sistema proposto e implementado com a estação meteorológica comercial AWS.

Quadro 9 - Correlação Protótipo vs AWS Comercial.

Dado de Comparação	Sistema Protótipo	Sistema AWS Comercial
Distância de conexão entre emissor e receptor de sinal	50m	Depende do tipo de sinal do sensor
Perdas de pacote	2% (distância 50m)	Não se aplica
Consumo de Energia e autonomia	Aproximadamente 23 dias	Energia solar e bateria recarregável (somente bateria = 14 dias), suporte a turbina de ventos
Custos	R\$ 600,00 (sistema básico)	Em torno de \$ 20.000,00

Fonte: Ortiz, (2013).

Conforme o Quadro 9 a distância de conexão entre o elemento sensor e o módulo de armazenamento de dados para o protótipo é de aproximadamente 50m, conforme apresentado no item 5.2.1, enquanto, no sistema comercial, por se tratar de uma estação cabeada, a distância entre estes elementos depende do tipo de sinal de saída do sensor. Se o sinal de saída do sensor for do tipo digital é possível grandes distâncias entre eles e, para saídas analógicas (principalmente em tensão) existe determinada limitação de distância, visto que, o próprio cabo é uma resistência e pode interferir nos valores das medições.

Para a perda de pacotes o sistema comercial é muito mais confiável por se tratar de uma conexão direta e, para o sistema implementado, características

ambientais e do próprio equipamento podem alterar as condições de funcionamento do sistema, ocasionando muitas vezes erros de comunicação.

Quanto ao consumo de energia, o sistema comercial é dotado de bateria recarregável combinado com um carregamento através de energia solar e/ou turbina de vento, o que torna o sistema extremamente autônomo. Enquanto, o sistema proposto e implementado, utiliza somente baterias e possui autonomia em torno de 23 dias. Por outro lado, quando realizada a comparação entre a autonomia dos sistemas alimentados exclusivamente pelas baterias, sem realimentação de carga, o sistema proposto por apresentar baixo consumo mantém o sistema operante por mais tempo.

Como a comparação não se dá com os mesmos elementos de estudo, visto a especificidade de cada um dos elementos abordados, a existência de um *datalogger* na AWS apresenta um consumo de energia desconsiderado na análise e que retifica os valores apresentados. Ou seja, considerando os dois sistemas com o mesmo sistema de armazenamento de dados, os consumos de energia seriam diferentes e, o protótipo apresentaria menor autonomia de bateria nesta relação.

Por fim, os custos de cada um dos sistemas são completamente diferentes o que torna o aprimoramento do protótipo de extremo valor para a aplicação em questão, podendo aumentar substancialmente o número de pontos para análise.

## 6. CONCLUSÕES

A plataforma baseada em rede de sensores sem fio para o monitoramento de parâmetros meteorológicos buscou especificar, implementar e validar um sistema capaz de adquirir e armazenar os dados referentes às grandezas sensoriadas de interesse, nesse caso, luminosidade, temperatura e umidade.

À frente dos resultados apresentados pela plataforma de sensores sem fio pode-se concluir, que a tecnologia de rede de sensores sem fio é exequível no quesito de monitoramento de grandezas meteorológicas. Nota-se que para a aplicação foi testado a distância de operação entre o emissor e o receptor de dados em visada direta, o que deve ser cuidadosamente verificado para cada uma das aplicações em que o sistema possa ser submetido.

Entretanto, de acordo com estas informações, é possível a utilização de antenas externas para melhorar o sinal do módulo, fornecendo a este condições de atuar com melhor sinal e em maiores distâncias, aperfeiçoando a qualidade do sinal de comunicação.

Quanto aos dados de retransmissão de pacotes, fica evidenciado que com menores distâncias entre as Plataformas Concentradora e Cliente, menor a quantidade de pacotes retransmitidos. E, por consequência, menor consumo de energia devido a esta diminuição de retransmissão de dados.

Para a análise do parâmetro do consumo de energia das baterias, os resultados demonstram que devido ao baixo consumo de energia por parte das Plataformas, principalmente devido a utilização de *sleep*, a opção de utilização das baterias torna-se viável. As baterias, conforme apresentado chegaram a um total de 23 dias de funcionamento ininterrupto para a descarga de uma bateria de 9V, conforme apresentado.

Por fim, a análise paramétrica demonstrou que existe uma correlação média acima de 85% entre as medidas do protótipo e do equipamento de referência. Esta congruência entre os dados obtidos pelo sistema proposto e implementado com

a estação meteorológica AWS corrobora com as premissas do trabalho, exibindo aplicabilidade do protótipo para fins de aquisição de dados glacio-meteorológicos.

Os dados de comparação entre o equipamento padrão e o protótipo exibem a necessidade de calibração dos sensores como forma de minimizar os erros de medida, propiciando uma melhor correlação entre os sensores do modelo implementado e da estação AWS de referência.

## 7. PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Como propostas futuras pode-se informar que a incorporação de um *Global Positioning System* (GPS) possa ser um diferencial, aumentando o número de informações e as características obtidas, podendo com isto, explorar funções referentes ao fluxo das geleiras, área de estudo que está em necessidade de estudo aprofundado. Seguindo este ponto de vista ainda é possível a proposição de um sistema de comunicação para que os dados sejam repassados à internet para acesso remoto em locais fora do contato físico com o equipamento.

Outro ponto possível de ser analisado é quanto às características físicas do sistema, onde é possível explorar uma mudança da plataforma Arduino para uma plataforma do tipo *Standalone*, um tipo de Arduino caseiro, que utiliza seus elementos principais conectados em uma placa simples perfurada ou com trilhas de contatos realizadas por corrosão, para diminuir ainda mais os valores de projeto. Além da elaboração de um sistema para aumento de autonomia do sistema proposto e implementado através da utilização de energia solar.

Quanto à possibilidade de utilizar o projeto para fins comerciais é possível a exploração de *hardware* configurável, tratando da viabilização de sistemas chamados de *Application Specific Integrated Circuit* (ASIC), fornecendo um perfil profissional ao sistema proposto e com maior segurança agregada às informações do projeto.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMAD, M. R.; RALHMAN, T. A. Multimedia transmission over interworking of networks. In: IEEE International Conference on Communication. p. 380–383, 2005.

AKYILDIZ, Ian F.; SU, W.; SANKARASUBRAMANIAM, Y.; CAYIRCI, E. A survey on sensor networks. **IEEE Communications Magazine**, v. 40, n. 8 , p. 102–114, Aug. 2002.

AKYILDIZ, I.F.; SU, W.; SANKARASUBRAMANIAM, Y.; CAYIRCI, E. Wireless sensor networks: a survey. **Computer Networks**, v. 38, n. 4, p. 393–422, 2002. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1389128601003024>>. Acesso em: 10 dez. 2013.

ALLIANCE, Z. ZigBee wireless sensor applications for health , wellness and fitness. March, 2009. Disponível em: <<https://docs.zigbee.org/zigbee-docs/dcn/09-4962.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2013.

ARAUJO, R. B.; VILLAS, L. A.; BOUKERCHE, A. Uma solução de QoS com processamento centrado para redes de atuadores e sensores sem fio. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO DE REDE DE COMPUTADORES E SISTEMAS DISTRIBUÍDOS, 25. Belém: 2007. p. 309–322.

ARDUINO. Arduino Board Pro Mini. Disponível em: <<http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardProMini>> Acesso em: 18 dez. 2013

ARDUINO. HomePage. Disponível em: <<http://arduino.cc/>>. Acesso em: 6 set. 2013.

BAGGIO, A. Wireless sensor networks in precision agriculture. In: ACM WORKSHOP ON REAL -WORLD WIRELESS SENSOR NETWORKS (REALWSN) , 2005. Estocolmo. **Proceedings...** Disponível em: <<https://intranet.daiict.ac.in/~ranjan/isn2005/APP/baggio05wireless.pdf>>. Acesso em: 18 nov. 2013.

BARONTI, P.; PILLAI, P.; CHOOK, V. W. C.; et al. Wireless sensor networks: a survey on the state of the art and the 802.15.4 and ZigBee standards. **Computer Communications**, v. 30, n. 7, p. 1655–1695, 2007.

BISCARO, G. A. **Meteorologia Agrícola Básica**, 1º edição, UNIGRAF - Gráfica e Editora União Ltda. Cassilândia - Mato Grosso do Sul, 2007, 87p.

BRITO, L. M. P. L. DE; PERALTA, L. M. R. Basic concepts of wireless sensor. **Encyclopedia of networked and virtual organizations**. v. 1, p. 57-64. [S.l]: IGI Global, 2008.

BU, S.; NAGHDY, F. Service discovery in wireless ad-hoc control networks. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT SENSORS, 2. Sensor Networks and Information Processing, p 157–162, 2005.

BURRELL, J.; BROOKE, T.; BECKWITH, R. Vineyard computing: sensor networks in agricultural production. *IEEE Pervasive Computing*. v. 3 (1), p. 38-45, 2004.

CAMPBELL SCIENTIFIC. Campbell scientific: dataloggers, data acquisition systems, weather stations. Disponível em: <<http://www.campbellsci.com/>>. Acesso em: 23 nov. 2013.

CAMPBELL SCIENTIFIC. CS300 Pyranometer. Disponível em:<<http://s.campbellsci.com/documents/af/manuals/cs300.pdf>>. Acesso em: 16 out. 2013.

CAMPOS, M. A.; RÊGO, L. C. **Métodos probabilísticos e estatísticos para engenharias e ciências exatas**. Disponível em: <<http://www.cin.ufpe.br/~lheva/estatistica/LivroProbabilidade.pdf>>. Acesso em: 24 nov. 2013.

DELICATO, F.; PIRES, P. F.; LAGES, A.; et al. Middleware orientado a serviços para redes de sensores sem fio. In: XXII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDE DE COMPUTADORES SBRC, 2004. Anais... Gramado, 2004. p. 15-28.

DOCTRONICS. LDR - voltage dividers. Disponível em: <<http://www.doctronics.co.uk/voltage.htm>>. Acesso em: 06 dez. 2013.

DOERFFEL, D.; SHARKH, S. A. A critical review of using the peukert equation for determining the remaining capacity of lead-acid and lithium-ion batteries. **Journal of Power Sources**, v. 155, n. 2, p. 395–400, 2006. Disponível em: IEEE COMPUTER SOCIETY. PART 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs): Amendment to add alternate PHY. , v. 2007, n. August, p. 132-176, 2007.

D-ROBOTICS. DHT11 - Humidity & Temperature Sensor. Disponível em: <<http://www.micro4you.com/files/sensor/DHT11.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2013.

GUDMUNDSSON, H.; JENKINS, A. Ice-flow velocities on rutford ice stream, West Antarctica, are stable over decadal timescales. **Journal of Glaciology**, 2. Nov. 2009. Disponível em: <<http://nora.nerc.ac.uk/10977/>>. Acesso em: 1 dez. 2013.

HOU, J.; LI, N.; STOJMENOVIC, I. Topology construction and maintenance in wireless sensor networks. **Handbook of Sensor Networks: Algorithms and Architectures**. June, p. 311 – 341, 2005.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em: 15 set. 2013.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <<http://ipcc.ch/>>. Acesso em: 15 set. 2013.

JAFARI, R.; ENCARNACAO, A.; ZAHOORY, A.; et al. Wireless sensor networks for health monitoring. Proceedings of the Second Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous System: Networking and Services, 2005. p. 5–7, 2005.

JAXA. JAXA - Japan Aerospace Exploration Agency. Disponível em: <[http://www.jaxa.jp/index\\_e.html](http://www.jaxa.jp/index_e.html)>. Acesso em: 3 out. 2013.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2.ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 604p.

JINDAL, M. S.; JINDAL, M. A.; GUPTA, D. N. Grouping WI-MAX , 3G and Wi-Fi for wireless broadband, In: The First IEEE and IFIP International Conference in Central Asia, v. 1. IEEE Computer Society, p. 5-10, 2005.

JOHNSON, T. M.; MARGALHO, M. **Avaliação de desempenho de sistemas computacionais**. 1.ed. São Paulo: LTC, 2011.

LaCrio. Laboratório de Monitoramento da Criosfera. Disponível em: <<http://www.LaCrio.furg.br/>>. Acesso em: 29 set. 2013.

LOUREIRO, A. A. F.; RUIZ, L. B.; APARECIDA, R.; et al. Redes de sensores sem fio. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDE DE COMPUTADORES, XXI. Natal, 2003.

MAXIM, I. DS18B20 programmable resolution 1-wire digital thermometer. Disponível em: <<http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2013.

MAXIM, I. DS1307 - 64 x 8 , Serial , I<sup>2</sup>C Real-Time Clock. Disponível em: <<http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS1307.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2013.

MESSIAS, A. R. Controle remoto e aquisição de dados via XBee/ZigBee (IEEE 802.15.4). Disponível em: <<http://www.rogercom.com/ZigBee/ZigBee.htm>>. Acesso em: 19 out. 2013 .

MICROCHIP. 1-Wire communication with PIC microcontroller. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/01199a.pdf>>. Acesso em: 1 nov. 2013.

NCAR. National Center for Atmospheric Research. Disponível em: <<http://ncar.ucar.edu/>>. Acesso em: 14 dez 2013.

NCEP. National Centers for Environmental Prediction. Disponível em: <<http://www.ncep.noaa.gov/>>. Acesso em: 14 dez 2013.

NEMEROFF, J.; GARCIA, L.; HAMPEL, D.; DIPIERRO, S. Application of sensor network communications. **Military Communications Conference**. IEEE Proceedings, 2001. p. 336–341.

NORDIC. nRF240x ShockBurst™ technology. , v. 7, n. February, 2003. Disponível em: <<http://www.nvlsi.no>>. Acesso em: 18 out. 2013.

NORDIC SEMICONDUCTORS. nRF24L01+ Single Chip 2.4GHz Transceiver. ,2008. Disponível em: <<http://www.nordicsemi.com/eng/Products/2.4GHz-RF/nRF24L01P>>. Acesso em: 15 nov. 2013.

NORDIC SEMICONDUCTORS. nRF24L01+ - 2.4GHz RF - Nordic Semiconductor. Disponível em: <<http://www.nordicsemi.com/eng/Products/2.4GHz-RF/nRF24L01P>>. Acesso em: 18 set. 2013.

NUNO, G.; TEIXEIRA, S. Comparing ZigBee , bluetooth , UWB , and Wi-Fi. Encyclopedia of Networked and Virtual Organizations. |G| Global, 2008. , p. 288–296.

PINHEIRO, J. M. S. ZigBee em home area network. Disponível em: <[http://www.projetoderedes.com.br/artigos/artigo\\_zigbee\\_em\\_home\\_area\\_network.php](http://www.projetoderedes.com.br/artigos/artigo_zigbee_em_home_area_network.php)>. Acesso em: 2 out. 2013.

RABAEY, J. M.; AMMER, M. J.; SILVA, JULIO L. DA; et al. PicoRadio supports ad hoc ultra-low power wireless networking. IEEE Computer Magazine, 2000. p. 42-48

RAMAGE, K.; JOBARD, I.; LEBEL, T.; et al. Satellite estimation of 1:day to 10:day cumulated precipitation: comparison and validation over tropical Africa of TRMM, METEOSAT and GPCP products. The 2003 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference. **Anais...** p.363–369, 2003. Weimar, Alemanha.

RAMANATHAN, N.; BALZANO, L.; BURT, M.; et al. Monitoring a toxin in a rural rice field with a wireless sensor network in CENS. **CENS Technical Report**, 2006. Disponível em: <<http://citeseer.uark.edu:8080/citeseerx/showciting;jsessionid=891EDF2143568D6F11BC320C107F6F94?cid=4519032>>. Acesso em: 1 dez. 2013.

RIVERO, I. A. S. **Rede de sensores sem fio para monitoramento de equipamentos eletrônicos Ilo Amy Saldanha Rivero**, 2011. 102p. Dissertação (Mestrado em Informática) PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS, 2011.

SHEPHERD, A.; IVINS, E. R.; A, G.; et al. A reconciled estimate of ice-sheet mass balance. **Science (New York, N.Y.)**, v. 338, n. 6111, p. 1183–9, 2012. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23197528>>. Acesso em: 13 dez 2013.

TELECO, I. EM T. Seção: tutoriais redes opticas. Rede de sensores sem fio: camadas. Disponível em: <[http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialrssf/pagina\\_5.asp](http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialrssf/pagina_5.asp)>. Acesso em: 9 set. 2013 .

TENOUEK. A brief survey on wi-fi security. Disponível em: <<http://www.tenouk.com/wifisecurityfeatures.html>>. Acesso em: 7 nov. 2013.

TREMBLAY, O.; DESSAINT, L. A.; DEKKICHE, A. I. A generic battery model for the dynamic simulation of hybrid electric vehicles. **2007 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference**, , n. V, p. 284–289, 2007. Ieee. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4544139>>. Acesso em: 19 dez. 2013.

TURNER, J.; COLWELL, S. R.; MARSHALL, G. J.; et al. Antarctic climate change during the last 50 years. **International Journal of Climatology**, v. 25, n. 3, p. 279–294, 2005. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/joc.1130>>. Acesso em: 11 nov. 2013.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. 3.ed. Viçosa: Editora UFV, 1991. p. 446.

WEBER, T. S. Um roteiro para exploração dos conceitos básicos de tolerância a falhas. **UFRGS**, p. 62, 2002.

WHEELER, A. Commercial applications of wireless sensor networks using ZigBee. **IEEE Communication Magazine**. [S.l.], v.45, p. 70–77, Apr. 2007.

WOOD, A. D.; FANG, L.; STANKOVIC, J. A. SIGF: a family of configurable , secure routing protocols for wireless sensor networks. In: **Proceedings of the 4th ACM Workshop Security of Ad hoc Sensor Networks**, 2006. p. 35-48.

XU, Y.; HEIDEMANN, J.; ESTRIN, D. Geography-informed energy conservation for ad hoc routing. **Proceedings of the 7th annual international conference on Mobile computing and networking - MobiCom '01**, p. 70–84, 2001. New York, USA: ACM Press. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=381677.381685>>. Acesso em: 6 dez. 2013.

YOUNG, C. Wind Monitor - Model 05103. Disponível em: <<http://www.youngusa.com/products/7/5.html>>. Acesso em: 30 set. 2013.

YOUNG. .Disponível em: <[http://www.youngusa.com/Manuals/41382VC-90\(D\).pdf](http://www.youngusa.com/Manuals/41382VC-90(D).pdf)>. Acesso em: 2 out. 2013.

ZUCATTO, F. L.; BISCASSI, C. A.; MONSIGNORE, F.; et al. ZigBee for Building Control Wireless Sensor Networks. **Microwave and Optoelectronics Conference. IMOC 2007. SBMO/IEEE MTT-S International**. 2007. p. 511–515.

## **ANEXOS**

Anexo 1. Expedição Multidisciplinar

Anexo 2. Módulo de Comunicação nRF24L

Anexo 3. Relógio de Tempo Real DS1307

Anexo 4. Sensor de Luminosidade LDR

Anexo 5. Sensor de Temperatura DS18B20

Anexo 6. Sensor de Temperatura e Umidade DHT11

## **ANEXO 1**



**AGORA**  
O JORNAL DO SUL

Rio Grande, 07 de novembro de 2013 - 21:35h

- 🏠 [Página inicial](#)
- ✉ [Newsletter](#)
- 🔍 [Localize-se](#)

A+
A-
Texto

Sex Sáb



Máx: 28°C 25°C  
Mín: 17°C 19°C

**ATUALIZE SEU SELO**

Previsão de on

---

Notícias
Cadernos
Guia local
Sala de Jogos
O Jornal
Anuncie
Assinaturas
Classificados
Política de privacidade

---

Opinião
Geral
Polícia
Esporte
Mundo
País
Serviços
Acontece

---

UNIVERSIDADE - 05-09-2013 - 18h50min

voltar



## Furg participa de expedição multidisciplinar à Cordilheira Darwin, na Terra do Fogo

O Laboratório de Monitoramento da Criosfera (LaCrio) da Universidade Federal do Rio Grande (Furg) e do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia da Criosfera (INCT da Criosfera) participou da Expedição Multidisciplinar ao Monte Sarmiento, na Cordilheira Darwin, Terra do Fogo (Cordarwin.13), realizada entre os dias 22 e 31 de agosto.

A expedição teve como objetivos a realização de estudos glaciológicos e paleoclimáticos (estudo das variações climáticas ao longo do tempo) na geleira Schiaparelli (também conhecida como Contraestre), registros para um documentário sobre o Chile como laboratório natural e atividades esportivas como a escalada do temido Monte Sarmiento.

As atividades glaciológicas consistiram na exploração de uma rota de acesso para a geleira Schiaparelli, instalação de uma estação meteorológica automática, um marco para levantamentos de precisão com sistema de navegação global por satélite, e uma estação para medir o derretimento da geleira, além de teste de um sensor de temperatura com registrador de dados desenvolvido pela equipe dos cursos de Automação e Geoprocessamento do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS).

O LaCrio/Furg/INCT da Criosfera foi responsável pela montagem da estação meteorológica automática e teste do sensor do IFRS, os quais permanecerão medindo dados na superfície da geleira Schiaparelli até maio do próximo ano.

Segundo o professor Jorge Arigony Neto, do Instituto de Ciências Humanas e da Informação Furg, que fez parte da expedição, os dados inéditos registrados pela estação meteorológica permitirão compreender a influência dos processos climáticos na dinâmica de derretimento dessa geleira. Além disso, será programada uma campanha de aquisição de imagens de satélite durante o período de obtenção de dados pela estação meteorológica. A participação do LaCrio na Cordarwin.13 foi apoiada pelo INCT da Criosfera, Fapergs e Centro Polar e Climático da Ufrgs.

Também participaram da expedição pesquisadores do Instituto Antártico Chileno (Inach), Centro de Estudios del Cuaternario, Fuego-Patagonia y Antártica (Cequa) e Universidade de Magallanes.

Foto: Divulgação



Expedição teve como objetivos a realização de estudos glaciológicos e paleoclimáticos

**ANEXO 2**

# nRF24L01+

## Single Chip 2.4GHz Transceiver

### Product Specification v1.0

#### Key Features

- Worldwide 2.4GHz ISM band operation
- 250kbps, 1Mbps and 2Mbps on air data rates
- Ultra low power operation
- 11.3mA TX at 0dBm output power
- 13.5mA RX at 2Mbps air data rate
- 900nA in power down
- 26µA in standby-I
- On chip voltage regulator
- 1.9 to 3.6V supply range
- Enhanced ShockBurst™
- Automatic packet handling
- Auto packet transaction handling
- 6 data pipe MultiCeiver™
- Drop-in compatibility with nRF24L01
- On-air compatible in 250kbps and 1Mbps with nRF2401A, nRF2402, nRF24E1 and nRF24E2
- Low cost BOM
- ±60ppm 16MHz crystal
- 5V tolerant inputs
- Compact 20-pin 4x4mm QFN package

#### Applications

- Wireless PC Peripherals
- Mouse, keyboards and remotes
- 3-in-1 desktop bundles
- Advanced Media center remote controls
- VoIP headsets
- Game controllers
- Sports watches and sensors
- RF remote controls for consumer electronics
- Home and commercial automation
- Ultra low power sensor networks
- Active RFID
- Asset tracking systems
- Toys

## Liability disclaimer

Nordic Semiconductor ASA reserves the right to make changes without further notice to the product to improve reliability, function or design. Nordic Semiconductor ASA does not assume any liability arising out of the application or use of any product or circuits described herein.

All application information is advisory and does not form part of the specification.

## Limiting values

Stress above one or more of the limiting values may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and operation of the device at these or at any other conditions above those given in the specifications are not implied. Exposure to limiting values for extended periods may affect device reliability.

## Life support applications

These products are not designed for use in life support appliances, devices, or systems where malfunction of these products can reasonably be expected to result in personal injury. Nordic Semiconductor ASA customers using or selling these products for use in such applications do so at their own risk and agree to fully indemnify Nordic Semiconductor ASA for any damages resulting from such improper use or sale.

Data sheet status	
Objective product specification	This product specification contains target specifications for product development.
Preliminary product specification	This product specification contains preliminary data; supplementary data may be published from Nordic Semiconductor ASA later.
Product specification	This product specification contains final product specifications. Nordic Semiconductor ASA reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design and supply the best possible product.

## Contact details

Visit [www.nordicsemi.no](http://www.nordicsemi.no) for Nordic Semiconductor sales offices and distributors worldwide

### Main office:

Otto Nielsens vei 12  
7004 Trondheim  
Phone: +47 72 89 89 00  
Fax: +47 72 89 89 89  
[www.nordicsemi.no](http://www.nordicsemi.no)



## Writing Conventions

This product specification follows a set of typographic rules that makes the document consistent and easy to read. The following writing conventions are used:

- Commands, bit state conditions, and register names are written in *Courier*.
- Pin names and pin signal conditions are written in *Courier bold*.
- Cross references are [underlined and highlighted in blue](#).

## Revision History

Date	Version	Description
September 2008	1.0	

### Attention!

Observe precaution for handling  
Electrostatic Sensitive Device.

HBM (Human Body Model)  $\geq 1\text{Kv}$   
MM (Machine Model)  $\geq 200\text{V}$



**Contents**

<b>1</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>7</b>
1.1	Features .....	8
1.2	Block diagram .....	9
<b>2</b>	<b>Pin Information .....</b>	<b>10</b>
2.1	Pin assignment.....	10
2.2	Pin functions.....	11
<b>3</b>	<b>Absolute maximum ratings .....</b>	<b>12</b>
<b>4</b>	<b>Operating conditions .....</b>	<b>13</b>
<b>5</b>	<b>Electrical specifications .....</b>	<b>14</b>
5.1	Power consumption.....	14
5.2	General RF conditions .....	15
5.3	Transmitter operation .....	15
5.4	Receiver operation .....	16
5.5	Crystal specifications .....	19
5.6	DC characteristics .....	20
5.7	Power on reset .....	20
<b>6</b>	<b>Radio Control .....</b>	<b>21</b>
6.1	Operational Modes .....	21
6.1.1	State diagram .....	21
6.1.2	Power Down Mode .....	22
6.1.3	Standby Modes.....	22
6.1.4	RX mode.....	23
6.1.5	TX mode .....	23
6.1.6	Operational modes configuration.....	24
6.1.7	Timing Information .....	24
6.2	Air data rate.....	25
6.3	RF channel frequency .....	25
6.4	Received Power Detector measurements.....	25
6.5	PA control.....	26
6.6	RX/TX control.....	26
<b>7</b>	<b>Enhanced ShockBurst™ .....</b>	<b>27</b>
7.1	Features .....	27
7.2	Enhanced ShockBurst™ overview.....	27
7.3	Enhanced Shockburst™ packet format.....	28
7.3.1	Preamble .....	28
7.3.2	Address .....	28
7.3.3	Packet control field .....	28
7.3.4	Payload.....	29
7.3.5	CRC (Cyclic Redundancy Check) .....	30
7.3.6	Automatic packet assembly .....	31
7.3.7	Automatic packet disassembly .....	32
7.4	Automatic packet transaction handling .....	33
7.4.1	Auto acknowledgement .....	33
7.4.2	Auto Retransmission (ART).....	33

7.5	Enhanced ShockBurst flowcharts .....	35
7.5.1	PTX operation.....	35
7.5.2	PRX operation .....	37
7.6	MultiCeiver™ .....	39
7.7	Enhanced ShockBurst™ timing .....	42
7.8	Enhanced ShockBurst™ transaction diagram .....	45
7.8.1	Single transaction with ACK packet and interrupts.....	45
7.8.2	Single transaction with a lost packet .....	46
7.8.3	Single transaction with a lost ACK packet .....	46
7.8.4	Single transaction with ACK payload packet .....	47
7.8.5	Single transaction with ACK payload packet and lost packet.....	47
7.8.6	Two transactions with ACK payload packet and the first ACK packet lost .....	48
7.8.7	Two transactions where max retransmissions is reached .....	48
7.9	Compatibility with ShockBurst™ .....	49
7.9.1	ShockBurst™ packet format .....	49
<b>8</b>	<b>Data and Control Interface .....</b>	<b>50</b>
8.1	Features .....	50
8.2	Functional description .....	50
8.3	SPI operation .....	50
8.3.1	SPI commands .....	50
8.3.2	SPI timing .....	52
8.4	Data FIFO .....	55
8.5	Interrupt.....	56
<b>9</b>	<b>Register Map.....</b>	<b>57</b>
9.1	Register map table .....	57
<b>10</b>	<b>Peripheral RF Information .....</b>	<b>64</b>
10.1	Antenna output.....	64
10.2	Crystal oscillator.....	64
10.3	nRF24L01+ crystal sharing with an MCU.....	64
10.3.1	Crystal parameters .....	64
10.3.2	Input crystal amplitude and current consumption .....	64
10.4	PCB layout and decoupling guidelines.....	65
<b>11</b>	<b>Application example .....</b>	<b>66</b>
11.1	PCB layout examples .....	67
<b>12</b>	<b>Mechanical specifications.....</b>	<b>71</b>
<b>13</b>	<b>Ordering information .....</b>	<b>73</b>
13.1	Package marking .....	73
13.2	Abbreviations .....	73
13.3	Product options .....	73
13.3.1	RF silicon.....	73
13.3.2	Development tools.....	73
<b>14</b>	<b>Glossary of Terms.....</b>	<b>74</b>
	<b>Appendix A - Enhanced ShockBurst™ - Configuration and communication example .....</b>	<b>75</b>
	Enhanced ShockBurst™ transmitting payload.....	75

---

Enhanced ShockBurst™ receive payload .....	76
<b>Appendix B - Configuration for compatibility with nRF24XX.....</b>	<b>77</b>
<b>Appendix C - Constant carrier wave output for testing.....</b>	<b>78</b>
Configuration .....	78

## 1 Introduction

The nRF24L01+ is a single chip 2.4GHz transceiver with an embedded baseband protocol engine (Enhanced ShockBurst™), suitable for ultra low power wireless applications. The nRF24L01+ is designed for operation in the world wide ISM frequency band at 2.400 - 2.4835GHz.

To design a radio system with the nRF24L01+, you simply need an MCU (microcontroller) and a few external passive components.

You can operate and configure the nRF24L01+ through a Serial Peripheral Interface (SPI). The register map, which is accessible through the SPI, contains all configuration registers in the nRF24L01+ and is accessible in all operation modes of the chip.

The embedded baseband protocol engine (Enhanced ShockBurst™) is based on packet communication and supports various modes from manual operation to advanced autonomous protocol operation. Internal FIFOs ensure a smooth data flow between the radio front end and the system's MCU. Enhanced ShockBurst™ reduces system cost by handling all the high speed link layer operations.

The radio front end uses GFSK modulation. It has user configurable parameters like frequency channel, output power and air data rate. nRF24L01+ supports an air data rate of 250 kbps, 1 Mbps and 2Mbps. The high air data rate combined with two power saving modes make the nRF24L01+ very suitable for ultra low power designs.

nRF24L01+ is drop-in compatible with nRF24L01 and on-air compatible with nRF2401A, nRF2402, nRF24E1 and nRF24E2. Intermodulation and wideband blocking values in nRF24L01+ are much improved in comparison to the nRF24L01 and the addition of internal filtering to nRF24L01+ has improved the margins for meeting RF regulatory standards.

Internal voltage regulators ensure a high Power Supply Rejection Ratio (PSRR) and a wide power supply range.

## 1.1 Features

Features of the nRF24L01+ include:

- Radio
  - Worldwide 2.4GHz ISM band operation
  - 126 RF channels
  - Common RX and TX interface
  - GFSK modulation
  - 250kbps, 1 and 2Mbps air data rate
  - 1MHz non-overlapping channel spacing at 1Mbps
  - 2MHz non-overlapping channel spacing at 2Mbps
- Transmitter
  - Programmable output power: 0, -6, -12 or -18dBm
  - 11.3mA at 0dBm output power
- Receiver
  - Fast AGC for improved dynamic range
  - Integrated channel filters
  - 13.5mA at 2Mbps
  - -82dBm sensitivity at 2Mbps
  - -85dBm sensitivity at 1Mbps
  - -94dBm sensitivity at 250kbps
- RF Synthesizer
  - Fully integrated synthesizer
  - No external loop filter, VCO varactor diode or resonator
  - Accepts low cost  $\pm 60$ ppm 16MHz crystal
- Enhanced ShockBurst™
  - 1 to 32 bytes dynamic payload length
  - Automatic packet handling
  - Auto packet transaction handling
  - 6 data pipe MultiCeiver™ for 1:6 star networks
- Power Management
  - Integrated voltage regulator
  - 1.9 to 3.6V supply range
  - Idle modes with fast start-up times for advanced power management
  - 26 $\mu$ A Standby-I mode, 900nA power down mode
  - Max 1.5ms start-up from power down mode
  - Max 130 $\mu$ s start-up from standby-I mode
- Host Interface
  - 4-pin hardware SPI
  - Max 10Mbps
  - 3 separate 32 bytes TX and RX FIFOs
  - 5V tolerant inputs
- Compact 20-pin 4x4mm QFN package

## 1.2 Block diagram

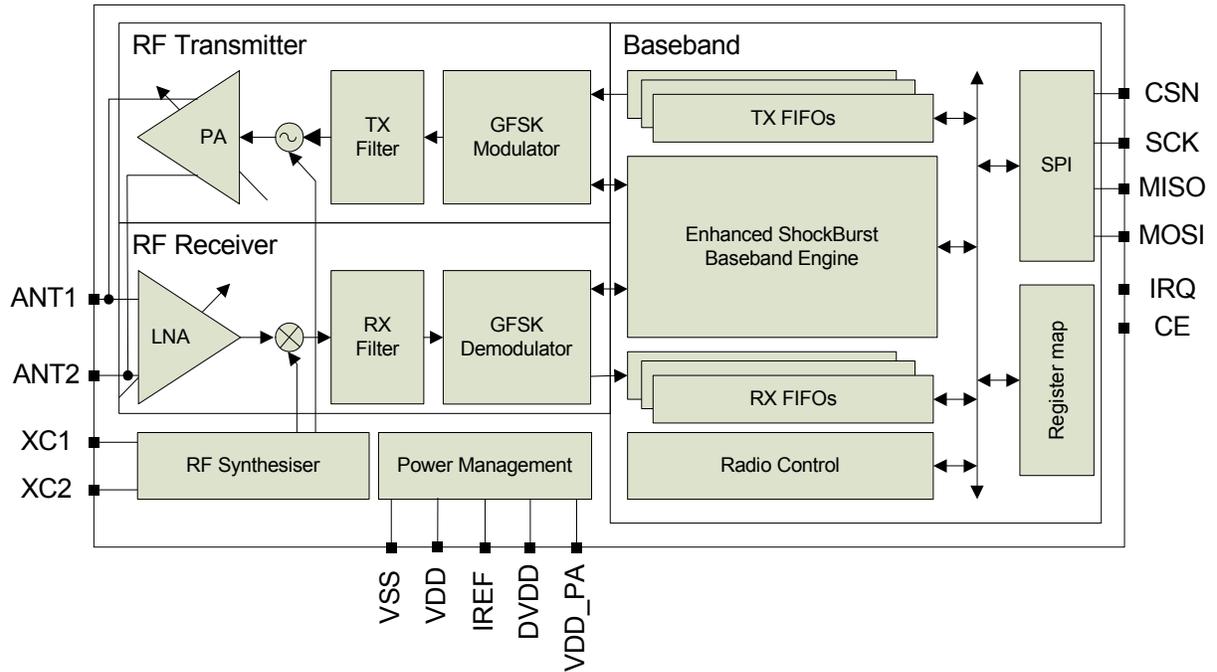


Figure 1. nRF24L01+ block diagram

## 2 Pin Information

### 2.1 Pin assignment

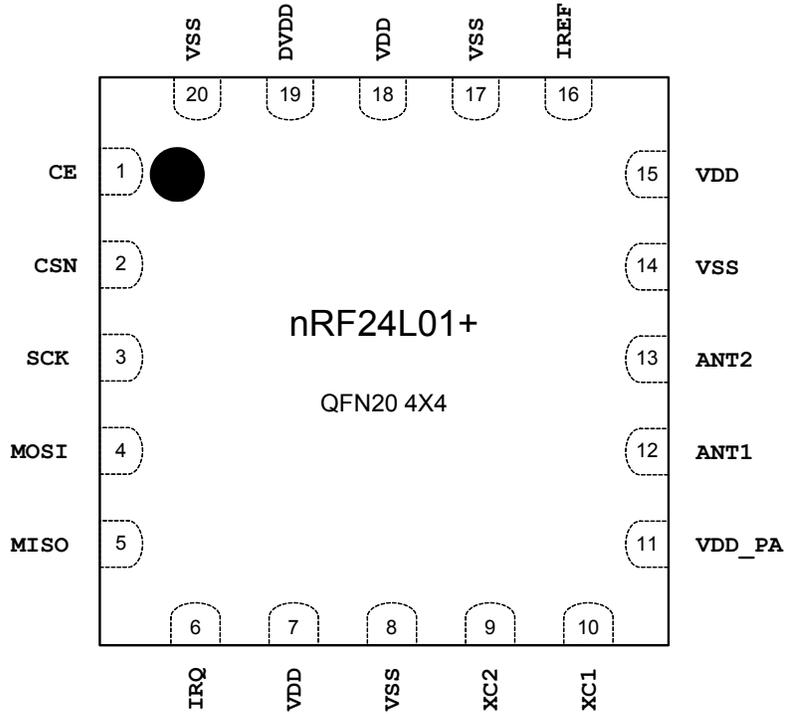


Figure 2. nRF24L01+ pin assignment (top view) for the QFN20 4x4 package

## 2.2 Pin functions

Pin	Name	Pin function	Description
1	CE	Digital Input	Chip Enable Activates RX or TX mode
2	CSN	Digital Input	SPI Chip Select
3	SCK	Digital Input	SPI Clock
4	MOSI	Digital Input	SPI Slave Data Input
5	MISO	Digital Output	SPI Slave Data Output, with tri-state option
6	IRQ	Digital Output	Maskable interrupt pin. Active low
7	VDD	Power	Power Supply (+1.9V - +3.6V DC)
8	VSS	Power	Ground (0V)
9	XC2	Analog Output	Crystal Pin 2
10	XC1	Analog Input	Crystal Pin 1
11	VDD_PA	Power Output	Power Supply Output (+1.8V) for the internal nRF24L01+ Power Amplifier. Must be connected to ANT1 and ANT2 as shown in <a href="#">Figure 32</a> .
12	ANT1	RF	Antenna interface 1
13	ANT2	RF	Antenna interface 2
14	VSS	Power	Ground (0V)
15	VDD	Power	Power Supply (+1.9V - +3.6V DC)
16	IREF	Analog Input	Reference current. Connect a 22kΩ resistor to ground. See <a href="#">Figure 32</a> .
17	VSS	Power	Ground (0V)
18	VDD	Power	Power Supply (+1.9V - +3.6V DC)
19	DVDD	Power Output	Internal digital supply output for de-coupling purposes. See <a href="#">Figure 32</a> .
20	VSS	Power	Ground (0V)

Table 1. nRF24L01+ pin function

### 3 Absolute maximum ratings

**Note:** Exceeding one or more of the limiting values may cause permanent damage to nRF24L01+.

Operating conditions	Minimum	Maximum	Units
<b>Supply voltages</b>			
VDD	-0.3	3.6	V
VSS		0	V
<b>Input voltage</b>			
V <sub>I</sub>	-0.3	5.25	V
<b>Output voltage</b>			
V <sub>O</sub>	VSS to VDD	VSS to VDD	
<b>Total Power Dissipation</b>			
P <sub>D</sub> (T <sub>A</sub> =85°C)		60	mW
<b>Temperatures</b>			
Operating Temperature	-40	+85	°C
Storage Temperature	-40	+125	°C

Table 2. Absolute maximum ratings

## 4 Operating conditions

Symbol	Parameter (condition)	Notes	Min.	Typ.	Max.	Units
VDD	Supply voltage		1.9	3.0	3.6	V
VDD	Supply voltage if input signals >3.6V		2.7	3.0	3.3	V
TEMP	Operating Temperature		-40	+27	+85	°C

Table 3. Operating conditions

## 5 Electrical specifications

Conditions:  $V_{DD} = +3V$ ,  $V_{SS} = 0V$ ,  $T_A = -40^{\circ}C$  to  $+85^{\circ}C$

### 5.1 Power consumption

Symbol	Parameter (condition)	Notes	Min.	Typ.	Max.	Units
<b>Idle modes</b>						
$I_{VDD\_PD}$	Supply current in power down			900		nA
$I_{VDD\_ST1}$	Supply current in standby-I mode	a		26		$\mu A$
$I_{VDD\_ST2}$	Supply current in standby-II mode			320		$\mu A$
$I_{VDD\_SU}$	Average current during 1.5ms crystal oscillator startup			400		$\mu A$
<b>Transmit</b>						
$I_{VDD\_TX0}$	Supply current @ 0dBm output power	b		11.3		mA
$I_{VDD\_TX6}$	Supply current @ -6dBm output power	b		9.0		mA
$I_{VDD\_TX12}$	Supply current @ -12dBm output power	b		7.5		mA
$I_{VDD\_TX18}$	Supply current @ -18dBm output power	b		7.0		mA
$I_{VDD\_AVG}$	Average Supply current @ -6dBm output power, ShockBurst™	c		0.12		mA
$I_{VDD\_TXS}$	Average current during TX settling	d		8.0		mA
<b>Receive</b>						
$I_{VDD\_2M}$	Supply current 2Mbps			13.5		mA
$I_{VDD\_1M}$	Supply current 1Mbps			13.1		mA
$I_{VDD\_250}$	Supply current 250kbps			12.6		mA
$I_{VDD\_RXS}$	Average current during RX settling	e		8.9		mA

- a. This current is for a 12pF crystal. Current when using external clock is dependent on signal swing.
- b. Antenna load impedance =  $15\Omega + j88\Omega$ .
- c. Antenna load impedance =  $15\Omega + j88\Omega$ . Average data rate 10kbps and max. payload length packets.
- d. Average current consumption during TX startup (130 $\mu s$ ) and when changing mode from RX to TX (130 $\mu s$ ).
- e. Average current consumption during RX startup (130 $\mu s$ ) and when changing mode from TX to RX (130 $\mu s$ ).

Table 4. Power consumption

## 5.2 General RF conditions

Symbol	Parameter (condition)	Notes	Min.	Typ.	Max.	Units
$f_{OP}$	Operating frequency	a	2400		2525	MHz
$PLL_{res}$	PLL Programming resolution			1		MHz
$f_{XTAL}$	Crystal frequency			16		MHz
$\Delta f_{250}$	Frequency deviation @ 250kbps			$\pm 160$		kHz
$\Delta f_{1M}$	Frequency deviation @ 1Mbps			$\pm 160$		kHz
$\Delta f_{2M}$	Frequency deviation @ 2Mbps			$\pm 320$		kHz
$R_{GFSK}$	Air Data rate	b	250		2000	kbps
$F_{CHANNEL\ 1M}$	Non-overlapping channel spacing @ 250kbps/1Mbps	c		1		MHz
$F_{CHANNEL\ 2M}$	Non-overlapping channel spacing @ 2Mbps	c		2		MHz

a. Regulatory standards determine the band range you can use.

b. Data rate in each burst on-air

c. The minimum channel spacing is 1MHz

Table 5. General RF conditions

## 5.3 Transmitter operation

Symbol	Parameter (condition)	Notes	Min.	Typ.	Max.	Units
$P_{RF}$	Maximum Output Power	a		0	+4	dBm
$P_{RFC}$	RF Power Control Range		16	18	20	dB
$P_{RFCR}$	RF Power Accuracy				$\pm 4$	dB
$P_{BW2}$	20dB Bandwidth for Modulated Carrier (2Mbps)			1800	2000	kHz
$P_{BW1}$	20dB Bandwidth for Modulated Carrier (1Mbps)			900	1000	kHz
$P_{BW250}$	20dB Bandwidth for Modulated Carrier (250kbps)			700	800	kHz
$P_{RF1.2}$	1 <sup>st</sup> Adjacent Channel Transmit Power 2MHz (2Mbps)				-20	dBc
$P_{RF2.2}$	2 <sup>nd</sup> Adjacent Channel Transmit Power 4MHz (2Mbps)				-50	dBc
$P_{RF1.1}$	1 <sup>st</sup> Adjacent Channel Transmit Power 1MHz (1Mbps)				-20	dBc
$P_{RF2.1}$	2 <sup>nd</sup> Adjacent Channel Transmit Power 2MHz (1Mbps)				-45	dBc
$P_{RF1.250}$	1 <sup>st</sup> Adjacent Channel Transmit Power 1MHz (250kbps)				-30	dBc
$P_{RF2.250}$	2 <sup>nd</sup> Adjacent Channel Transmit Power 2MHz (250kbps)				-45	dBc

a. Antenna load impedance =  $15\Omega + j88\Omega$

Table 6. Transmitter operation

## 5.4 Receiver operation

Datarate	Symbol	Parameter (condition)	Notes	Min.	Typ.	Max.	Units
	$RX_{max}$	Maximum received signal at <0.1% BER			0		dBm
2Mbps	$RX_{SENS}$	Sensitivity (0.1%BER) @2Mbps			-82		dBm
1Mbps	$RX_{SENS}$	Sensitivity (0.1%BER) @1Mbps			-85		dBm
250kbps	$RX_{SENS}$	Sensitivity (0.1%BER) @250kbps			-94		dBm

Table 7. RX Sensitivity

Datarate	Symbol	Parameter (condition)	Notes	Min.	Typ.	Max.	Units
2Mbps	$C/I_{CO}$	C/I Co-channel			7		dBc
	$C/I_{1ST}$	1 <sup>st</sup> ACS (Adjacent Channel Selectivity) C/I 2MHz			3		dBc
	$C/I_{2ND}$	2 <sup>nd</sup> ACS C/I 4MHz			-17		dBc
	$C/I_{3RD}$	3 <sup>rd</sup> ACS C/I 6MHz			-21		dBc
	$C/I_{Nth}$	N <sup>th</sup> ACS C/I, $f_i > 12\text{MHz}$			-40		dBc
	$C/I_{Nth}$	N <sup>th</sup> ACS C/I, $f_i > 36\text{MHz}$	a		-48		dBc
1Mbps	$C/I_{CO}$	C/I Co-channel			9		dBc
	$C/I_{1ST}$	1 <sup>st</sup> ACS C/I 1MHz			8		dBc
	$C/I_{2ND}$	2 <sup>nd</sup> ACS C/I 2MHz			-20		dBc
	$C/I_{3RD}$	3 <sup>rd</sup> ACS C/I 3MHz			-30		dBc
	$C/I_{Nth}$	N <sup>th</sup> ACS C/I, $f_i > 6\text{MHz}$			-40		dBc
	$C/I_{Nth}$	N <sup>th</sup> ACS C/I, $f_i > 25\text{MHz}$	a		-47		dBc
250kbps	$C/I_{CO}$	C/I Co-channel			12		dBc
	$C/I_{1ST}$	1 <sup>st</sup> ACS C/I 1MHz			-12		dBc
	$C/I_{2ND}$	2 <sup>nd</sup> ACS C/I 2MHz			-33		dBc
	$C/I_{3RD}$	3 <sup>rd</sup> ACS C/I 3MHz			-38		dBc
	$C/I_{Nth}$	N <sup>th</sup> ACS C/I, $f_i > 6\text{MHz}$			-50		dBc
	$C/I_{Nth}$	N <sup>th</sup> ACS C/I, $f_i > 25\text{MHz}$	a		-60		dBc

a. **Narrow Band (In Band) Blocking measurements:**

0 to  $\pm 40\text{MHz}$ ; 1MHz step size

For Interferer frequency offsets  $n \cdot 2 \cdot f_{xtal}$ , blocking performance is degraded by approximately 5dB compared to adjacent figures.

Table 8. RX selectivity according to ETSI EN 300 440-1 V1.3.1 (2001-09) page 27

Datarate	Symbol	Parameter (condition)	Notes	Min.	Typ.	Max.	Units
2Mbps	C/I <sub>CO</sub>	C/I Co-channel (Modulated carrier)			11		dBc
	C/I <sub>1ST</sub>	1 <sup>st</sup> ACS C/I 2MHz			4		dBc
	C/I <sub>2ND</sub>	2 <sup>nd</sup> ACS C/I 4MHz			-18		dBc
	C/I <sub>3RD</sub>	3 <sup>rd</sup> ACS C/I 6MHz			-24		dBc
	C/I <sub>Nth</sub>	N <sup>th</sup> ACS C/I, f <sub>i</sub> > 12MHz			-40		dBc
	C/I <sub>Nth</sub>	N <sup>th</sup> ACS C/I, f <sub>i</sub> > 36MHz	a		-48		dBc
1Mbps	C/I <sub>CO</sub>	C/I Co-channel			12		dBc
	C/I <sub>1ST</sub>	1 <sup>st</sup> ACS C/I 1MHz			8		dBc
	C/I <sub>2ND</sub>	2 <sup>nd</sup> ACS C/I 2MHz			-21		dBc
	C/I <sub>3RD</sub>	3 <sup>rd</sup> ACS C/I 3MHz			-30		dBc
	C/I <sub>Nth</sub>	N <sup>th</sup> ACS C/I, f <sub>i</sub> > 6MHz			-40		dBc
	C/I <sub>Nth</sub>	N <sup>th</sup> ACS C/I, f <sub>i</sub> > 25MHz	a		-50		dBc
250kbps	C/I <sub>CO</sub>	C/I Co-channel			7		dBc
	C/I <sub>1ST</sub>	1 <sup>st</sup> ACS C/I 1MHz			-12		dBc
	C/I <sub>2ND</sub>	2 <sup>nd</sup> ACS C/I 2MHz			-34		dBc
	C/I <sub>3RD</sub>	3 <sup>rd</sup> ACS C/I 3MHz			-39		dBc
	C/I <sub>Nth</sub>	N <sup>th</sup> ACS C/I, f <sub>i</sub> > 6MHz			-50		dBc
	C/I <sub>Nth</sub>	N <sup>th</sup> ACS C/I, f <sub>i</sub> > 25MHz	a		-60		dBc

a. **Narrow Band (In Band) Blocking measurements:**

0 to ±40MHz; 1MHz step size

**Wide Band Blocking measurements:**

30MHz to 2000MHz; 10MHz step size

2000MHz to 2399MHz; 3MHz step size

2484MHz to 3000MHz; 3MHz step size

3GHz to 12.75GHz; 25MHz step size

**Wanted signal for wideband blocking measurements:**

-67dBm in 1Mbps and 2Mbps mode

-77dBm in 250kbps mode

For Interferer frequency offsets  $n \cdot 2 \cdot f_{xtal}$ , blocking performance are degraded by approximately 5dB compared to adjacent figures.

If the wanted signal is 3dB or more above the sensitivity level then, the carrier/interferer ratio is independent of the wanted signal level for a given frequency offset.

*Table 9. RX selectivity with nRF24L01+ equal modulation on interfering signal. Measured using Pin = -67dBm for wanted signal.*

Datarate	Symbol	Parameter (condition)	Notes	Min.	Typ.	Max.	Units
2Mbps	P_IM(6)	Input power of IM interferers at 6 and 12MHz offset from wanted signal			-42		dBm
	P_IM(8)	Input power of IM interferers at 8 and 16MHz offset from wanted signal			-38		dBm
	P_IM(10)	Input power of IM interferers at 10 and 20MHz offset from wanted signal			-37		dBm
1Mbps	P_IM(3)	Input power of IM interferers at 3 and 6MHz offset from wanted signal			-36		dBm
	P_IM(4)	Input power of IM interferers at 4 and 8MHz offset from wanted signal			-36		dBm
	P_IM(5)	Input power of IM interferers at 5 and 10MHz offset from wanted signal			-36		dBm
250kbps	P_IM(3)	Input power of IM interferers at 3 and 6MHz offset from wanted signal			-36		dBm
	P_IM(4)	Input power of IM interferers at 4 and 8MHz offset from wanted signal			-36		dBm
	P_IM(5)	Input power of IM interferers at 5 and 10MHz offset from wanted signal			-36		dBm

**Note:** Wanted signal level at Pin = -64 dBm. Two interferers with equal input power are used. The interferer closest in frequency is unmodulated, the other interferer is modulated equal with the wanted signal. The input power of interferers where the sensitivity equals BER = 0.1% is presented.

*Table 10. RX intermodulation test performed according to Bluetooth Specification version 2.0*

**ANEXO 3**

# DS1307

## 64 x 8, Serial, I<sup>2</sup>C Real-Time Clock

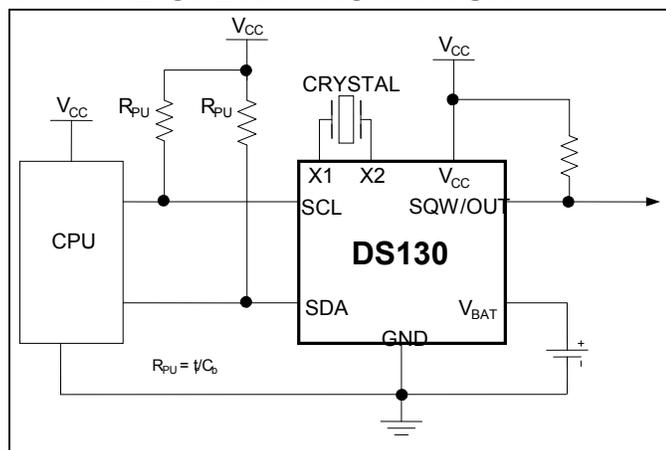
### GENERAL DESCRIPTION

The DS1307 serial real-time clock (RTC) is a low-power, full binary-coded decimal (BCD) clock/calendar plus 56 bytes of NV SRAM. Address and data are transferred serially through an I<sup>2</sup>C, bidirectional bus. The clock/calendar provides seconds, minutes, hours, day, date, month, and year information. The end of the month date is automatically adjusted for months with fewer than 31 days, including corrections for leap year. The clock operates in either the 24-hour or 12-hour format with AM/PM indicator. The DS1307 has a built-in power-sense circuit that detects power failures and automatically switches to the backup supply. Timekeeping operation continues while the part operates from the backup supply.

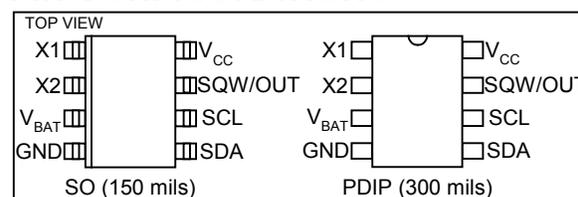
### FEATURES

- Real-Time Clock (RTC) Counts Seconds, Minutes, Hours, Date of the Month, Month, Day of the week, and Year with Leap-Year Compensation Valid Up to 2100
- 56-Byte, Battery-Backed, General-Purpose RAM with Unlimited Writes
- I<sup>2</sup>C Serial Interface
- Programmable Square-Wave Output Signal
- Automatic Power-Fail Detect and Switch Circuitry
- Consumes Less than 500nA in Battery-Backup Mode with Oscillator Running
- Optional Industrial Temperature Range: -40°C to +85°C
- Available in 8-Pin Plastic DIP or SO
- Underwriters Laboratories (UL) Recognized

### TYPICAL OPERATING CIRCUIT



### PIN CONFIGURATIONS



### ORDERING INFORMATION

PART	TEMP RANGE	VOLTAGE (V)	PIN-PACKAGE	TOP MARK*
DS1307+	0°C to +70°C	5.0	8 PDIP (300 mils)	DS1307
DS1307N+	-40°C to +85°C	5.0	8 PDIP (300 mils)	DS1307N
DS1307Z+	0°C to +70°C	5.0	8 SO (150 mils)	DS1307
DS1307ZN+	-40°C to +85°C	5.0	8 SO (150 mils)	DS1307N
DS1307Z+T&R	0°C to +70°C	5.0	8 SO (150 mils) Tape and Reel	DS1307
DS1307ZN+T&R	-40°C to +85°C	5.0	8 SO (150 mils) Tape and Reel	DS1307N

+Denotes a lead-free/RoHS-compliant package.

\*A "+" anywhere on the top mark indicates a lead-free package. An "N" anywhere on the top mark indicates an industrial temperature range device.

For pricing, delivery, and ordering information, please contact Maxim Direct at 1-888-629-4642, or visit Maxim's website at [www.maximintegrated.com](http://www.maximintegrated.com).

REV: 100208

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**

Voltage Range on Any Pin Relative to Ground .....	-0.5V to +7.0V
Operating Temperature Range (Noncondensing)	
Commercial .....	0°C to +70°C
Industrial .....	-40°C to +85°C
Storage Temperature Range.....	-55°C to +125°C
Soldering Temperature (DIP, leads) .....	+260°C for 10 seconds
Soldering Temperature (surface mount).....	Refer to the JPC/JEDEC J-STD-020 Specification.

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to the absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

**RECOMMENDED DC OPERATING CONDITIONS**

(T<sub>A</sub> = 0°C to +70°C, T<sub>A</sub> = -40°C to +85°C.) (Notes 1, 2)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Voltage	V <sub>CC</sub>		4.5	5.0	5.5	V
Logic 1 Input	V <sub>IH</sub>		2.2		V <sub>CC</sub> + 0.3	V
Logic 0 Input	V <sub>IL</sub>		-0.3		+0.8	V
V <sub>BAT</sub> Battery Voltage	V <sub>BAT</sub>		2.0	3	3.5	V

**DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS**

(V<sub>CC</sub> = 4.5V to 5.5V; T<sub>A</sub> = 0°C to +70°C, T<sub>A</sub> = -40°C to +85°C.) (Notes 1, 2)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Input Leakage (SCL)	I <sub>LI</sub>		-1		1	μA
I/O Leakage (SDA, SQW/OUT)	I <sub>LO</sub>		-1		1	μA
Logic 0 Output (I <sub>OL</sub> = 5mA)	V <sub>OL</sub>				0.4	V
Active Supply Current (f <sub>SCL</sub> = 100kHz)	I <sub>CCA</sub>				1.5	mA
Standby Current	I <sub>CCS</sub>	(Note 3)			200	μA
V <sub>BAT</sub> Leakage Current	I <sub>BATLKG</sub>			5	50	nA
Power-Fail Voltage (V <sub>BAT</sub> = 3.0V)	V <sub>PF</sub>		1.216 x V <sub>BAT</sub>	1.25 x V <sub>BAT</sub>	1.284 x V <sub>BAT</sub>	V

**DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS**

(V<sub>CC</sub> = 0V, V<sub>BAT</sub> = 3.0V; T<sub>A</sub> = 0°C to +70°C, T<sub>A</sub> = -40°C to +85°C.) (Notes 1, 2)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
V <sub>BAT</sub> Current (OSC ON); SQW/OUT OFF	I <sub>BAT1</sub>			300	500	nA
V <sub>BAT</sub> Current (OSC ON); SQW/OUT ON (32kHz)	I <sub>BAT2</sub>			480	800	nA
V <sub>BAT</sub> Data-Retention Current (Oscillator Off)	I <sub>BATDR</sub>			10	100	nA

**WARNING:** Negative undershoots below -0.3V while the part is in battery-backed mode may cause loss of data.

**AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS**(V<sub>CC</sub> = 4.5V to 5.5V; T<sub>A</sub> = 0°C to +70°C, T<sub>A</sub> = -40°C to +85°C.)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
SCL Clock Frequency	f <sub>SCL</sub>		0		100	kHz
Bus Free Time Between a STOP and START Condition	t <sub>BUF</sub>		4.7			μs
Hold Time (Repeated) START Condition	t <sub>HD:STA</sub>	(Note 4)	4.0			μs
LOW Period of SCL Clock	t <sub>LOW</sub>		4.7			μs
HIGH Period of SCL Clock	t <sub>HIGH</sub>		4.0			μs
Setup Time for a Repeated START Condition	t <sub>SU:STA</sub>		4.7			μs
Data Hold Time	t <sub>HD:DAT</sub>		0			μs
Data Setup Time	t <sub>SU:DAT</sub>	(Notes 5, 6)	250			ns
Rise Time of Both SDA and SCL Signals	t <sub>R</sub>				1000	ns
Fall Time of Both SDA and SCL Signals	t <sub>F</sub>				300	ns
Setup Time for STOP Condition	t <sub>SU:STO</sub>		4.7			μs

**CAPACITANCE**(T<sub>A</sub> = +25°C)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Pin Capacitance (SDA, SCL)	C <sub>I/O</sub>				10	pF
Capacitance Load for Each Bus Line	C <sub>B</sub>	(Note 7)			400	pF

**Note 1:** All voltages are referenced to ground.**Note 2:** Limits at -40°C are guaranteed by design and are not production tested.**Note 3:** I<sub>CCS</sub> specified with V<sub>CC</sub> = 5.0V and SDA, SCL = 5.0V.**Note 4:** After this period, the first clock pulse is generated.**Note 5:** A device must internally provide a hold time of at least 300ns for the SDA signal (referred to the V<sub>IH(MIN)</sub> of the SCL signal) to bridge the undefined region of the falling edge of SCL.**Note 6:** The maximum t<sub>HD:DAT</sub> only has to be met if the device does not stretch the LOW period (t<sub>LOW</sub>) of the SCL signal.**Note 7:** C<sub>B</sub>—total capacitance of one bus line in pF.

## TIMING DIAGRAM

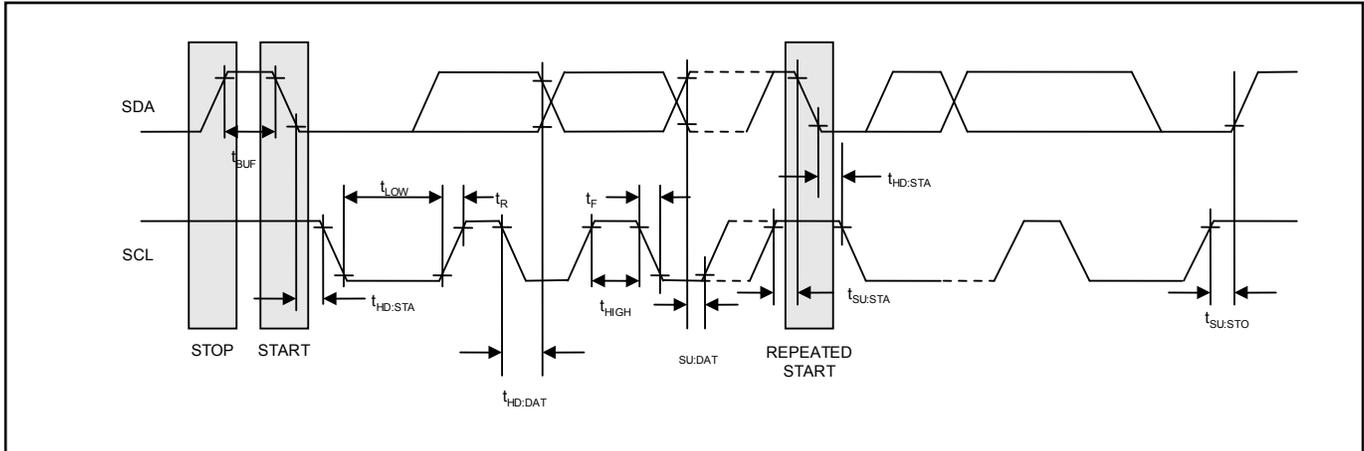
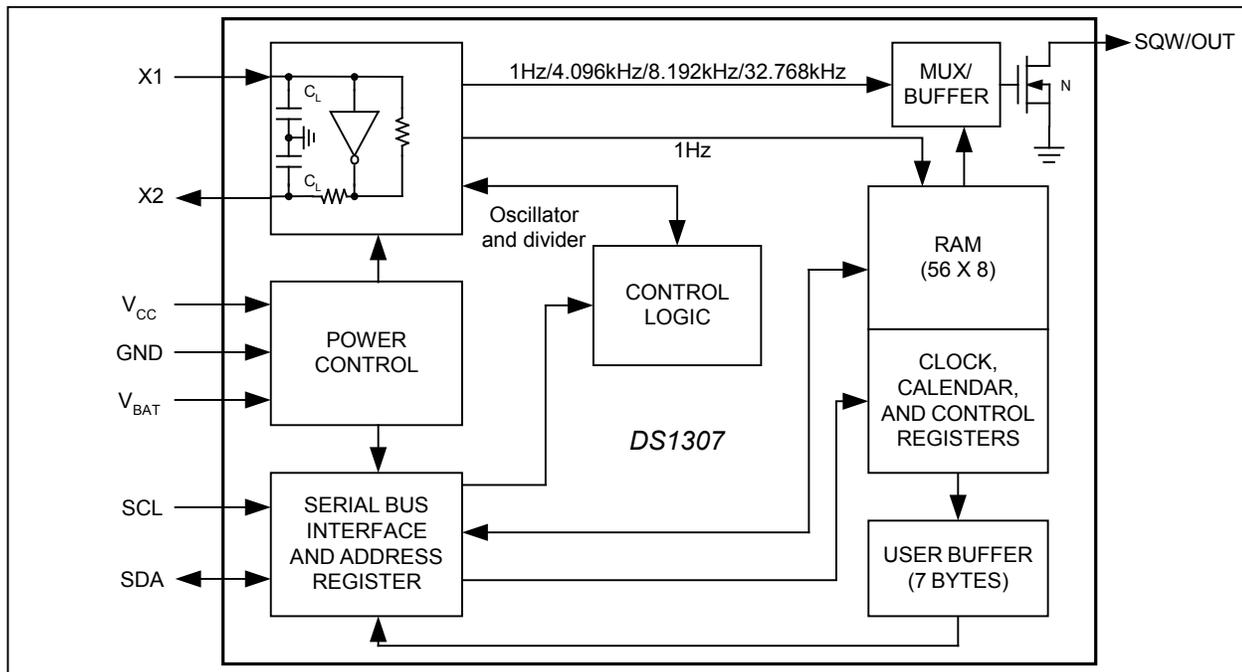


Figure 1. Block Diagram



**ANEXO 4**



# Data Sheet

## Light dependent resistors

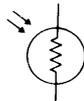
**NORP12 RS stock number 651-507**  
**NSL19-M51 RS stock number 596-141**

Two cadmium sulphide (cdS) photoconductive cells with spectral responses similar to that of the human eye. The cell resistance falls with increasing light intensity. Applications include smoke detection, automatic lighting control, batch counting and burglar alarm systems.

### Guide to source illuminations

Light source	Illumination (Lux)
Moonlight _____	0.1
60W bulb at 1m _____	50
1W MES bulb at 0.1m _____	100
Fluorescent lighting _____	500
Bright sunlight _____	30,000

### Circuit symbol



### Light memory characteristics

Light dependent resistors have a particular property in that they remember the lighting conditions in which they have been stored. This memory effect can be minimised by storing the LDRs in light prior to use. Light storage reduces equilibrium time to reach steady resistance values.

### NORP12 (RS stock no. 651-507)

#### Absolute maximum ratings

Voltage, ac or dc peak _____	320V
Current _____	75mA
Power dissipation at 30°C _____	250mW
Operating temperature range _____	-60°C to +75°C

### Electrical characteristics

$T_A = 25^\circ\text{C}$ . 2854°K tungsten light source

Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Cell resistance	1000 lux	-	400	-	$\Omega$
	10 lux	-	9	-	k $\Omega$
Dark resistance	-	1.0	-	-	M $\Omega$
Dark capacitance	-	-	3.5	-	pF
Rise time 1	1000 lux	-	2.8	-	ms
	10 lux	-	18	-	ms
Fall time 2	1000 lux	-	48	-	ms
	10 lux	-	120	-	ms

1. Dark to 110%  $R_L$

2. To  $10 \times R_L$

$R_L$  = photocell resistance under given illumination.

### Features

- Wide spectral response
- Low cost
- Wide ambient temperature range.

### Dimensions

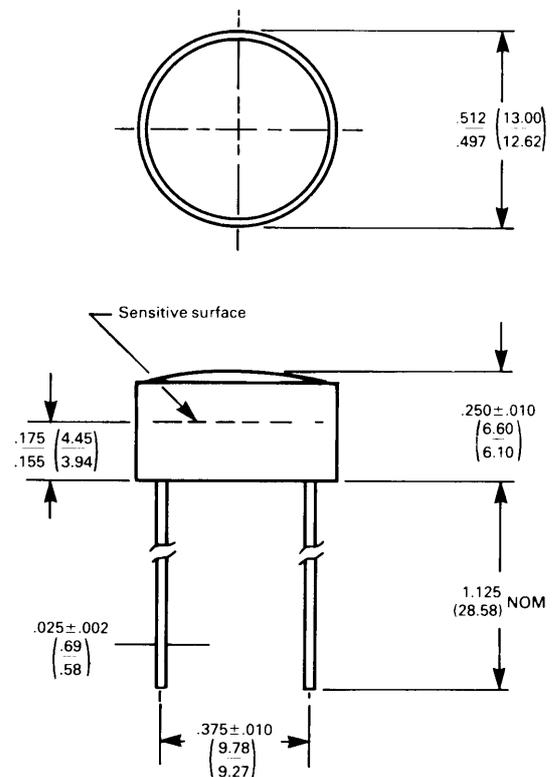


Figure 1 Power dissipation derating

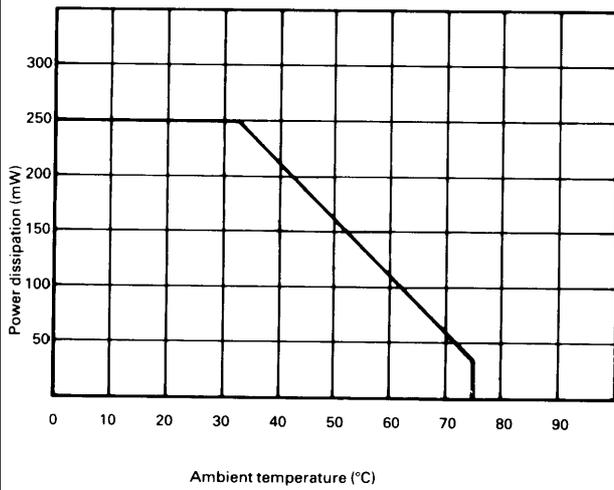
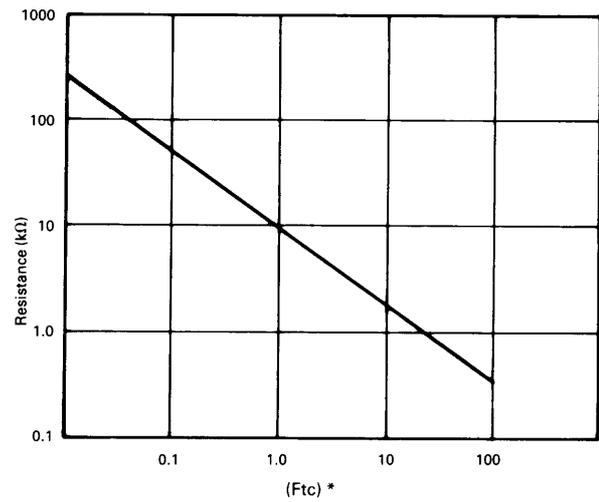
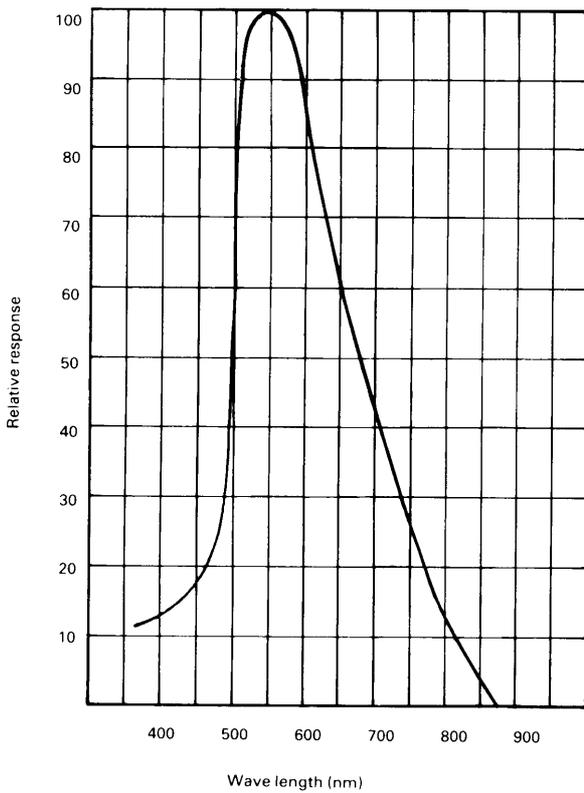


Figure 3 Resistance as a function of illumination



\*1Ftc=10.764 lumens

Figure 2 Spectral response



### Absolute maximum ratings

Voltage, ac or dc peak \_\_\_\_\_ 100V  
 Current \_\_\_\_\_ 5mA  
 Power dissipation at 25°C \_\_\_\_\_ 50mW\*  
 Operating temperature range \_\_\_\_\_ -25°C +75°C

\*Derate linearly from 50mW at 25°C to 0W at 75°C.

### Electrical characteristics

Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Cell resistance	10 lux	20	-	100	kΩ
	100 lux	-	5	-	kΩ
Dark resistance	10 lux after 10 sec	20	-	-	MΩ
Spectral response	-	-	550	-	nm
Rise time	10ftc	-	45	-	ms
Fall time	10ftc	-	55	-	ms

Figure 4 Resistance as a function illumination

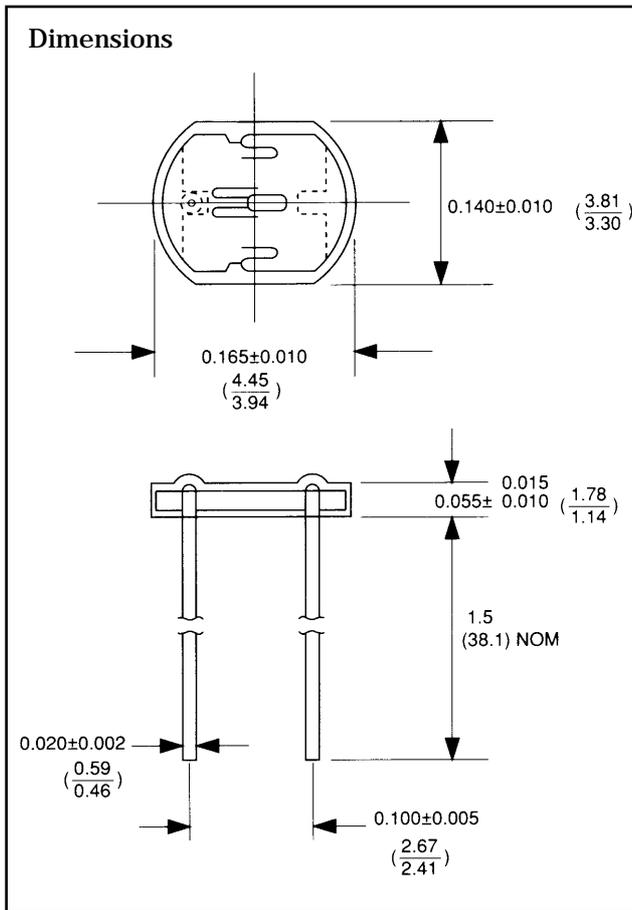
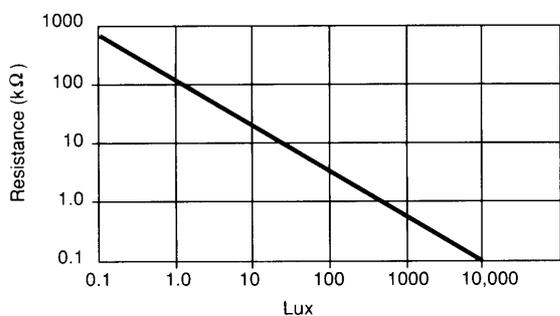
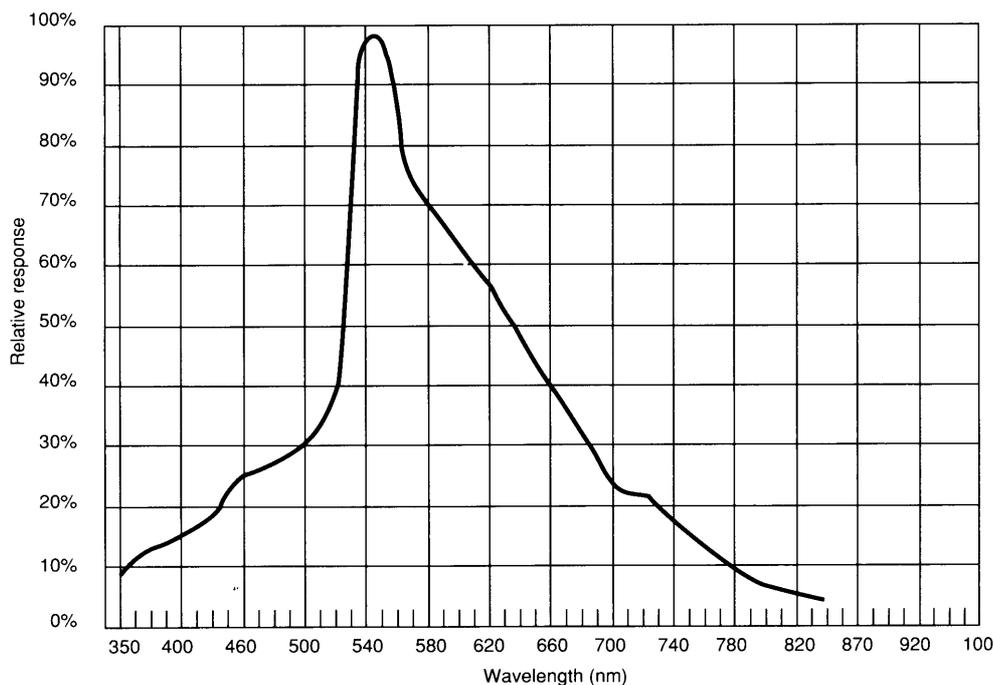
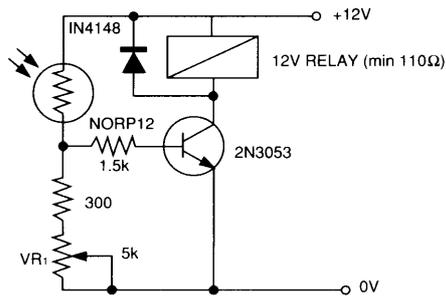


Figure 5 Spectral response



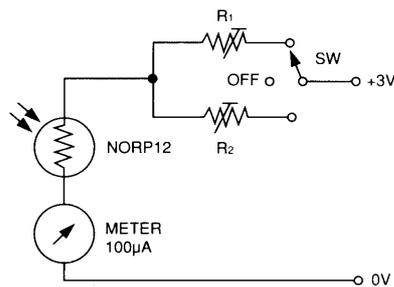
Typical application circuits

Figure 6 Sensitive light operated relay



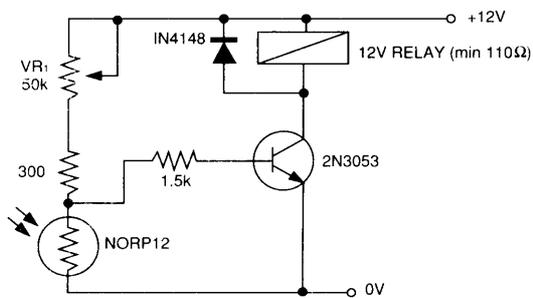
Relay energised when light level increases above the level set by VR<sub>1</sub>

Figure 9 Logarithmic law photographic light meter



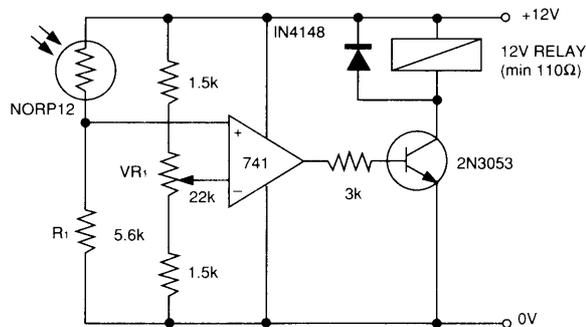
Typical value R<sup>1</sup> = 100kΩ  
R<sup>2</sup> = 200kΩ preset to give two overlapping ranges.  
(Calibration should be made against an accurate meter.)

Figure 7 Light interruption detector



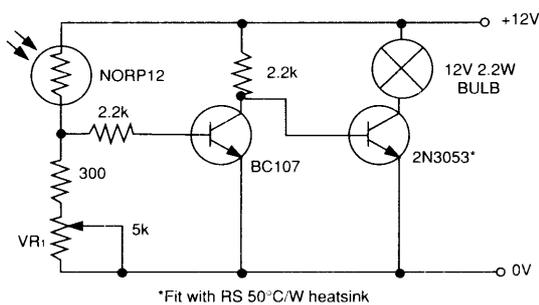
As Figure 6 relay energised when light level drops below the level set by VR<sub>1</sub>

Figure 10 Extremely sensitive light operated relay



(Relay energised when light exceeds preset level.)  
Incorporates a balancing bridge and op-amp. R<sub>1</sub> and NORP12 may be interchanged for the reverse function.

Figure 8 Automatic light circuit



\*Fit with RS 50°C/W heatsink

Adjust turn-on point with VR<sub>1</sub>

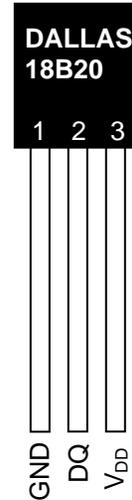
The information provided in RS technical literature is believed to be accurate and reliable; however, RS Components assumes no responsibility for inaccuracies or omissions, or for the use of this information, and all use of such information shall be entirely at the user's own risk. No responsibility is assumed by RS Components for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. Specifications shown in RS Components technical literature are subject to change without notice.

**ANEXO 5**

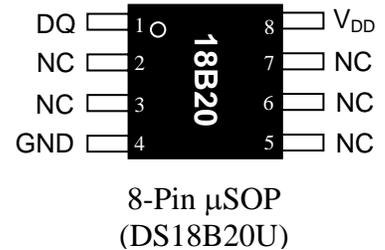
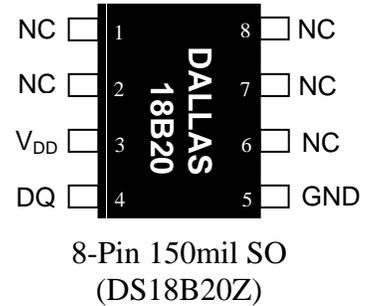
### FEATURES

- Unique 1-Wire<sup>®</sup> interface requires only one port pin for communication
- Each device has a unique 64-bit serial code stored in an onboard ROM
- Multidrop capability simplifies distributed temperature sensing applications
- Requires no external components
- Can be powered from data line. Power supply range is 3.0V to 5.5V
- Measures temperatures from  $-55^{\circ}\text{C}$  to  $+125^{\circ}\text{C}$  ( $-67^{\circ}\text{F}$  to  $+257^{\circ}\text{F}$ )
- $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  accuracy from  $-10^{\circ}\text{C}$  to  $+85^{\circ}\text{C}$
- Thermometer resolution is user-selectable from 9 to 12 bits
- Converts temperature to 12-bit digital word in 750ms (max.)
- User-definable nonvolatile (NV) alarm settings
- Alarm search command identifies and addresses devices whose temperature is outside of programmed limits (temperature alarm condition)
- Available in 8-pin SO (150mil), 8-pin  $\mu\text{SOP}$ , and 3-pin TO-92 packages
- Software compatible with the DS1822
- Applications include thermostatic controls, industrial systems, consumer products, thermometers, or any thermally sensitive system

### PIN ASSIGNMENT



(BOTTOM VIEW)  
TO-92  
(DS18B20)



### PIN DESCRIPTION

- GND - Ground
- DQ - Data In/Out
- V<sub>DD</sub> - Power Supply Voltage
- NC - No Connect

### DESCRIPTION

The DS18B20 Digital Thermometer provides 9 to 12-bit centigrade temperature measurements and has an alarm function with nonvolatile user-programmable upper and lower trigger points. The DS18B20 communicates over a 1-Wire bus that by definition requires only one data line (and ground) for communication with a central microprocessor. It has an operating temperature range of  $-55^{\circ}\text{C}$  to  $+125^{\circ}\text{C}$  and is accurate to  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  over the range of  $-10^{\circ}\text{C}$  to  $+85^{\circ}\text{C}$ . In addition, the DS18B20 can derive power directly from the data line (“parasite power”), eliminating the need for an external power supply.

Each DS18B20 has a unique 64-bit serial code, which allows multiple DS18B20s to function on the same 1-wire bus; thus, it is simple to use one microprocessor to control many DS18B20s distributed over a large area. Applications that can benefit from this feature include HVAC environmental controls, temperature monitoring systems inside buildings, equipment or machinery, and process monitoring and control systems.

*1-Wire is a registered trademark of Dallas Semiconductor.*

## ORDER INFORMATION

ORDERING NUMBER	PACKAGE MARKING	DESCRIPTION
DS18B20	18B20	DS18B20 in 3-pin TO92
DS18B20/T&R	18B20	DS18B20 in 3-pin TO92, 2000 Piece Tape-and-Reel
DS18B20+	18B20 (See Note)	DS18B20 in Lead-Free 3-pin TO92
DS18B20+T&R	18B20 (See Note)	DS18B20 in Lead-Free 3-pin TO92, 2000 Piece Tape-and-Reel
DS18B20U	18B20	DS18B20 in 8-pin uSOP
DS18B20U/T&R	18B20	DS18B20 in 8-pin uSOP, 3000 Piece Tape-and-Reel
DS18B20U+	18B20 (See Note)	DS18B20 in Lead-Free 8-pin uSOP
DS18B20U+T&R	18B20 (See Note)	DS18B20 in Lead-Free 8-pin uSOP, 3000 Piece Tape-and-Reel
DS18B20Z	DS18B20	DS18B20 in 150 mil 8-pin SO
DS18B20Z/T&R	DS18B20	DS18B20 in 150 mil 8-pin SO, 2500 Piece Tape-and-Reel
DS18B20Z+	DS18B20 (See Note)	DS18B20 in Lead-Free 150 mil 8-pin SO
DS18B20Z+T&R	DS18B20 (See Note)	DS18B20 in Lead-Free 150 mil 8-pin SO, 2500 Piece Tape-and-Reel

Note: A “+” symbol will also be marked on the package.

## DETAILED PIN DESCRIPTIONS Table 1

SO*	μSOP*	TO-92	SYMBOL	DESCRIPTION
5	4	1	GND	<b>Ground.</b>
4	1	2	DQ	<b>Data Input/Output pin.</b> Open-drain 1-Wire interface pin. Also provides power to the device when used in parasite power mode (see “Parasite Power” section.)
3	8	3	V <sub>DD</sub>	<b>Optional V<sub>DD</sub> pin.</b> V <sub>DD</sub> must be grounded for operation in parasite power mode.

\*All pins not specified in this table are “No Connect” pins.

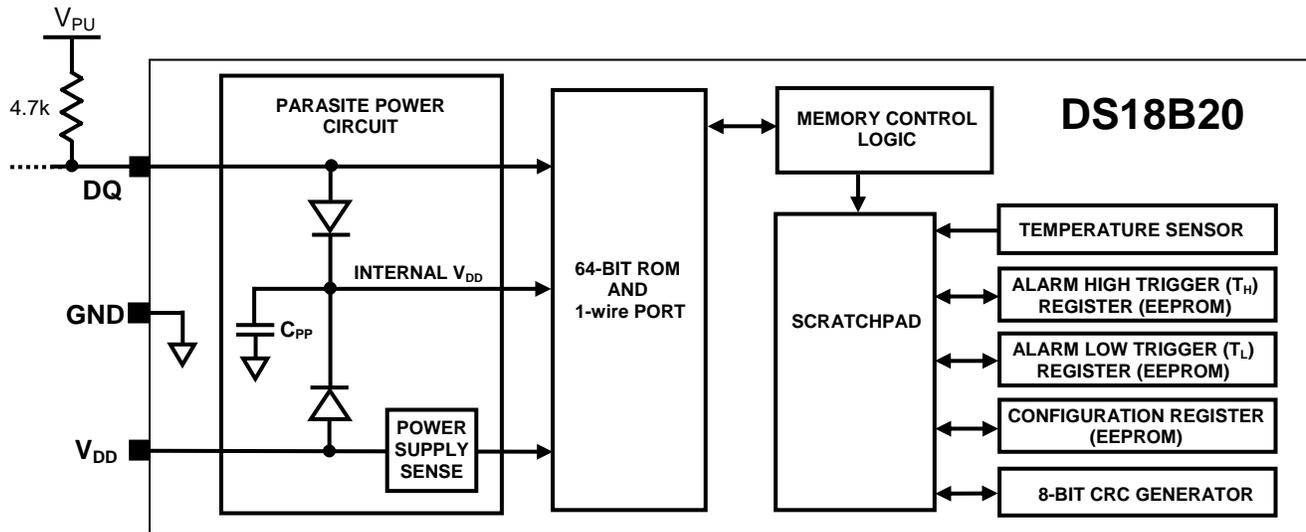
## OVERVIEW

Figure 1 shows a block diagram of the DS18B20, and pin descriptions are given in Table 1. The 64-bit ROM stores the device’s unique serial code. The scratchpad memory contains the 2-byte temperature register that stores the digital output from the temperature sensor. In addition, the scratchpad provides access to the 1-byte upper and lower alarm trigger registers (T<sub>H</sub> and T<sub>L</sub>), and the 1-byte configuration register. The configuration register allows the user to set the resolution of the temperature-to-digital conversion to 9, 10, 11, or 12 bits. The T<sub>H</sub>, T<sub>L</sub> and configuration registers are nonvolatile (EEPROM), so they will retain data when the device is powered down.

The DS18B20 uses Dallas’ exclusive 1-Wire bus protocol that implements bus communication using one control signal. The control line requires a weak pullup resistor since all devices are linked to the bus via a 3-state or open-drain port (the DQ pin in the case of the DS18B20). In this bus system, the microprocessor (the master device) identifies and addresses devices on the bus using each device’s unique 64-bit code. Because each device has a unique code, the number of devices that can be addressed on one bus is virtually unlimited. The 1-Wire bus protocol, including detailed explanations of the commands and “time slots,” is covered in the *1-WIRE BUS SYSTEM* section of this datasheet.

Another feature of the DS18B20 is the ability to operate without an external power supply. Power is instead supplied through the 1-Wire pullup resistor via the DQ pin when the bus is high. The high bus signal also charges an internal capacitor ( $C_{PP}$ ), which then supplies power to the device when the bus is low. This method of deriving power from the 1-Wire bus is referred to as “parasite power.” As an alternative, the DS18B20 may also be powered by an external supply on  $V_{DD}$ .

### DS18B20 BLOCK DIAGRAM Figure 1



## OPERATION — MEASURING TEMPERATURE

The core functionality of the DS18B20 is its direct-to-digital temperature sensor. The resolution of the temperature sensor is user-configurable to 9, 10, 11, or 12 bits, corresponding to increments of 0.5°C, 0.25°C, 0.125°C, and 0.0625°C, respectively. The default resolution at power-up is 12-bit. The DS18B20 powers-up in a low-power idle state; to initiate a temperature measurement and A-to-D conversion, the master must issue a Convert T [44h] command. Following the conversion, the resulting thermal data is stored in the 2-byte temperature register in the scratchpad memory and the DS18B20 returns to its idle state. If the DS18B20 is powered by an external supply, the master can issue “read time slots” (see the *I-WIRE BUS SYSTEM* section) after the Convert T command and the DS18B20 will respond by transmitting 0 while the temperature conversion is in progress and 1 when the conversion is done. If the DS18B20 is powered with parasite power, this notification technique cannot be used since the bus must be pulled high by a strong pullup during the entire temperature conversion. The bus requirements for parasite power are explained in detail in the *POWERING THE DS18B20* section of this datasheet.

The DS18B20 output temperature data is calibrated in degrees centigrade; for Fahrenheit applications, a lookup table or conversion routine must be used. The temperature data is stored as a 16-bit sign-extended two’s complement number in the temperature register (see Figure 2). The sign bits (S) indicate if the temperature is positive or negative: for positive numbers  $S = 0$  and for negative numbers  $S = 1$ . If the DS18B20 is configured for 12-bit resolution, all bits in the temperature register will contain valid data. For 11-bit resolution, bit 0 is undefined. For 10-bit resolution, bits 1 and 0 are undefined, and for 9-bit resolution bits 2, 1 and 0 are undefined. Table 2 gives examples of digital output data and the corresponding temperature reading for 12-bit resolution conversions.

### TEMPERATURE REGISTER FORMAT Figure 2

	bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
LS Byte	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$	$2^{-1}$	$2^{-2}$	$2^{-3}$	$2^{-4}$
	bit 15	bit 14	bit 13	bit 12	bit 11	bit 10	bit 9	bit 8
MS Byte	S	S	S	S	S	$2^6$	$2^5$	$2^4$

### TEMPERATURE/DATA RELATIONSHIP Table 2

TEMPERATURE	DIGITAL OUTPUT (Binary)	DIGITAL OUTPUT (Hex)
+125°C	0000 0111 1101 0000	07D0h
+85°C*	0000 0101 0101 0000	0550h
+25.0625°C	0000 0001 1001 0001	0191h
+10.125°C	0000 0000 1010 0010	00A2h
+0.5°C	0000 0000 0000 1000	0008h
0°C	0000 0000 0000 0000	0000h
-0.5°C	1111 1111 1111 1000	FFF8h
-10.125°C	1111 1111 0101 1110	FF5Eh
-25.0625°C	1111 1110 0110 1111	FE6Fh
-55°C	1111 1100 1001 0000	FC90h

\*The power-on reset value of the temperature register is +85°C

## OPERATION — ALARM SIGNALING

After the DS18B20 performs a temperature conversion, the temperature value is compared to the user-defined two's complement alarm trigger values stored in the 1-byte  $T_H$  and  $T_L$  registers (see Figure 3). The sign bit (S) indicates if the value is positive or negative: for positive numbers  $S = 0$  and for negative numbers  $S = 1$ . The  $T_H$  and  $T_L$  registers are nonvolatile (EEPROM) so they will retain data when the device is powered down.  $T_H$  and  $T_L$  can be accessed through bytes 2 and 3 of the scratchpad as explained in the *MEMORY* section of this datasheet.

### $T_H$ AND $T_L$ REGISTER FORMAT Figure 3

bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
S	$2^6$	$2^5$	$2^5$	$2^5$	$2^2$	$2^1$	$2^0$

Only bits 11 through 4 of the temperature register are used in the  $T_H$  and  $T_L$  comparison since  $T_H$  and  $T_L$  are 8-bit registers. If the measured temperature is lower than or equal to  $T_L$  or higher than  $T_H$ , an alarm condition exists and an alarm flag is set inside the DS18B20. This flag is updated after every temperature measurement; therefore, if the alarm condition goes away, the flag will be turned off after the next temperature conversion.

The master device can check the alarm flag status of all DS18B20s on the bus by issuing an Alarm Search [ECh] command. Any DS18B20s with a set alarm flag will respond to the command, so the master can determine exactly which DS18B20s have experienced an alarm condition. If an alarm condition exists and the  $T_H$  or  $T_L$  settings have changed, another temperature conversion should be done to validate the alarm condition.

## POWERING THE DS18B20

The DS18B20 can be powered by an external supply on the  $V_{DD}$  pin, or it can operate in “parasite power” mode, which allows the DS18B20 to function without a local external supply. Parasite power is very useful for applications that require remote temperature sensing or that are very space constrained. Figure 1 shows the DS18B20's parasite-power control circuitry, which “steals” power from the 1-Wire bus via the DQ pin when the bus is high. The stolen charge powers the DS18B20 while the bus is high, and some of the charge is stored on the parasite power capacitor ( $C_{PP}$ ) to provide power when the bus is low. When the DS18B20 is used in parasite power mode, the  $V_{DD}$  pin must be connected to ground.

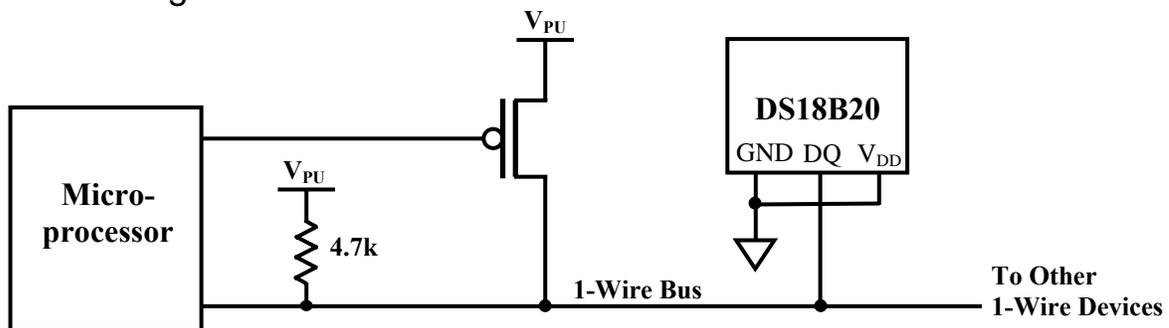
In parasite power mode, the 1-Wire bus and  $C_{PP}$  can provide sufficient current to the DS18B20 for most operations as long as the specified timing and voltage requirements are met (refer to *the DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS* and the *AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS* sections of this data sheet). However, when the DS18B20 is performing temperature conversions or copying data from the scratchpad memory to EEPROM, the operating current can be as high as 1.5mA. This current can cause an unacceptable voltage drop across the weak 1-Wire pullup resistor and is more current than can be supplied by  $C_{PP}$ . To assure that the DS18B20 has sufficient supply current, it is necessary to provide a strong pullup on the 1-Wire bus whenever temperature conversions are taking place or data is being copied from the scratchpad to EEPROM. This can be accomplished by using a MOSFET to pull the bus directly to the rail as shown in Figure 4. The 1-Wire bus must be switched to the strong pullup within 10 $\mu$ s (max) after a Convert T [44h] or Copy Scratchpad [48h] command is issued, and the bus must be held high by the pullup for the duration of the conversion ( $t_{conv}$ ) or data transfer ( $t_{wr} = 10$ ms). No other activity can take place on the 1-Wire bus while the pullup is enabled.

The DS18B20 can also be powered by the conventional method of connecting an external power supply to the  $V_{DD}$  pin, as shown in Figure 5. The advantage of this method is that the MOSFET pullup is not required, and the 1-Wire bus is free to carry other traffic during the temperature conversion time.

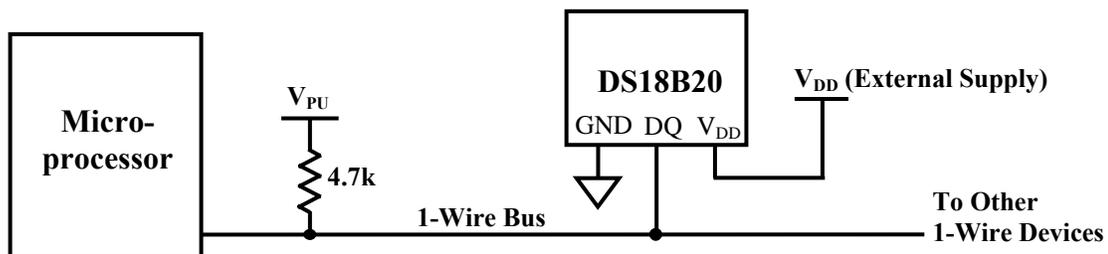
The use of parasite power is not recommended for temperatures above +100°C since the DS18B20 may not be able to sustain communications due to the higher leakage currents that can exist at these temperatures. For applications in which such temperatures are likely, it is strongly recommended that the DS18B20 be powered by an external power supply.

In some situations the bus master may not know whether the DS18B20s on the bus are parasite powered or powered by external supplies. The master needs this information to determine if the strong bus pullup should be used during temperature conversions. To get this information, the master can issue a Skip ROM [CCh] command followed by a Read Power Supply [B4h] command followed by a “read time slot”. During the read time slot, parasite powered DS18B20s will pull the bus low, and externally powered DS18B20s will let the bus remain high. If the bus is pulled low, the master knows that it must supply the strong pullup on the 1-Wire bus during temperature conversions.

## SUPPLYING THE PARASITE-POWERED DS18B20 DURING TEMPERATURE CONVERSIONS Figure 4



## POWERING THE DS18B20 WITH AN EXTERNAL SUPPLY Figure 5



## 64-BIT LASERED ROM CODE

Each DS18B20 contains a unique 64-bit code (see Figure 6) stored in ROM. The least significant 8 bits of the ROM code contain the DS18B20's 1-Wire family code: 28h. The next 48 bits contain a unique serial number. The most significant 8 bits contain a cyclic redundancy check (CRC) byte that is calculated from the first 56 bits of the ROM code. A detailed explanation of the CRC bits is provided in the *CRC GENERATION* section. The 64-bit ROM code and associated ROM function control logic allow the DS18B20 to operate as a 1-Wire device using the protocol detailed in the *1-WIRE BUS SYSTEM* section of this datasheet.

## 64-BIT LASERED ROM CODE Figure 6

8-BIT CRC		48-BIT SERIAL NUMBER		8-BIT FAMILY CODE (28h)	
MSB	LSB	MSB	LSB	MSB	LSB

**ANEXO 6**



# DHT11 Humidity & Temperature Sensor

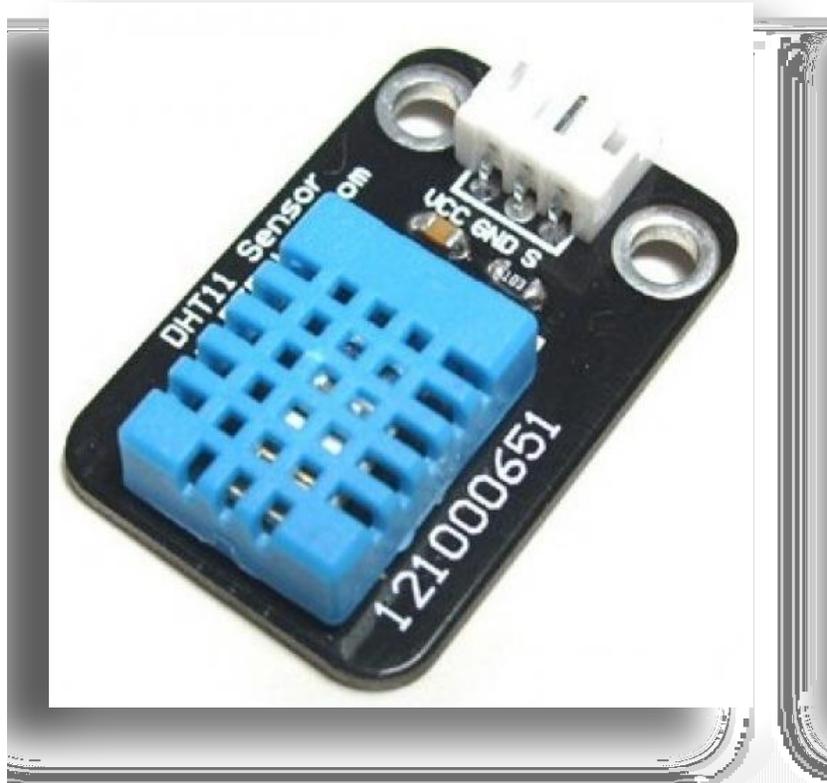
D-Robotics UK ([www.droboticsonline.com](http://www.droboticsonline.com))

DHT11 Temperature & Humidity Sensor features a temperature & humidity sensor complex with a calibrated digital signal output.

**D-Robotics**  
**7/30/2010**

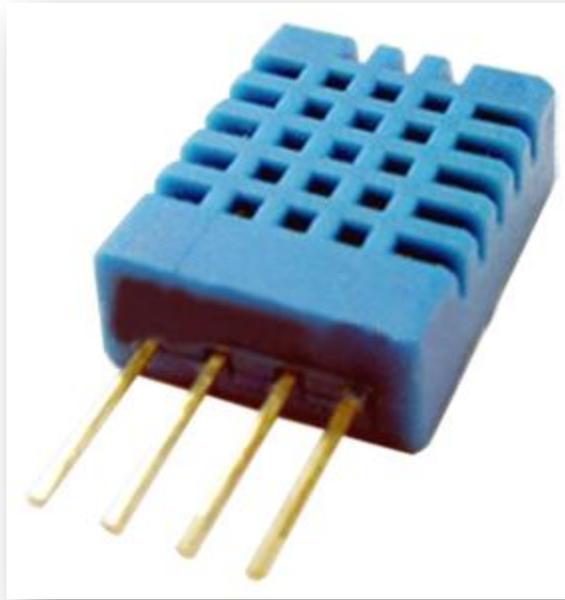
# DHT 11 Humidity & Temperature Sensor

---



## 1. Introduction

This DFRobot DHT11 Temperature & Humidity Sensor features a temperature & humidity sensor complex with a calibrated digital signal output. By using the exclusive digital-signal-acquisition technique and temperature & humidity sensing technology, it ensures high reliability and excellent long-term stability. This sensor includes a resistive-type humidity measurement component and an NTC temperature measurement component, and connects to a high-performance 8-bit microcontroller, offering excellent quality, fast response, anti-interference ability and cost-effectiveness.



Each DHT11 element is strictly calibrated in the laboratory that is extremely accurate on humidity calibration. The calibration coefficients are stored as programmes in the OTP memory, which are used by the sensor's internal signal detecting process. The single-wire serial interface makes system integration quick and easy. Its small size, low power consumption and up-to-20 meter signal transmission making it the best choice for various applications, including those most demanding ones. The component is 4-pin single row pin package. It is convenient to connect and special packages can be provided according to users' request.

## 2. Technical Specifications:

### Overview:

Item	Measurement Range	Humidity Accuracy	Temperature Accuracy	Resolution	Package
DHT11	20-90%RH 0-50 °C	±5%RH	±2°C	1	4 Pin Single Row

## Detailed Specifications:

Parameters	Conditions	Minimum	Typical	Maximum
<b>Humidity</b>				
<b>Resolution</b>		1%RH	1%RH	1%RH
			8 Bit	
<b>Repeatability</b>			± 1%RH	
<b>Accuracy</b>	25°C		± 4%RH	
	0-50°C			± 5%RH
<b>Interchangeability</b>	Fully Interchangeable			
<b>Measurement Range</b>	0°C	30%RH		90%RH
	25°C	20%RH		90%RH
	50°C	20%RH		80%RH
<b>Response Time (Seconds)</b>	1/e(63%)25°C, 1m/s Air	6 S	10 S	15 S
<b>Hysteresis</b>			± 1%RH	
<b>Long-Term Stability</b>	Typical		± 1%RH/year	
<b>Temperature</b>				
<b>Resolution</b>		1°C	1°C	1°C
		8 Bit	8 Bit	8 Bit
<b>Repeatability</b>			± 1°C	
<b>Accuracy</b>		± 1°C		± 2°C
<b>Measurement Range</b>		0°C		50°C
<b>Response Time (Seconds)</b>	1/e(63%)	6 S		30 S