

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO**

WILLIAM SOUSA DA SILVA

**SISTEMA SCADA PARA SUPERVISÃO DE TEMPERATURA E
UMIDADE**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO 2

PATO BRANCO

2016

WILLIAM SOUSA DA SILVA

**SISTEMA SCADA PARA SUPERVISÃO DE TEMPERATURA E
UMIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação 2, do Curso Superior de Engenharia de Computação, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco, como requisito para obtenção do título de bacharel.

Orientador: Prof. Gustavo Weber Denardin
Coorientador: Prof. Richardson Ribeiro

PATO BRANCO

2016



TERMO DE APROVAÇÃO

Às horas 10 horas e 20 minutos do dia 04 de julho de 2016, na sala V103, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco, reuniu-se a banca examinadora composta pelos professores Gustavo Weber Denardin (orientador), Beatriz Terezinha Borsoi e Marcelo Teixeira para avaliar o trabalho de conclusão de curso com o título Sistema SCADA para supervisão de temperatura e umidade, do aluno **William Sousa da Silva**, matrícula 01159186, do curso de Engenharia de Computação. Após a apresentação o candidato foi arguido pela banca examinadora. Em seguida foi realizada a deliberação pela banca examinadora que considerou o trabalho aprovado.

Gustavo Weber Denardin
Orientador (UTFPR)

Beatriz Terezinha Borsoi
(UTFPR)

Marcelo Teixeira
(UTFPR)

Beatriz Terezinha Borsoi
Coordenador de TCC

Pablo Gauterio Cavalcanti
Coordenador do Curso de
Engenharia de Computação

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

RESUMO

SILVA, William. Sistema SCADA para supervisão de temperatura e umidade. 2016. 54 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Curso de Engenharia de Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. Pato Branco, 2016.

Sistemas de supervisão e aquisição de dados permitem que processos produtivos e instalações físicas em geral sejam monitorados através de equipamentos presentes no meio físico. Os dados coletados podem ser analisados, manipulados, processados, armazenados e também apresentados aos usuários. Através de sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Aquisition*) é possível desenvolver soluções que empregam tecnologia de computação e comunicação para automatizar processos, permitindo que aplicações de monitoramento e controle remoto sejam desenvolvidas e utilizadas em diversos ramos da indústria. Os componentes de um sistema de supervisão são, basicamente, sensores, atuadores, aplicações computacionais com interface e redes de comunicação. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de supervisão de temperatura e umidade aplicável a processos que requerem atenção especial a estes parâmetros, o que ocorre em atividades como cultivo de vegetais, manipulação de alimentos e manejo de animais, por exemplo. Para isso uma rede de sensores sem fio com padrão de comunicação IEEE 802.15.4 é implementada para aquisição de dados, utilizando sensores de temperatura e umidade. A coleta de dados e a comunicação entre os dispositivos e o sistema SCADA são gerenciadas pelo microcontrolador com o sistema operacional de tempo real BRTOS. Como sistema de supervisão é utilizado o SCADABR, no qual através do protocolo MODBUS RTU, estabelece comunicação com o microcontrolador, alimentando a interface do sistema com informações de temperatura e umidade fornecidas pelos sensores em tempo real.

Palavras-chave: Sistema de Supervisão. Rede de Sensores sem Fio. ScadaBR.

ABSTRACT

SILVA, William. SCADA system for temperature and humidity monitoring. 2016. 54 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Curso de Engenharia de Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. Pato Branco, 2016.

Data supervision and acquisition systems allow production processes and physical facilities in general are monitored by equipment present in the physical environment. The data and information collected can be analyzed, manipulated, processed, stored and also displayed to users. Through SCADA systems (Supervisory Control and Data Acquisition) can develop solutions that use computer and communications technology to automate processes, allowing for remote monitoring and control applications to be developed and used in various branches of industry. The components of a monitoring system are basically sensors, actuators, computer applications interface and communication networks. This paper presents the development of a temperature and humidity monitoring system applicable to processes that require special attention to these parameters, which occurs in activities such as vegetable cultivation, food handling and management of animals, for example. For this a network of wireless sensors with IEEE 802.15.4 communication standard is implemented for data acquisition, using temperature and humidity sensors Data collection and communication between devices and SCADA system are managed by the microcontroller with the operating system real-time BRTOS. As a supervisory system is used ScadaBR, which via Modbus RTU protocol establishes communication with the microcontroller, feeding the system interface with temperature and humidity information supplied by the sensors in real time.

Keywords: System Supervisory. Sensor Wireless Network. ScadaBR.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. EXEMPLO DE UMA RSSF.....	17
FIGURA 2. ILUSTRAÇÃO DAS FORMAS DE ENERGIA EM UM SENSOR.	19
FIGURA 3. DIAGRAMA EM BLOCOS DE UM SISTEMA DE COMUNICAÇÃO	21
FIGURA 4. DIAGRAMA EM BLOCOS DE UM SISTEMA DE COMUNICAÇÃO VIA RÁDIO.....	22
FIGURA 5. EXEMPLO DE INTERFACE GRÁFICA DE UM PROCESSO REAL	24
FIGURA 6. PLACA DE DESENVOLVIMENTO NXP FRDM-KL25Z COM MCU ARM CORTEX M0+.	27
FIGURA 7. SENSOR DHT11	27
FIGURA 8. MRF24J40MA.....	28
FIGURA 9. NÓ SENSOR	30
FIGURA 10. ESTAÇÃO BASE (COORDENADOR).....	30
FIGURA 11. CAMADAS DA RSSF UTILIZADA.....	32
FIGURA 12. DIAGRAMA DO SISTEMA.	32
FIGURA 13. DIAGRAMA DE TEMPO DO SENSOR.....	33
FIGURA 14. DHT11 E FRDM-KL25Z.....	34
FIGURA 15. DIAGRAMA DE TEMPO DA TRANSMISSÃO DE UM QUADRO RTU	40
FIGURA 16. INTERFACE GRÁFICA DESENVOLVIDA NO SCADABR	42
FIGURA 17. CONFIGURAÇÃO MODO SERIAL RTU – FONTE DE DADOS.....	43
FIGURA 18. CONFIGURAÇÃO DE UM PONTO DE DADOS.....	44
FIGURA 19. NÓS SENSORES E ESTAÇÃO BASE.....	45
FIGURA 20. ACOMPANHAMENTO DE TEMPERATURA.	46
FIGURA 21. ACOMPANHAMENTO DE UMIDADE.....	46
FIGURA 22. GRÁFICO CONSOLIDADO DO SISTEMA DE SUPERVISÃO.....	47
FIGURA 23. GRÁFICO DE ACOMPANHAMENTO DE TRÊS DIAS.....	47

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1. FORMATO DOS DADOS ENVIADOS PELO SENSOR DHT11.....	33
QUADRO 2. FORMATO DO PACOTE DE DADOS.	37
QUADRO 3. ESTRUTURA DO PACOTE DE DADOS RECEBIDOS.	38
QUADRO 4. QUADRO PARA MODBUS EM SERIAL.....	38
QUADRO 5. PACOTE DE DADOS NO MODO RTU.....	39
QUADRO 6. REGISTRADOR DE ENTRADA - MODBUS RTU	40

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	OBJETIVOS.....	9
1.1.1	Objetivo Geral	9
1.1.2	Objetivos Específicos	9
1.2	JUSTIFICATIVA.....	9
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1	SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO	11
2.2	AMBIENTES QUE REQUEREM SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO	12
2.2.1	Estufa de vegetais.....	12
2.2.2	Indústria e manipulação de alimentos	13
2.2.3	Incubadoras.....	14
2.2.4	Avicultura.....	14
2.3	SISTEMAS DE SUPERVISÃO E CONTROLE DE AMBIÊNCIA.....	15
2.4	REDES DE SENSORES SEM FIO	16
2.5	DISPOSITIVOS-SENSORES.....	18
2.5.1	Microcontroladores	18
2.5.2	Sensores	18
2.5.3	Sistemas de comunicação.....	21
2.6	SISTEMA DE CONTROLE SUPERVISÓRIO - SCADA.....	23
2.7	SISTEMA OPERACIONAL DE TEMPO REAL	24
3	MATERIAIS E MÉTODO	26
3.1	MATERIAIS.....	26
3.1.1	FRDM-KL25Z	26
3.1.2	Sensor DHT11.....	27
3.1.3	MRF24J40MA	28
3.1.4	ScadaBR	29
3.2	MÉTODO	29
3.2.1	Nó sensor.....	33
3.2.2	Estação base.....	37
3.2.3	SCADABR.....	41
4	RESULTADOS	45
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS	48
6	REFERÊNCIAS.....	49

1 INTRODUÇÃO

Sistemas de supervisão e controle são fundamentais para a automação, permitindo que informações de um processo produtivo ou um ambiente físico sejam monitoradas e rastreadas por um operador (especialista) (SILVA, 2005).

Estes sistemas são cada vez mais implantados na indústria em diferentes ramos, principalmente quando existe a necessidade de manipular variáveis que influenciam positiva ou negativamente algum processo (PINHEIRO, 2006). Os investimentos em automação na indústria envolvendo supervisão e controle em geral são expressivos, uma vez que processos automáticos dispensam o trabalho humano e a aplicação de conhecimentos empíricos, que é mais suscetível a erros e equívocos (PAIOLA, 2011).

Atividades que necessitam de controle de ambiência se destacam nas aplicações de sistemas de monitoramento, sendo a temperatura e a umidade as principais variáveis a serem monitoradas e controladas. Como exemplo de processos, pode-se citar indústria de manipulação de alimentos, manufatura, estufas de vegetais e criação de animais, como a avicultura (OLIVEIRA et al, 2006) (FIGUEIREDO et al, 2001).

O monitoramento de ambiência facilita o trabalho do especialista e torna as decisões de manejo mais confiáveis. Em posse de um sistema de supervisão, o especialista tem acesso a informações como vazão, pressão, nível, temperatura e umidade em tempo real, através de interfaces que se comunicam com sensores distribuídos no ambiente físico, que podem ser desenvolvidas com o auxílio de ferramentas computacionais (PINHEIRO, 2006).

Utilizando uma ferramenta *Supervisory Control and Data Acquisition*, (SCADA), por exemplo, é possível construir um ambiente virtual fiel ao meio físico que se deseja monitorar, e, por meio de protocolos suportados pelo *software*, comunicar interfaces com sensores e atuadores do meio físico (DANEELS; SALTER, 2000). O ScadaBR é um exemplo de sistema SCADA brasileiro, de código aberto, utilizado para desenvolver aplicações de automação.

Tendo em vista este cenário de evolução, criação e aplicação de tecnologia na área, este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema supervisor com o

ScadaBR para monitoramento de temperatura e umidade para ambientes, através da implementação de uma rede de sensores sem fio gerenciada por um microcontrolador, onde um protocolo de comunicação é utilizado para sincronizar os dados que trafegam pela rede. Estima-se que este sistema possa ser aplicado a qualquer ambiente em que há necessidade de monitoramento de temperatura e umidade.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema de supervisão para monitoramento de temperatura e umidade de ambientes, através de uma rede de sensores sem fio para aquisição de dados.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a. Configurar uma rede de sensores sem fio.
- b. Integrar o sistema de coleta de dados (rede de sensores sem fio) a um sistema de supervisão do tipo SCADA através do protocolo de comunicação serial MODBUS RTU.
- c. Realizar testes e simulações do sistema de coleta de dados proposto.

1.2 JUSTIFICATIVA

O controle de ambiência é essencial em diversos ramos da indústria. Na Avicultura, especialmente na produção de frangos de corte, um ambiente com

temperatura e umidade adequado permite que as aves expressem sua melhor produtividade em termos de conversão alimentar (quantidade de ração convertida em carne). (ABREU; ABREU, 2011). Em estufas de plantas, a temperatura atua nas funções vitais dos vegetais e a umidade influencia no crescimento, transpiração e na fecundação das flores. (TEIXEIRA, 2009). Dessa forma, estufas de plantas requerem um ambiente térmico confortável e o mais homogêneo possível. Outro exemplo é a incubação de ovos, pois se o nível de umidade não for adequado, os embriões desidratam-se no ovo e/ou não conseguem eliminar gases tóxicos por eles produzidos. (WAGENINGEN; MEINDERTS; BONNIER; KASPER, 2004). Já a temperatura neste caso, é o fator de êxito na incubação, e quando inadequada, pode ser fatal para os embriões.

Com base nesse contexto, uma rede de sensores sem fio surge como alternativa para o monitoramento de ambientes que requerem homogeneidade, permitindo que um sistema de supervisão forneça os valores em tempo real de temperatura e umidade para que o especialista, ou um sistema de controle automático, possam tomar decisões relacionadas às variáveis do ambiente monitorado.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado da seguinte maneira: No Capítulo 1 é apresentado o escopo do trabalho em questão. No Capítulo 2 são apresentados conceitos relacionados aos sistemas de climatização, redes de sensores sem fio, dispositivos-sensores, sistema operacional de tempo real e sistemas de controle supervísórios. No Capítulo 3 são mostrados os materiais e métodos apresentando as etapas e o modelo de supervisão de ambiência proposto. Já no Capítulo 4 resultados são apresentados e discutidos. Considerações finais e trabalhos futuros são descritos no Capítulo 5.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são apresentados os conceitos relacionados a sistemas de climatização, bem como, os problemas existentes nos variados tipos de ambientes que necessitam de homogeneidade. Com base nos problemas encontrados na avicultura, estufas de vegetais, incubadoras etc. Este capítulo descreve uma possível tecnologia que pode ser utilizada para a solução desses problemas. Tal tecnologia refere-se às redes de sensores sem fio. Assim sendo, este capítulo apresenta os conceitos e as definições de uma rede de sensores sem fio e os seus componentes. Tais componentes incluem sensores de temperatura e umidade, módulos de rádio frequência e microcontroladores. Sistemas de controle supervisão (Sistemas SCADA) podem utilizar os dados obtidos por meio das redes de sensores sem fio para supervisão e/ou controle de processos, por exemplo: observar parâmetros como, temperatura e umidade em ambientes industriais. Assim sendo, conceitos relacionados aos sistemas SCADA são apresentados.

2.1 SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO

Diversos segmentos da indústria e comércio em geral dependem do controle de determinadas variáveis a fim de manter a qualidade de seus produtos e serviços. Um tipo de controle amplamente utilizado é o de ambiência (MORGADO, 2008).

Um ambiente favorável em termos de condições climáticas, higiênicas e sanitárias é fator decisivo em processos como a criação de animais, manipulação de alimentos, cultivo de plantas e até mesmo para promover o conforto humano em suas atividades (BEEFPOINT, 2009, FILHO, 2010, OLIVEIRA; FILHO, 2011).

Manter um ambiente ideal implica maior qualidade, eficiência e produtividade em qualquer ramo (AGENCIA BRASIL, 2015). Dentre as variáveis que se deve controlar, as climáticas se destacam por promover conforto térmico aos animais, plantas e humanos, fazendo com que o desenvolvimento da vida e do trabalho seja maior e melhor.

Os componentes de um sistema de climatização são de variados tipos, tamanhos, funções, e dependem das variáveis a serem controladas, sendo a temperatura e a umidade os parâmetros que exercem maior influência sobre o meio.

Para realizar o controle da temperatura e da umidade em um ambiente amplo, equipamentos atuadores como ventiladores, exaustores, condicionadores de ar, circuladores de ar, nebulizadores (ou irrigadores) e aquecedores são necessários e dispostos ao longo do espaço físico dependendo da aplicação. No caso de controladores automáticos, também são necessários sensores, dispositivos que fornecem as informações que o sistema precisa para a tomada de decisões (ações sobre os atuadores) (FILHO, 2000).

Cada vez mais sistemas automáticos de controle são implantados na indústria a fim de facilitar o manejo de processos e evitar que a ambiência seja inadequada, o que pode gerar grandes prejuízos financeiros (ROSARIO, 2009).

2.2 AMBIENTES QUE REQUEREM SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO

Os ambientes e situações em que é necessário o controle de ambiência são variados, e a tarefa de manter a temperatura e a umidade o mais próximo possível dos valores ideais também pode ser feita de diversas maneiras.

Processos industriais em que há criação de animais, manipulação de alimentos e cultivo de plantas são exemplos de atividades que necessitam o monitoramento e adequação constante destas variáveis. A seguir são apresentadas algumas delas.

2.2.1 Estufa de vegetais

No caso de uma estufa, cultivo de plantas com ambiente controlado, há a preocupação em aprimorar o controle das condições do ambiente, maximizando a qualidade da cultura a fim de obter melhor aproveitamento em termos de tempo, gastos de água, insumos e outros recursos. Preferencialmente, os equipamentos

devem ser controlados e ajustados de forma automatizada para evitar erros e equívocos no manejo (CHERMONT et al, 2005). A temperatura atua nas funções vitais dos vegetais e a umidade é um fator que influencia o crescimento, a transpiração, a fecundação das flores e, se excessiva, pode ocasionar a propagação de doenças. Cada vegetal possui faixas de temperatura e umidade ideais para seu bom desenvolvimento (TEIXEIRA, 2009).

Um sistema supervisor de temperatura e umidade em conexão com uma rede de sensores presente no interior de uma estufa é uma solução que facilita o trabalho de manejo das plantas e evita que faixas de valores fora do ideal prejudiquem a produção (VAZ, 2008).

2.2.2 Indústria e manipulação de alimentos

A qualidade dos alimentos depende de um bom estado de conservação, que é obtido quando a temperatura e a umidade estão em valores aceitáveis. Estes parâmetros são os fatores que mais influenciam o processo de contaminação biológica (FORSYTHE, 2013).

Os micro-organismos prejudiciais à saúde preferem temperaturas próximas à do corpo humano, e a maioria dos alimentos apresenta quantidade de água e umidade suficiente para multiplicação de micro-organismos. Por este fato são chamados perecíveis (HOFFMANN, 2001).

Alguns microrganismos podem multiplicar-se rapidamente se o alimento é conservado à temperatura ambiente. Abaixo de 5°C e acima de 60°C, o crescimento microbiano torna-se lento ou para. Alguns microrganismos patogênicos podem crescer mesmo em temperaturas abaixo de 5°C (ANVISA, 2004).

Em vista dessas condições, é ideal que o ambiente para manipulação de alimentos seja submetido à constante supervisão e controle de temperatura e umidade.

2.2.3 Incubadoras

Um exemplo de processo de incubação amplamente utilizado em diversas regiões do mundo é o de ovos (ROSA, 2013). Nos últimos anos este setor recebeu várias modificações e melhorias em termos de gestão do negócio e manejo dos ovos, desde a produção até a entrega dos pintinhos após o nascimento (COOB, 2008).

A conservação de ovos para incubação deve ser feita respeitando os valores práticos ideais de temperatura e umidade relativa do ambiente. Se o nível de umidade não for adequado, os embriões desidratam-se no ovo e/ou não conseguem eliminar gases tóxicos por eles produzidos (WAGENINGEN, et al, 2004). A taxa de perda evaporativa do peso do ovo é controlada, em grande parte, pela umidade relativa da máquina incubadora, ou do ambiente, e também influenciada pela qualidade da casca (ROSA et al, 2002).

A ventilação também é importante na manutenção dos parâmetros de ambiência, uma vez que auxilia o sistema de controle a realizar sua função (aumentar ou diminuir a temperatura e umidade). A temperatura, por sua vez, é o fator de êxito na incubação, e quando inadequada, pode ser fatal para os embriões (WAGENINGEN, et al, 2004).

2.2.4 Avicultura

De acordo com Abreu e Abreu (2011), as aves estão em troca térmica contínua com o ambiente, no entanto, esse mecanismo só é eficiente quando a temperatura ambiente se encontra dentro da zona de conforto para a ave, ou seja, na temperatura na qual a homeotermia é mantida. Desse modo, é importante que os aviários tenham temperaturas ambientais próximas às condições de conforto.

A temperatura e umidade devem, durante toda a fase de desenvolvimento da ave, permanecer em determinados valores que permitam o conforto térmico às aves e melhore o rendimento em termos de conversão alimentar, que é a razão entre a quantidade de ração consumida e o peso médio da ave.

Abreu e Abreu (2011) relatam os principais desafios da ambiência sobre os sistemas de aves no Brasil. O trabalho evidencia quatro pontos balizadores, os quais quando aplicados, promovem ambientes agradáveis, em questão de temperatura, umidade, gases e poeiras, economia de energia elétrica e água. Os quatro pontos citados no trabalho são: conhecimento da fisiologia da ave, diagnóstico bioclimático da microrregião de produção, aplicação dos conceitos básicos da ambiência e detalhamento da tipificação dos sistemas. Oliveira e Cavichioli (2013) elaboraram uma revisão sobre a tecnologia dos sistemas *dark house* na produção de frangos de corte. No trabalho, os autores evidenciam as principais características de tal sistema, assim como também suas vantagens e desvantagens, além da comparação com outros sistemas.

Esses são apenas alguns exemplos de trabalhos que se dedicam no estudo e aplicação de novas tecnologias e técnicas, com o objetivo de prover um ambiente que aperfeiçoe o desempenho dos lotes, garantindo que a saúde e o bem-estar das aves não sejam comprometidos (DONALD, 2010).

Tendo em vista que o controle de temperatura e umidade faz parte do manejo de animais e plantas em vários ramos da indústria, o desenvolvimento tecnológico se volta para essas áreas através de sistemas automáticos de supervisão e controle.

2.3 SISTEMAS DE SUPERVISÃO E CONTROLE DE AMBIÊNCIA

Processos automatizados de ambiência são cada vez mais comuns na indústria em geral e contribuem com a agilidade, eficiência, produtividade, dentre outros aspectos. Assim como realizar o controle de certas variáveis como temperatura e umidade, também é extremamente útil a possibilidade de monitorar ambientes em que se deseja a homogeneidade e manipulação destes parâmetros (FILHO, 2000).

A automação tem crescido junto à necessidade de substituir antigos métodos de controle manual por métodos automáticos e mais eficientes. Neste meio, sistemas supervisores ganham espaço e atuam junto a controladores (JURIZATO; PEREIRA, 2003).

Sistemas supervisores monitoram variáveis relacionadas a processos que se deseja controlar e, geralmente, permitem que o especialista manipule ações de atuadores remotamente por meio de interfaces gráficas. Através do monitoramento de variáveis do processo produtivo é possível determinar níveis ótimos de trabalho e, conseqüentemente, reduzir os custos operacionais. Também se alcançam melhores índices de desempenho de produção (FERREIRA et al, 2009).

Supervisores de ambiência são largamente utilizados nos tipos de indústria em que é necessário o controle de temperatura, umidade e outros parâmetros climáticos. Um exemplo disso é a avicultura, ramo em que existem problemas e preocupações com o controle do ambiente devido a grande influência que a temperatura e a umidade exercem sobre o desenvolvimento dos frangos de corte (ABREU; ABREU, 2011).

Em uma aplicação como esta, um supervisor facilita o trabalho humano, uma vez que, remotamente, o sistema apresenta a condição climática em tempo real permitindo ao especialista uma noção realista dos valores medidos pelos sensores no ambiente (MATUCHAKI, 2011).

Existem várias maneiras de desenvolver um sistema supervisor e diversas ferramentas que podem auxiliar o engenheiro, porém, qualquer um destes sistemas possui a tarefa de representar um ambiente com sensores e atuadores (AULICUS, 2003). Para isso, é necessário que estes dispositivos existam no espaço físico a ser controlado e que se comunique com o sistema através de algum tipo de protocolo, enviando dados e recebendo comandos. Nesta abordagem, uma rede de sensores é utilizada a fim de fornecer os dados a serem apresentados no sistema supervisor.

2.4 REDES DE SENSORES SEM FIO

Uma rede de sensores sem fio (RSSF) é composta por dispositivos denominados de nós sensores, os quais são compostos por sensores (de temperatura e umidade, de luminosidade, de presença, etc.), uma unidade de processamento (microcontrolador, por exemplo), elementos de comunicação (Módulos de rádio frequência, módulos *wifi*, etc.) e uma unidade de energia (baterias, por exemplo) (MATIN, 2012). As aplicações de redes de sensores sem fio

incluem coleta de dados (temperatura e umidade, por exemplo), telemetria médica, aplicações militares, entre outras.

A maioria das aplicações do mundo real contém apenas um nó *sink*¹ conhecido por estação base. As estações bases em RSSF são responsáveis por iniciar a comunicação em uma rede, bem como coletar, processar e analisar os dados provenientes dos sensores para aplicações específicas (DENARDIN, 2012). Ainda, as estações base podem ser conectadas a outras redes, como a internet, possibilitando o acesso aos dados coletados pela RSSF através da internet a qualquer momento e de qualquer lugar com internet disponível (DENARDIN, 2012). A Figura 1 mostra um exemplo de uma RSSF, sendo os nós sensores responsáveis por coletarem os dados (de temperatura, por exemplo) e enviarem para a estação base. A estação base é conectada a um computador no qual apresenta os dados da RSSF para o usuário.

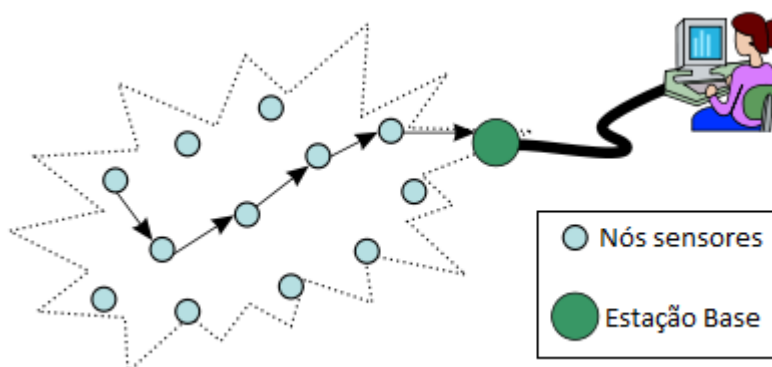


Figura 1. Exemplo de uma RSSF

Fonte: (gta, 2014).

As redes de sensores sem fio (RSSFs) possuem algumas vantagens, tais como, a facilidade de instalação em ambientes com dificuldade de acesso, e a minimização de custos com cabeamento e manutenção. No entanto, como os nós sensores de uma RSSF necessitam ser alimentados normalmente por baterias, um projeto de qualquer solução para esse tipo de rede deve levar em consideração o consumo de energia (LOUREIRO, 2003).

¹ Um nó *sink* é um tipo de nó sensor responsável por coletar os dados dos outros nós sensores da rede.

2.5 DISPOSITIVOS-SENSORES

2.5.1 Microcontroladores

De acordo com Nicolosi (2002), um microcontrolador (MCU) é um dispositivo composto por um microprocessador (Unidade Central de Processamento (CPU)), memória e periféricos, encapsulados em um único *chip*. Esse dispositivo está cada vez mais presente na sociedade moderna realizando diversas tarefas que na maioria das vezes não são percebidas pelos seres humanos. A injeção eletrônica de combustível dos automóveis atuais, as máquinas de lavar, os sistemas de ar condicionado, os refrigeradores e os micro-ondas são apenas alguns exemplos.

Segundo Martins (2005) os microcontroladores apresentam uma das melhores relações de custo/benefício em se tratando de soluções que exigem processamento, baixo custo de *hardware* e pequena necessidade de espaço físico. Um sistema que contém um ou vários dispositivos (sensores, motores, módulos de rádio frequência, etc.) sendo controlado por um microcontrolador, recebe o nome de sistema microcontrolado. Um exemplo de sistema microcontrolado são os sistemas de monitoramento de parâmetros ambientais (temperatura, umidade, chuva, etc.) (SINGH, 2008).

2.5.2 Sensores

Sensor é o termo empregado para designar dispositivos sensíveis a alguma forma de energia do ambiente que pode ser luminosa, térmica ou cinética. Tal dispositivo relaciona informações sobre uma grandeza que precisa ser medida, como, temperatura, pressão, velocidade, corrente, aceleração, posição, entre outras (THOMAZINI E ALBUQUERQUE, 2011). Figura 2 mostra as formas de energia de um sensor.

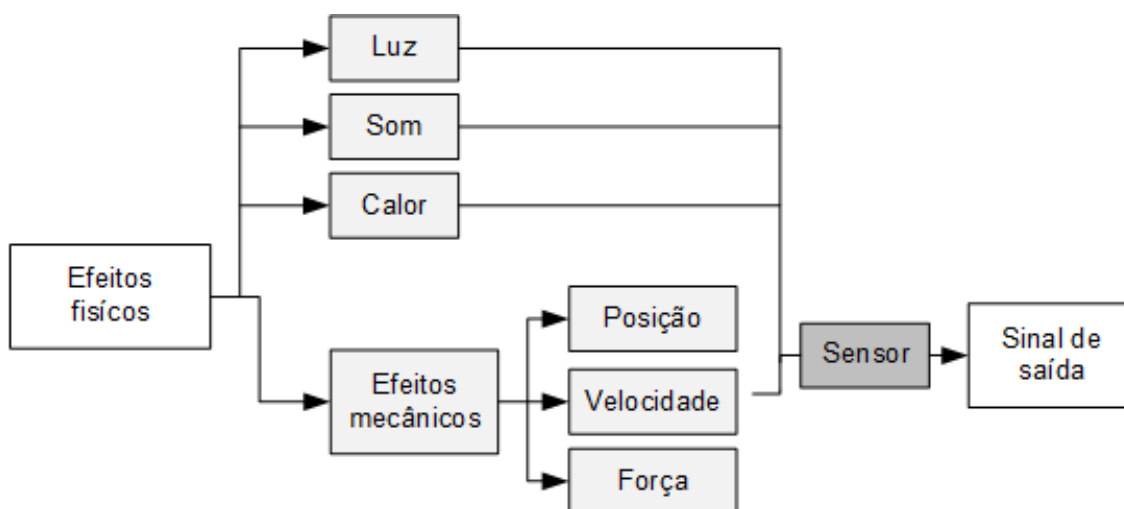


Figura 2. Ilustração das formas de energia em um sensor.

Fonte: Adaptado de Thomazini e Albuquerque (2011).

Os sensores podem ser classificados de acordo com a natureza do sinal de saída em: sensores analógicos e sensores digitais. Os sensores analógicos podem assumir qualquer valor no seu sinal de saída ao longo do tempo, desde que esteja dentro da sua faixa de operação. Exemplos de grandezas físicas que podem assumir qualquer valor ao longo do tempo incluem pressão, temperatura, velocidade, umidade, distância, luminosidade, etc. Já os sensores digitais podem assumir apenas dois valores no seu sinal de saída ao longo do tempo, que podem ser interpretados como zero ou um. Na natureza não existem grandezas físicas que assumam esses valores, mas eles são assim mostrados ao sistema de controle após serem convertidos pelo circuito eletrônico do transdutor (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2011).

O transdutor é responsável por transformar uma grandeza física (temperatura, pressão, etc.) em um sinal de tensão ou corrente que pode ser facilmente interpretado por um sistema de controle. Sensores digitais podem ser utilizados, por exemplo, em detecção de passagem de objetos, *encoders* na determinação de distância ou velocidade, entre outras (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2011). Entre os vários tipos de sensores existentes, os sensores de umidade e os sensores de temperatura se destacam pela vasta gama de aplicações nas quais podem ser utilizados.

A. Sensores de temperatura

De acordo com Delmée (2011) a temperatura quantifica o calor, que é uma forma de energia associada à atividade molecular de uma substância, ou seja, quanto maior a agitação molecular, maior a quantidade de calor e maior a temperatura da substância. A medição de temperatura é de fundamental importância em uma vasta gama de aplicações, as quais abrangem desde processos físicos e químicos até a proteção de equipamentos (DELMÉE, 2011). Para medição de temperatura são utilizados os sensores de temperatura, que são dispositivos responsáveis por transformar uma grandeza física de temperatura em um sinal elétrico. Tais dispositivos podem ser classificados em três tipos principais: sensores resistivos, termoeletricos e de infravermelho.

Os sensores resistivos utilizam como princípio um filamento de um metal como platina ou níquel cuja resistência varia conforme a temperatura (THOMAZINI E ALBUQUERQUE, 2011). Aplicações típicas para esse tipo de sensor são a indicação e o alarme de temperatura em veículos, e a proteção de motores e semicondutores de potência em circuitos eletrônicos (DELMÉE, 2011). Os sensores termoeletricos, mais conhecidos como termopares, são os sensores que produzem um sinal de força eletromotriz (FEM) devido ao efeito termoeletrico. Os sensores de infravermelho são baseados em sensores que captam radiação eletromagnética no comprimento de onda do infravermelho, sendo esta faixa de frequência característica de emissão de calor.

B. Sensores de umidade

A umidade é o estado atmosférico determinado pelo conteúdo de vapor de água no ar. A água pode existir como vapor, como líquido ou como sólido. Em forma de vapor, a água é denominada de umidade (THOMAZINI E ALBUQUERQUE, 2011).

A quantidade de água que o ar tem é denominado de umidade absoluta na qual é expressa em gramas por metro cúbico de ar. No entanto, o conteúdo de

umidade no ar é expresso normalmente em umidade relativa que é o quociente entre a quantidade de umidade presente a uma determinada temperatura e a máxima quantidade de vapor de água que o ar pode conter nessa temperatura (THOMAZINI E ALBUQUERQUE, 2011).

Em qualquer situação em que o excesso de umidade pode reduzir ou influenciar de forma química, biológica ou física nos processos, é importante assegurar uma contínua e precisa monitoração e controle da umidade relativa do ar. Para isso, é utilizado os sensores de umidade, nos quais podem ser aplicados, por exemplo, na indústria eletroeletrônica, salas de computação, agricultura, etc. (THOMAZINI E ALBUQUERQUE, 2011).

2.5.3 Sistemas de comunicação

Uma cadeia de comunicação é formada por três elementos essenciais. Uma fonte de informação, um sistema de comunicação e um destino. A fonte de informação é a origem da mensagem ou informação transmitida, na qual costuma apresentar-se na forma de sons, imagens ou textos. O destino é onde a informação será utilizada. O sistema de informação tem por finalidade transportar a informação da fonte até o destino, preservando ao máximo suas características originais. (NASCIMENTO, 2000). A Figura 3 mostra os elementos que fazem parte de um sistema de comunicação.

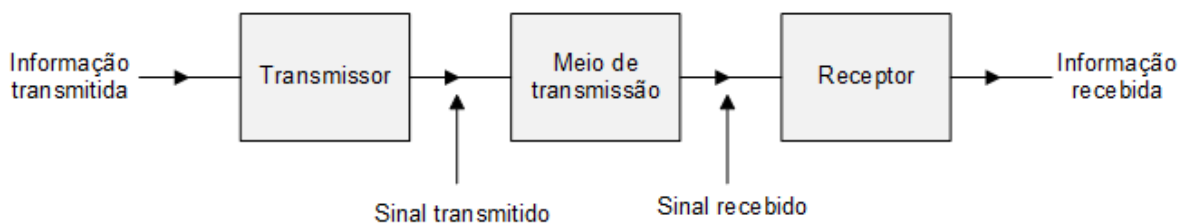


Figura 3. Diagrama em blocos de um sistema de comunicação

Fonte: Adaptado de Nascimento (2000).

Conforme a Figura 3 o transmissor é responsável por transformar a informação nele aplicada em um sinal adequado para vencer a distância que o

separa do receptor. O meio de transmissão é responsável pelo transporte do sinal do transmissor até o receptor. O receptor é responsável por resgatar a informação presente no sinal recebido, devolvendo-lhe o formato original (NASCIMENTO, 2000).

Normalmente os sistemas de comunicação utilizam sinais elétricos para a transmissão de informações. Tais sistemas são divididos em dois grupos: sistemas via cabo e sistemas via rádio. Os sistemas via cabo utilizam um cabo condutor no qual é chamado de linha de transmissão. As principais características deste sistema incluem confiabilidade e pouca flexibilidade para ampliações que não tenham sido previamente planejadas. Os sistemas via rádio utilizam ondas eletromagnéticas como elemento de ligação entre o transmissor e o receptor. Tais ondas possuem a propriedade de irradiarem-se pelo espaço, dispensando a existência de quaisquer meios físicos para sua transmissão. Desse modo, a implantação de sistemas de comunicação via rádio se torna bastante facilitada (NASCIMENTO, 2000).

Sistemas de comunicação via rádio, quando comparados aos sistemas de comunicação via cabo, apresentam custos de implantação menores para grandes distâncias, e apresentam ótima flexibilidade para ampliações. Um exemplo desse tipo de sistema de comunicação é a telefonia urbana a longa distância.

Um sistema de comunicação via rádio é composto por, pelo menos, duas estações de rádio, uma transmissora e outra receptora. A Figura 4 mostra o diagrama em blocos de um sistema de comunicação via rádio.

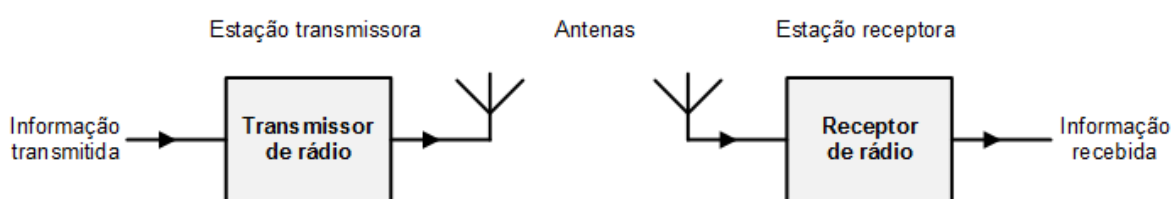


Figura 4. Diagrama em blocos de um sistema de comunicação via rádio

Fonte: Adaptado de Nascimento (2000).

Conforme mostrado na Figura 4 cada estação é composta por um equipamento de rádio, uma linha de transmissão e uma antena. O transmissor gera sinais de radiofrequência e o receptor recebe tais sinais. A função das linhas de transmissão é conduzir os sinais de radiofrequência do transmissor até a antena, ou

da antena até o receptor. Já a antena é responsável por gerar ou captar ondas eletromagnéticas (NASCIMENTO, 2000).

A antena de uma estação transmissora de rádio irradia para o espaço sinais na forma ondas eletromagnéticas. Como é grande o número de estações transmissoras existentes, uma antena receptora irá captar inúmeros outros sinais, além do desejado. Desse modo, antes de recuperar a informação contida em um determinado sinal, é necessário separá-lo dos demais. Para isso é necessário que o sinal possua alguma característica que permite diferenciá-lo dos demais. Tal característica é a sua frequência, ou faixa de frequências (NASCIMENTO, 2000).

Os dispositivos descritos acima (microcontroladores, sensores e sistemas de comunicação via rádio) podem ser utilizados para compor cada um dos nós sensores de uma RSSF. Essa rede pode ser utilizada por sistemas de supervisão e/ou controle (Sistemas SCADA) para supervisionar e/ou controlar processos industriais, por exemplo.

2.6 SISTEMA DE CONTROLE SUPERVISÓRIO - SCADA

SCADA é a sigla em inglês para *Supervisory Control And Data Acquisition*, o que significa Controle Supervisório e Aquisição de dados (SCADABR, 2010). Sistemas SCADA surgiram com o objetivo de prover ao usuário (operador) uma interface gráfica, conhecida como Interface Homem-Máquina (IHM) na qual são disponibilizados elementos gráficos como botões, ícones e *displays* representando o processo real que está sendo monitorado ou controlado.

Essa interface permite a execução de tarefas básicas, como: monitorar variáveis do processo em tempo real (temperatura, pressão, nível, etc.); detectar falhas através de alarmes e eventos; ajustar parâmetros do processo; e enviar comandos para o sistema. Sendo assim, sistemas SCADA permitem supervisionar à distância processos industriais e também atuar sobre tais processos, realizando tarefas de operação e controle. A Figura 5 mostra um exemplo de interface gráfica na qual representa um processo industrial real.

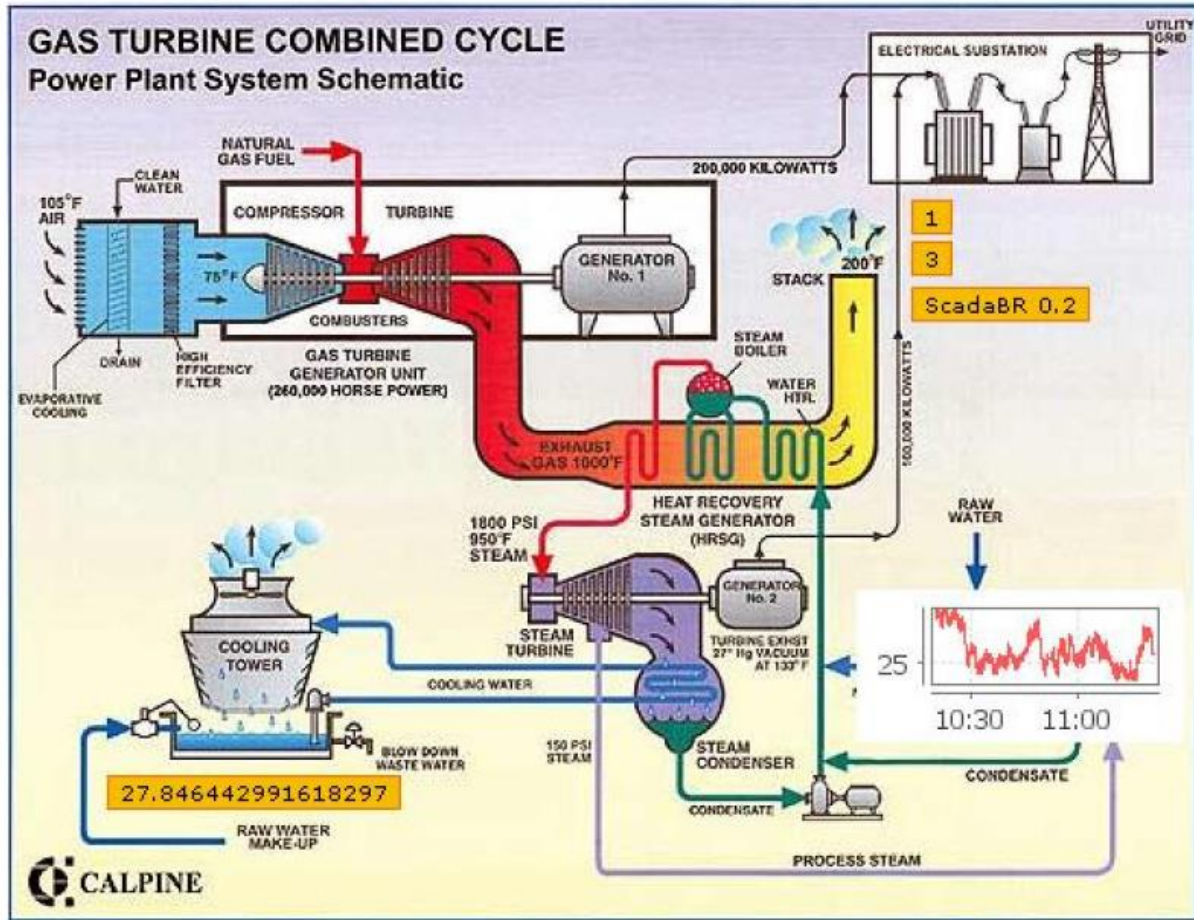


Figura 5. Exemplo de interface gráfica de um processo real
Fonte: (SCADABR, 2010).

2.7 SISTEMA OPERACIONAL DE TEMPO REAL

Um sistema operacional (SO) de acordo com Stallings (2004) e Tanenbaum (1999) pode ser conceituado de duas formas:

- Visão top-down: Pela perspectiva do usuário ou programador, provê abstração do hardware fazendo o papel de intermediário entre o software (programas e aplicativos) e os componentes físicos do dispositivo (hardware).
- Visão bottom-up: opera como gerenciador de recursos, ou seja, controla quais tarefas podem ser executadas, quando podem ser executadas e quais recursos podem ser utilizados (*display*, comunicação etc).

De forma simplista, um SO pode ser visto como um programa ou um conjunto de programas cuja função é gerenciar os recursos do sistema (definir qual programa recebe atenção do processador, gerenciar memória, criar um sistema de arquivos, etc.), fornecendo uma interface entre o dispositivo e o usuário.

O uso de sistemas operacionais está bastante difundido e pode ser encontrado desde em computadores pessoais até celulares, *smartphones*, *tablet's*, *ipad's* etc. Dessa forma, um SO normalmente é projetado para atender uma necessidade específica, por exemplo, em um celular o sistema operacional é responsável por gerenciar os recursos específicos nestes dispositivos, já para computadores pessoais deve prover funcionalidades como: pilhas de protocolos de comunicação, sistemas de arquivos etc. (STALLINGS, 2005).

Estendendo o conceito de sistemas operacionais, pode-se definir e conceituar os Sistemas Operacionais de Tempo Real (RTOS – *Real Time Operating Systems*). Este tipo de sistema além de realizar as mesmas tarefas de um sistema operacional comum, tem como principal característica trabalhar com extrema precisão e alto grau de confiabilidade. Também é concebido para aplicações específicas, mas possuem como requisito restrições de tempo tornando o sistema determinístico, ou seja, o tempo para execução das tarefas é previamente conhecido. Como exemplo, pode-se citar um *airbag* automotivo, em que a resposta a um estímulo deve ser feita em um determinado espaço de tempo requerendo precisão e confiabilidade.

Outra característica dos sistemas de tempo real é que normalmente são utilizados em sistemas embarcados (STALLINGS, 2005). Isto significa que o sistema computacional é completamente encapsulado e dedicado ao dispositivo ou sistema que controla, ou seja, diferentemente de computadores de propósito geral, como o computador pessoal, um sistema embarcado realiza um conjunto de tarefas pré-definidas, geralmente com requisitos específicos (SINGH, 2008; APNESETH, 2006). Como o sistema é dedicado a tarefas específicas, pode-se otimizar o projeto reduzindo tamanho, recursos computacionais e custo do produto. Dessa forma, os sistemas operacionais de tempo real podem ser utilizados para a implementação de redes de sensores sem fio, como é o caso deste trabalho, pois possuem todos os recursos necessários para gerenciar a leitura e transmissão dos pacotes de dados bem como o tempo em que cada pacote é enviado pela rede, etc.

3 MATERIAIS E MÉTODO

Neste capítulo serão descritas as etapas para o desenvolvimento do modelo de supervisão proposto, bem como os materiais utilizados. Desse modo, a primeira etapa para o desenvolvimento deste trabalho consiste na configuração de uma rede de sensores sem fio. Para isso, os seguintes materiais serão utilizados: sensores de temperatura e umidade (DHT11), microcontroladores (KL25Z128VLK4) e módulos de rádio frequência (MRF24J40MA). Em seguida, será desenvolvido um sistema de supervisão (sistema SCADA) para realizar o monitoramento de ambiência de um determinado local. Para o desenvolvimento de tal sistema, será utilizado o *software* ScadaBR.

3.1 MATERIAIS

3.1.1 FRDM-KL25Z

A placa FRDM-KL25Z é uma plataforma de desenvolvimento da fabricante NXP (NXP, 2016) (Figura 6) a qual acompanha um microcontrolador ARM Cortex M0+ como principal componente e também possui o hardware de programação deste microcontrolador (MCU) embutido. As características da placa FRDM-KL25Z incluem: Microcontrolador (MKL25Z128VLK4) com 48 MHz, 128 KB de memória Flash e 16KB de memória RAM; Fácil acesso às portas de I/O (Entrada/Saída) do MCU; baixo consumo de energia (1,7V – 3,6V); sensor de toque capacitivo; acelerômetro MMA8451Q e interface de gravação e depuração OpenSDA (*open-standard serial and debug adapter*).



Figura 6. Placa de desenvolvimento NXP FRDM-KL25Z com MCU ARM Cortex M0+.

3.1.2 Sensor DHT11

O sensor de temperatura e umidade DHT11 é um sensor de baixo custo, possui interface digital, ou seja, envia para o microcontrolador os dados de temperatura e umidade em formato digital, e é calibrado em laboratório. O consumo de energia do DHT11 é em média $300\mu\text{A}$. Tal sensor é constituído fisicamente por 4 pinos, VCC, Terra (*Ground*), NC e um pino de dados (*Data*). A Figura 7 mostra a interface física desse dispositivo.

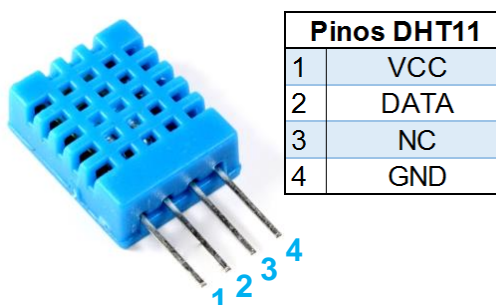


Figura 7. Sensor DHT11

Fonte: Adaptado de evselectro (2014).

Observando o encapsulamento desse sensor é possível verificar algumas especificações, como: a tensão de alimentação, na qual deve estar entre 3,5V e

5,5V de tensão contínua; medidas de umidade de 0% a 100% (precisão de $\pm 5\%$), e; medidas de temperatura de -40°C a 80°C (precisão de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$).

3.1.3 MRF24J40MA

O MRF24J40MA (Figura 8) é um transceptor (recepção e transmissão de dados) destinado a aplicações sem fio (*wireless*) com baixo consumo de energia, visto que este dispositivo usa tensão de alimentação de 2,4 a 3,6V. Tal dispositivo possui correntes de pico na transmissão e recepção menores que 24mA e disponibiliza modos de economia de energia nos quais consome aproximadamente $2\mu\text{A}$.

O MRF24J40MA é certificado pelo IEEE 802.15.4, trabalha na faixa de frequência de 2,4GHz, possui uma antena de PCB e suporta os protocolos ZigBee™, MiWi™ e MiWi P2P. Através desse transceptor é possível criar projetos de controle remoto de dispositivos, leitura de sensores sem fio e até mesmo transmissão contínua de dados de taxas moderadas, como áudio por exemplo.

O módulo MRF24J40 possui uma taxa de transferência de 250Kbps e permite até 65 mil módulos trocando informações entre si em uma mesma rede.



Figura 8. MRF24J40MA

Fonte: Electronics Katrangi Trading (2016).

O protocolo 802.15.4 utilizado pelo MRF24J40MA é o mesmo protocolo utilizado por outros transceptores *wireless* bastante populares, como o XBee, e

oferece funcionalidades básicas de gerenciamento de rede, endereçamento dos módulos e controle de acesso ao meio com gerenciamento de colisões e retransmissão de pacotes.

3.1.4 ScadaBR

Para o desenvolvimento de um sistema SCADA, é necessário a utilização de um *software* que permite a implementação de uma interface gráfica de usuário na qual representa o processo em que se deseja supervisionar e/ou atuar. Dentre os vários tipos de *softwares* existentes, um que se destaca por possuir código fonte aberto é o ScadaBR (SCADABR, 2010).

O ScadaBR é uma aplicação multiplataforma baseada em Java, e é executada a partir de um servidor de aplicações (sendo o *Apache Tomcat* a escolha padrão). Ao inicializar o servidor de aplicação (*Apache Tomcat*), o ScadaBR pode ser acessado a partir de um navegador de Internet (Firefox, Chrome, Internet Explorer, etc.). Assim sendo, após configurar os protocolos de comunicação entre o ScadaBR e os equipamentos de um determinado processo (sensores, microcontroladores, CLP's, etc.) e definir as variáveis de entrada e saída, é possível desenvolver interfaces gráficas utilizando o próprio navegador. Também é possível desenvolver um sistema SCADA a partir do ScadaBR em qualquer linguagem de programação, a partir do código fonte disponibilizado ou a partir de sua Interface de Programação de Aplicativos (API).

3.2 MÉTODO

Conforme explicado na seção 2.4 uma rede de sensores sem fio (RSSF) é composta basicamente por nós sensores e uma estação base, ou coordenador. Com base nessas definições, os nós sensores seguem o diagrama proposto na Figura 9 e a estação base, o diagrama da Figura 10.

NÓ SENSOR

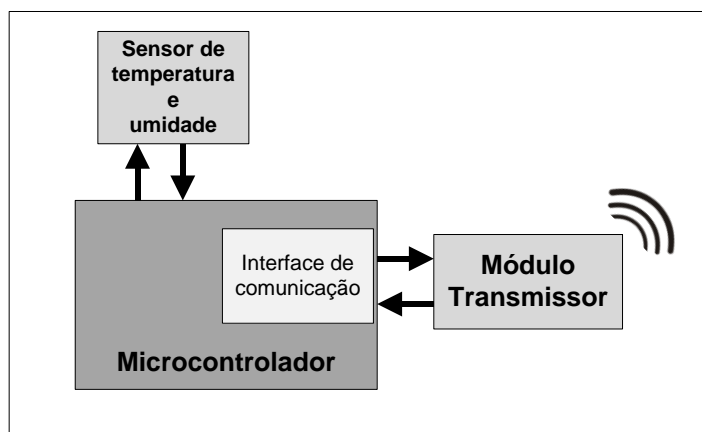


Figura 9. Nó sensor

ESTAÇÃO BASE

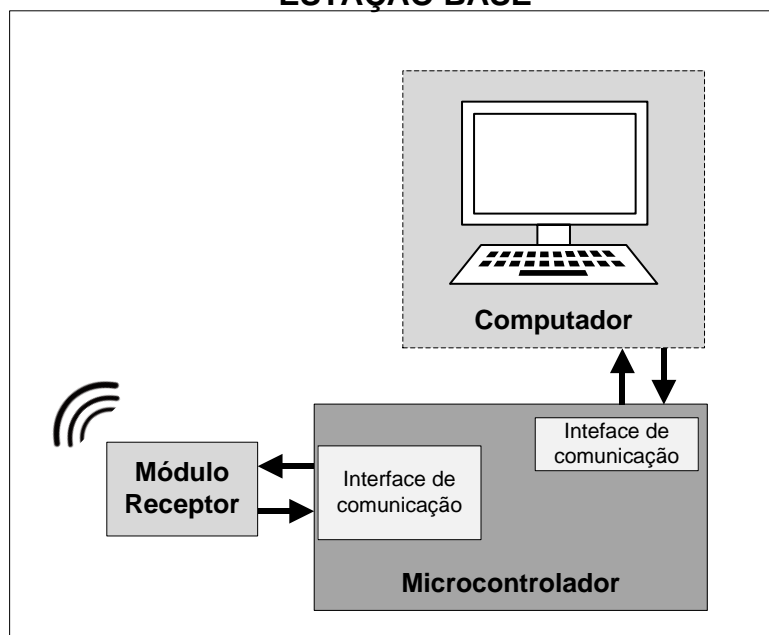


Figura 10. Estação base (coordenador)

Os elementos do nó sensor (Figura 9) incluem um microcontrolador (unidade de processamento), um módulo de radiofrequência (elemento de comunicação) e um sensor de temperatura e umidade (sensor). A estação base (Figura 10) é composta por um microcontrolador, um módulo de rádio frequência e um computador.

Tanto os nós sensores como também a estação base são compostos por uma unidade de processamento (microcontrolador), a qual é responsável por configurar e gerenciar os demais dispositivos, ou seja, sensores de temperatura e umidade e módulos de rádio frequência no caso dos nós sensores; e módulo de rádio

frequência e interface de comunicação com um computador no caso da estação base. Assim, para que o microcontrolador configure tais dispositivos é necessário que seja desenvolvido e gravado no mesmo um *firmware*. Para o desenvolvimento do *firmware* foi utilizado o ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) Code Warrior². Para gravação do *firmware* nos Microcontroladores foi utilizado a plataforma de desenvolvimento FRDM-KL25Z da NXP (NXP, 2016) (Figura 6).

Neste trabalho foi utilizada a estrutura de uma RSSF proposta por Denardin (2012) a qual é integrada a um sistema operacional de tempo real. Tal sistema denominado BRTOS foi desenvolvido por Denardin e Barriquello (2010) em linguagem C e possui as seguintes características: gerenciamento de tempo, gerenciamento e sincronização de tarefas, semáforos, *mutex* (semáforo de acesso mútuo exclusivo), filas e caixas de mensagens. A vantagem deste tipo de sistema é que além de facilitar o desenvolvimento da aplicação, também permite a mudança de plataforma caso seja necessária. Assim, o BRTOS integrado a RSSF utilizado neste trabalho teve como principal objetivo o gerenciamento das tarefas concorrentes da pilha de protocolos de comunicação da rede.

Já a RSSF é baseada no padrão 802.15.4 e provê as seguintes camadas: (Figura 11) Camada física, camada de acesso ao meio, camada de rede e camada de aplicação. A camada Física é a camada mais próxima ao *hardware* a qual controla e comunica um *transceiver* de rádio diretamente, que neste trabalho é o *transceiver* da MicroChip (MR24J40MA). Essa é a camada responsável pela transmissão e recepção de dados. A camada de acesso ao meio fornece a interface entre as camadas física e de rede e é responsável por gerar e reconhecer endereços na rede. Já a camada de aplicação é a camada mais alta da pilha de protocolos e abriga os objetos da aplicação.

²<http://www.nxp.com/products/software-and-tools/software-development-tools/codewarrior-development-tools/codewarrior-development-studios/codewarrior-for-microcontrollers/codewarrior-for-mcus-eclipse-ide-coldfire-56800-e-dsc-kinetis-freescale-56xx-rs08-s08-s12z-v10.6:CW-MCU10>



Figura 11. Camadas da RSSF utilizada.

A partir da estrutura da RSSF utilizada, as etapas de desenvolvimento deste trabalho podem ser separadas em: tarefas dos nós sensores e tarefas da estação base. Os nós sensores são responsáveis por realizar a leitura dos dados de temperatura e umidade a cada intervalo de tempo e transmiti-los para a estação base. Já a estação base é responsável por receber esses dados e enviá-los para uma interface gráfica desenvolvida no SCADABR. A comunicação entre a estação base e o SCADABR é feita através do protocolo de comunicação serial modbus RTU. O diagrama dessas atividades é apresentado na Figura 12.

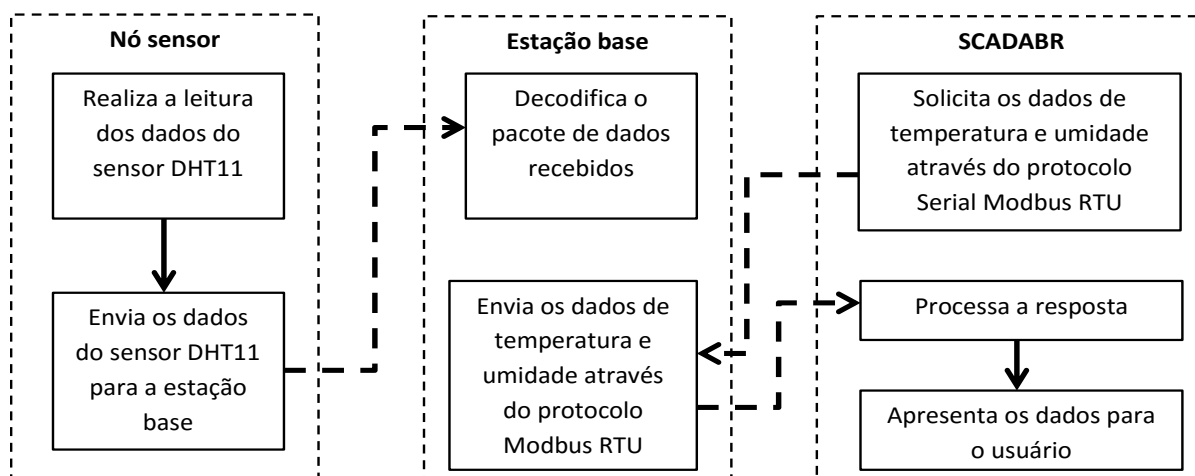


Figura 12. Diagrama do sistema.

3.2.1 Nó sensor

A. Leitura do sensor de Temperatura e Umidade DHT11 (Nó sensor)

O funcionamento do DHT11 é dado com envio e recebimento de dados de forma temporizada e é descrito em três etapas: i) sinal de *start*, enviado pelo microcontrolador; ii) sinal de confirmação, enviado pelo sensor; e iii) envio dos dados, no qual o valor de cada *bit* é determinado pelo tempo em que o sinal permanece em nível alto. A Figura 13 mostra o diagrama de tempo do processo de comunicação do DHT11 com o microcontrolador.

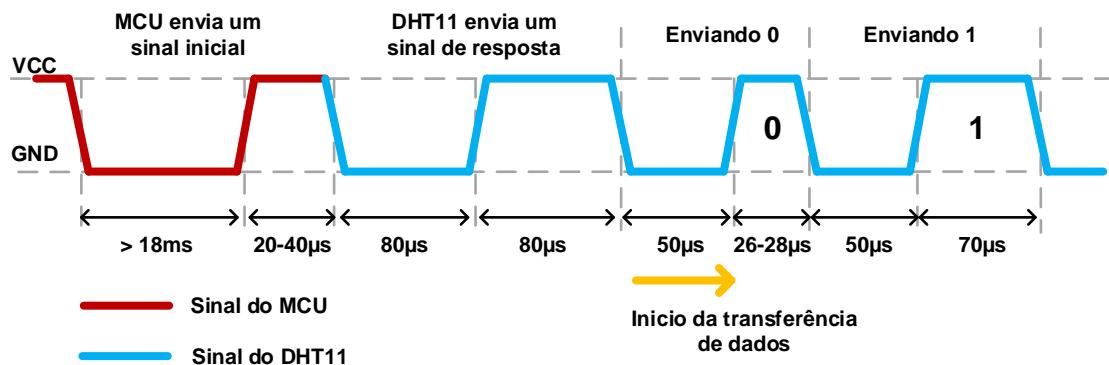


Figura 13. Diagrama de tempo do sensor.

Conforme a Figura 13, após o sinal de *start* do microcontrolador e da resposta do sensor DHT11, o mesmo envia 40 bits de dados de forma contínua na linha de dados para o microcontrolador. Estes dados são divididos segundo o Quadro 1.

16 bits de dados Umidade	16 bits de dados Temperatura	8 bits de dados <i>Checksum</i>
-----------------------------	---------------------------------	------------------------------------

Quadro 1. Formato dos dados enviados pelo sensor DHT11.

O protocolo de comunicação do sensor DHT11 realiza uma soma de verificação (*checksum*) composta pela soma dos 32 bits de dados referentes aos campos temperatura e umidade. Essa soma é colocada no campo *checksum*

(Quadro 1) e é utilizada para verificar se os dados lidos do sensor pelo microcontrolador estão corretos.

Compreendido o protocolo de comunicação do sensor DHT11, o próximo passo foi conectá-lo ao microcontrolador de acordo com o esquema mostrado na Figura 14 em que, o pino de dados do sensor é conectado a porta B0 do microcontrolador e os pinos VCC e GND do sensor são conectados respectivamente nas portas VCC (5 V) e GND do microcontrolador.

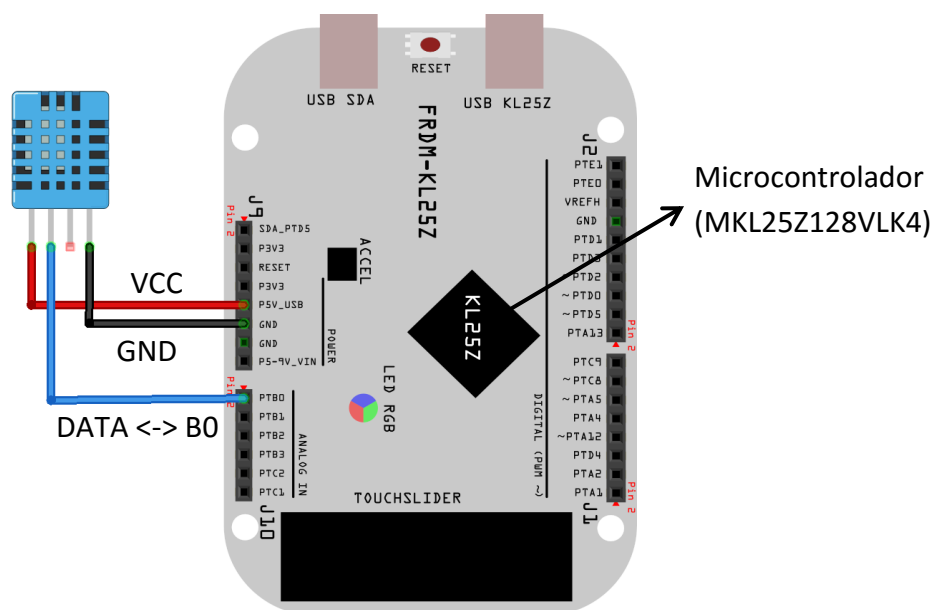


Figura 14. DHT11 e FRDM-KL25Z

Para a leitura do DHT11 pelo microcontrolador, foi necessário criar uma tarefa no BRTOS escrita em linguagem C com base no protocolo de comunicação do sensor. Para isso foi necessário primeiro configurar um *timer* no microcontrolador para gerenciar os intervalos de tempo requeridos pelo protocolo. O código em linguagem C para configuração do *timer* é mostrado na Listagem 1.

```

1 void init_timer(void) {
2     TPM1_SC = 0; // Registrador de controle de estatus
3     TPM1_CNT = 0; // contém o valor da contagem
4     TPM1_MOD = 65535; //módulo de contagem - conta até 65535
5     TPM1_SC = 0x08;
6 }

```

Listagem 1. Configuração do *Timer*

Em seguida na Listagem 2, é mostrado o código em linguagem C da tarefa que realiza a leitura dos dados de temperatura e umidade.

```

1 void ler_sensor(void *param) {
2
3     int counter = 0;
4     INT8U temperatura, umidade;
5     INT8U j = 0, i;
6     INT8U DHT11_packet[5];
7     DHT11_packet[0] = DHT11_packet[1] = DHT11_packet[2] = DHT11_packet[3] =
8     DHT11_packet[4] = 0;
9
10    SysCtlPeripheralEnable(SYSCTL_PERIPH_GPIOB); //Habilita o clock da porta
11
12    GPIOPinConfigure(GPIO_PBO_PB0); // configura a função alternativa do pino
13    GPIOPadConfigSet(GPIOB_BASE, (GPIO_PIN_0), PORT_TYPE_DSE_HIGH);
14
15    SysCtlPeripheralEnable(SYSCTL_PERIPH_TMR1); // habilita o clock do Timer
16
17    while (1) {
18        GPIOPinSet(GPIOB_BASE, GPIO_PIN_0);
19        GPIOPadConfigSet(GPIOB_BASE, (GPIO_PIN_0), PORT_TYPE_DSE_HIGH);
20        //saida em nível alto
21        xGPIODirModeSet(GPIOB_BASE, GPIO_PIN_0, xGPIO_DIR_MODE_OUT);
22        init_timer();
23        while (TPM1_CNT < 30000);
24
25        GPIOPinReset(GPIOB_BASE, GPIO_PIN_0);
26        init_timer();
27        while (TPM1_CNT < 64000); //espera ~1,8 ms em nível lógico zero
28
29        /* coloca o pino em nível lógico 1 por ~40µs */
30        GPIOPinSet(GPIOB_BASE, GPIO_PIN_0);
31        init_timer();
32        while (TPM1_CNT < 720 * 2);
33
34        /* Prepara o pino do MCU para leitura */
35        xGPIODirModeSet(GPIOB_BASE, GPIO_PIN_0, xGPIO_DIR_MODE_IN);
36        GPIOPadConfigSet(GPIOB_BASE, (GPIO_PIN_0), PORT_TYPE_DSE_HIGH |
37        PORT_TYPE_PE_ENA | PORT_TYPE_PS_UP); //saida em nível alto
38        i = 0;
39        init_timer();
40        while (TPM1_CNT < 48 * 2);
41
42        while (GPIOPinRead(GPIOB_BASE, GPIO_PIN_0) == GPIO_PIN_0);
43
44        /* detecta mudanças e faz a leitura de dados */
45        do {
46            counter = 0;
47            while (GPIOPinRead(GPIOB_BASE, GPIO_PIN_0) == 0);
48            init_timer(); // 1 microsegundo
49            while (GPIOPinRead(GPIOB_BASE, GPIO_PIN_0) == GPIO_PIN_0);
50            counter = TPM1_CNT;
51
52            if (i) {
53                /* ignora as três primeiras transmissões */
54                DHT11_packet[j >> 3] <<= 1;
55                if (counter >= 1400) {
56                    DHT11_packet[j >> 3] |= 1;
57                }
58                j++;
59            }
60            i++;
61        }while(j < 40);
62
63        /*verifica a leitura 40 bits (8 bit x 5 ) e o checksum no último byte*/
64        if((j >= 40)&&(DHT11_packet[4]==((DHT11_packet[0]+DHT11_packet[1]+
65            DHT11_packet[2]+DHT11_packet[3])&0xFF))){
66            temperatura = DHT11_packet[2];

```

```

67         umidade = DHT11_packet[0];
68     }
69     GPIOPinSet(GPIOB_BASE, GPIO_PIN_0);
70     xGPIODirModeSet(GPIOB_BASE, GPIO_PIN_0, xGPIO_DIR_MODE_OUT);
71     DHT_Sensor(temperatura, umidade);
72     DelayTask(5000);
73 } // fim do while(1)
74 }

```

Listagem 2. Tarefa de leitura do sensor DHT11

Conforme a Listagem 2 as linhas compreendidas entre 3 e 8 refere-se a declaração das variáveis; linhas 10 a 15 são configurações do microcontrolador tais como: a porta B0 que é ligada ao pino de dados do sensor DHT11, *clock* da porta e o *clock* do Timer. A seguir, nas linhas 25 a 32 é realizado o sinal de *start* do microcontrolador, ou seja, sinal em nível lógico 0 por aproximadamente 1,8ms e sinal em nível lógico 1 por aproximadamente 40µs conforme mostrado no diagrama de tempo do sensor (Figura 13). Em seguida nas linhas 35 a 37 a porta B0 do microcontrolador conectada ao pino de dados do sensor é configurada como entrada para recebimento dos dados de temperatura e umidade. Nas linhas 45 a 61 é feita a leitura dos 40 bits de dados do sensor DHT11. Finalmente nas linhas 64 a 68 é feita a soma de verificação dos dados recebidos. Em seguida na linha 71 uma função é chamada para enviar os dados de temperatura e umidade através da rede para a estação base. O código dessa função pode ser visto na Listagem 3 abaixo.

```

1  INT8U DHT_Sensor(unsigned char temperatura, unsigned char umidade) {
2      INT8U j = 0;
3      if (thisNodeDepth >= ROUTE_TO_BASESTATION_LOST) {
4          return SEND_ERROR;
5      }
6      acquireRadio();
7      /*Monta o pacote*/
8      NWKPayload[0] = APP_01;
9      NWKPayload[1] = MEASUREMENT_PROFILE;
10     NWKPayload[2] = MULTIPLE_METERING;
11     NWKPayload[3] = TEMPERATURA | UMIDADE;
12     NWKPayload[4] = temperatura;
13     NWKPayload[5] = umidade;
14     j = DownRoute(START_ROUTE, 6); // tipo de rota no sentido do coordenador
15     releaseRadio();
16     return j;
17 }

```

Listagem 3. Função que envia os dados do sensor DHT11 pela rede

O código mostrado na Listagem 3 foi desenvolvido na camada de aplicação da RSSF e é responsável por montar o pacote de dados de temperatura e umidade para ser transmitidos para a estação base. O pacote de dados segue a estrutura

mostrada no Quadro 2. Essa estrutura permite a estação base decodificar corretamente o pacote de dados recebidos.

Identificador da aplicação	Perfil	Comando	Atributo/s	Dados

Quadro 2. Formato do pacote de dados.

No Quadro 2, o campo identificador da aplicação tem como objetivo identificar a aplicação, o campo perfil especifica o perfil do pacote, por exemplo: perfil geral, perfil de iluminação, perfil de medição, perfil de energia, etc. Já o campo comando é especificado o tipo de comando que a estação base executará para decodificar o pacote, por exemplo: medição simples, múltiplas medições, lâmpada inteligente, etc. O campo atributo especifica o tipo do pacote, por exemplo: temperatura, umidade, corrente, energia, estado do sensor, etc. Por fim, no campo dados é onde fica os dados do pacote propriamente dito. Assim o pacote de dados é enviado pelo nó sensor. Neste trabalho o pacote de dados foi formatado da seguinte forma:

- App_1: Identificador da aplicação;
- Perfil: Perfil de medição;
- Comando: Múltiplas medições;
- Atributos: Temperatura e Umidade;
- Dados: dados de temperatura e umidade lidos pelo sensor DHT11.

3.2.2 Estação base

A. Decodificação do pacote de dados de temperatura e umidade

A decodificação dos pacotes recebidos é realizada conforme o Quadro 2 da seguinte forma: Primeiro é feito uma verificação do tipo de perfil da aplicação e em seguida é realizado outra verificação para saber qual o comando do perfil a ser executado. Após essas verificações, os dados são armazenados em uma estrutura conforme o Quadro 3.

ID	Temperatura	Umidade
----	-------------	---------

Quadro 3. Estrutura do pacote de dados recebidos.

O campo ID (Quadro 3) contém o endereço do nó sensor responsável pelo envio dos dados de temperatura e umidade. Dessa forma é possível identificar todos os pacotes recebidos pela RSSF.

B. Protocolo ModBus serial RTU

O protocolo modbus é um protocolo mestre-escravo no qual um nó denominado mestre emite comandos explícitos para um dos nós escravos e processa a sua resposta. Logo, os escravos não transmitem dados sem uma requisição do nó mestre e não se comunicam com outros escravos.

De acordo com Modbus.org (2002) o nó mestre pode enviar uma requisição para um nó escravo de dois modos: *Unicast* ou *Broadcast*. No modo *Unicast* o mestre se comunica com apenas um escravo. Depois de receber e processar a requisição, o escravo retorna uma mensagem de resposta para o mestre. Já no modo *Broadcast* o nó mestre envia uma mensagem para todos os escravos. Neste caso nenhuma resposta deve ser retornada para requisições *broadcast* enviada pelo mestre.

O Modbus possui um espaço de endereçamento compreendido por 256 diferentes endereços. O endereço 0 é reservado para *broadcast*, de 1 a 247 (decimal) são endereços válidos para os nós escravos e de 248 a 256 são endereços reservados. Em uma comunicação de dados sob o protocolo modbus serial, os dados são organizados conforme o Quadro 4.

Endereço	Código da função	Dados	CRC
----------	------------------	-------	-----

Quadro 4. Quadro para Modbus em serial.

O campo endereço (Quadro 4) é colocado pelo mestre e contém o endereço do nó escravo. Quando o escravo retorna sua resposta para o mestre, ele também coloca o seu endereço para que o mestre saiba qual escravo está respondendo. Já o campo código da função especifica qual função deve ser executada pelo escravo (leitura ou escrita, por exemplo). O campo dados contém parâmetros da requisição e da resposta. Neste campo os dados são organizados em faixas de registro específicas para cada tipo de dado. Existem quatro tipos: status de bobina, status de entrada, registrador de sondagem e registrador de entrada. Por último, o campo de verificação de erro (CRC) é resultado de uma soma de verificação de redundância adicionado ao conteúdo da mensagem.

O protocolo modbus possui dois modos de transmissão serial de dados: ASCII e RTU. O que difere estes modos é o formato com que os dados são empacotados nos campos das mensagens e posteriormente, como são decodificados. Neste trabalho foi utilizado o modo RTU o qual possui o seguinte pacote de dados (Quadro 5).

Início	Endereço do escravo	Código da função	Dados	CRC	Fim
>= 3,5 char	1 byte	1 byte	0 a 252 bytes	2 bytes	>= 3,5 char

Quadro 5. Pacote de dados no modo RTU.

No modo RTU uma mensagem colocada pelo transmissor em um quadro, tem começo e fim bem definidos (Quadro 5). Neste modo, os quadros de mensagens são separados por um intervalo de “silêncio” de pelo menos 3,5 tempos de carácter, ou seja, 3,5 vezes o tempo que leva para transmitir um carácter. O quadro inteiro da mensagem deve ser transmitido com fluxo constante, pois se um tempo de silêncio maior do que o tempo de 1,5 carácter for detectado o quadro da mensagem é declarado incompleto e é descartado pelo receptor (Figura 15).

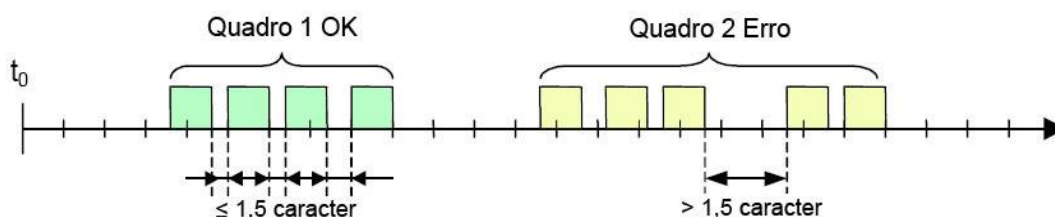


Figura 15. Diagrama de tempo da transmissão de um quadro RTU

Neste trabalho foi utilizado a biblioteca FreeModbus³ a qual é disponibilizada gratuitamente e possui todas as funções inerentes ao modo de operação serial RTU. No entanto, como a transmissão dos dados no modo RTU ocorre de forma serial, foi necessário configurar as funções da porta serial do microcontrolador e também as funções do *Timer* para contabilizar os tempos de 3,5 e 1,5 caracter. Em seguida, foi criada no BRTOS uma tarefa responsável por habilitar a pilha de protocolos modbus RTU e esperar requisições do mestre. Dessa forma, a estação base é configurada como escravo (aguarda requisições do mestre) e o ScadaBR como mestre (Figura 12).

Conforme explicado anteriormente, o protocolo modbus RTU possui quatro faixas de registros específicos para cada tipo de dado. São eles: status da bobina, status de entrada, registrador de sondagem e registrador de entrada. Assim, na estação base, os dados de temperatura e umidade recebidos dos nós sensores foram colocados na faixa de registros do tipo entrada de dados conforme o Quadro 6.

Registrador de entrada	
Posição	Valor
0	Identificador do nó sensor (Ex: 1)
1	Temperatura
2	Umidade
3	Identificador do nó sensor (Ex: 2)
4	Temperatura
5	Umidade
...	...

Quadro 6. Registrador de entrada - Modbus RTU

³ <http://www.freemodbus.org/>

Assim, o mestre solicita a leitura dos dados de temperatura e umidade para o escravo, passando como parâmetros (Quadro 4): o endereço do escravo, o código da função (leitura ou escrita), os parâmetros de acesso aos dados, ou seja, posição do registrador de entrada que se encontra os dados (Quadro 6) e por ultimo uma verificação de erro (CRC).

3.2.3 SCADABR

Concluído o desenvolvimento das atividades empenhadas pela RSSF, a próxima etapa consistiu no desenvolvimento de um sistema de supervisão SCADA através do *software* ScadaBR. Tal sistema foi executado em um computador interligado a estação base. Através de uma interface gráfica, é possível visualizar os dados de temperatura e umidade em diferentes locais em tempo real. A Figura 16 mostra a tela de interface gráfica desenvolvida no ScadaBR na qual os dados de temperatura são mostrados com preenchimento em vermelho, e os dados de umidade com preenchimento em azul.

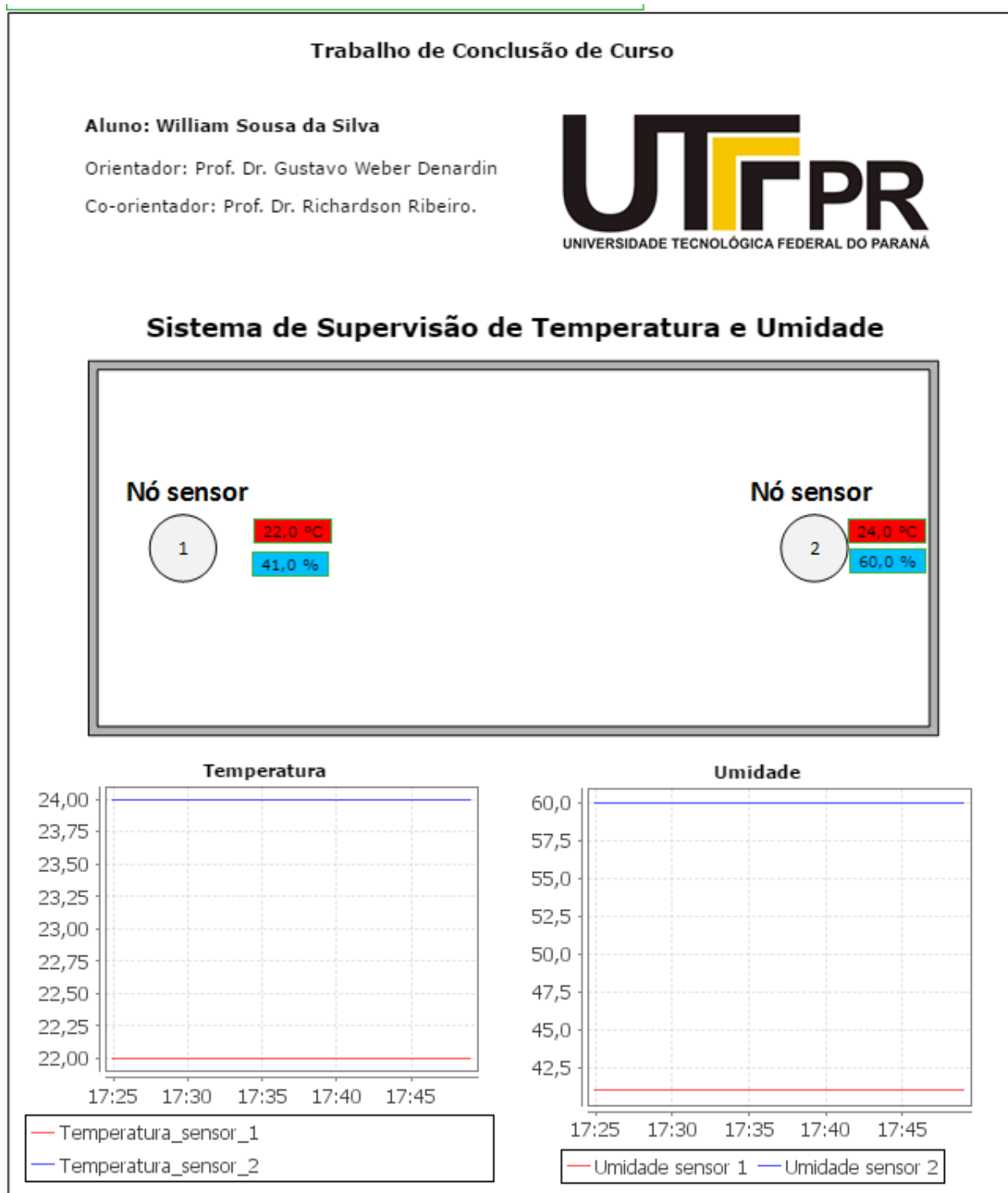


Figura 16. Interface gráfica desenvolvida no ScadaBR

O desenvolvimento dessa interface (Figura 16) consistiu nas seguintes etapas: Configuração de uma fonte de dados (*Data sources*), configuração dos pontos de dados (*data points*), e por ultimo criação da interface gráfica. A configuração de uma fonte de dados é feita conforme mostra a Figura 17.

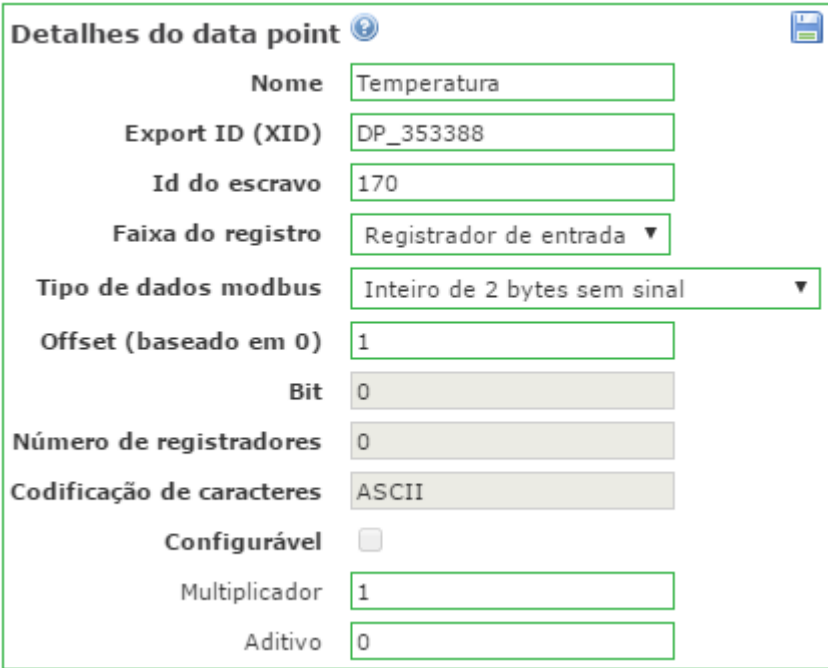
Propriedades do modbus serial

Nome	unet_modbus
Export ID (XID)	DS_883899
Período de atualização	6 minuto(s)
Quantificação	<input type="checkbox"/>
Timeout (ms)	500
Tentativas	2
Apenas quantidades contínuas	<input type="checkbox"/>
Criar pontos de monitor de escravo	<input type="checkbox"/>
Máxima contagem de leitura de bits	2000
Máxima contagem de leitura de registradores	125
Máxima contagem de escrita de registradores	120
Porta	COM3
Baud rate	57600
Controle de fluxo de entrada	Nenhum
Controle de fluxo de saída	Nenhum
Data bits	8
Stop bits	1
Parity	Par
Codificação	RTU
Echo	Desligado
Simultaneidade	Função

Figura 17. Configuração Modo serial RTU – Fonte de dados

Os principais campos a serem configurados (Figura 17) são: Período de atualização, *Timeout*, Porta, *Baud rate*, Paridade e codificação. Tais campos foram configurados da seguinte forma: O período de atualização foi definido para 6 minutos, ou seja, a cada 6 minutos uma requisição de leitura de dados é realizada pelo ScadaBR. O campo *Timeout* foi definido em 500ms, que é o tempo máximo que o ScadaBR espera a resposta dos dados solicitados. O campo porta especifica a porta serial que interliga o ScadaBR e o microcontrolador da estação base. O campo *Baud rate* especifica a taxa de transmissão dos dados pela porta serial, que neste caso é 57600 bits/s (bits transmitidos em um segundo). O campo paridade foi definido como paridade par e por último é especificado o tipo de codificação de

pacotes RTU no campo codificação. Em seguida foram configurados os pontos de dados (Figura 18). Tais pontos referem-se aos dados que são lidos pelo ScadaBR.



Detalhes do data point	
Nome	Temperatura
Export ID (XID)	DP_353388
Id do escravo	170
Faixa do registro	Registrador de entrada
Tipo de dados modbus	Inteiro de 2 bytes sem sinal
Offset (baseado em 0)	1
Bit	0
Número de registradores	0
Codificação de caracteres	ASCII
Configurável	<input type="checkbox"/>
Multiplicador	1
Aditivo	0

Figura 18. Configuração de um ponto de dados.

A configuração de um ponto de dados (Figura 18) é feita da seguinte forma: No campo nome é especificado o nome do ponto de dados; O campo id do escravo contém o endereço do escravo que neste caso é 170 (decimal); o campo faixa de registro especifica a faixa de endereço de memória no protocolo modbus onde estão localizados os dados; o campo tipo de dados modbus refere-se ao tipo de dados, exemplo: Inteiro de 2 bytes sem sinal, binário, float de 8 bytes, etc. Neste trabalho foi configurado como sendo Inteiro de 2 bytes sem sinal, que é o tipo dos dados de temperatura e umidade. Por fim, no campo *offset* é especificada a posição no registrador de entrada que contém o dado a ser lido (Quadro 6).

4 RESULTADOS

O sistema de supervisão de temperatura e umidade proposto foi testado em um local com dimensões aproximadas de 4 metros de largura e 6 metros de comprimento. Para os testes foram utilizados dois nós sensores e uma estação base. A Figura 19 mostra a disposição destes itens no local.

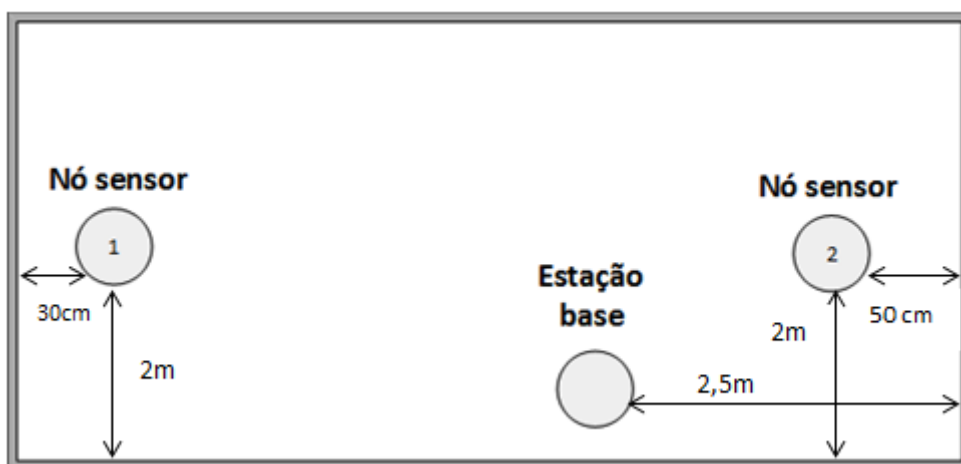


Figura 19. Nós sensores e estação base

Os nós sensores foram posicionados no local de teste conforme mostrado na Figura 19. A distância entre os nós sensores é de aproximadamente 5 metros e 20 centímetros com relação ao comprimento do local (6 metros). O funcionamento do sistema se dá da seguinte forma: A cada 5 minutos os nós sensores realizam uma coleta de dados de temperatura e umidade e enviam para a estação base. A estação base é conectada a um computador que executa um sistema de supervisão no software ScadaBR. A interface gráfica deste sistema contém uma representação do ambiente físico real monitorado, e permite o acompanhamento em tempo real (Figura 16). Assim, a estação base envia os dados de temperatura e umidade recebidos dos nós sensores a cada 5 minutos para o sistema SCADA. Dessa forma é possível identificar os valores de temperatura e umidade em diferentes locais do ambiente.

Além de supervisionar o ambiente em tempo real, umas das grandes vantagens do ScadaBR é a possibilidade de gerar relatórios automaticamente dos dados coletados pelo sistema da RSSF. Tais relatórios incluem gráficos ao longo do tempo e permitem um histórico de acompanhamento dos dados coletados pelo

sistema em tempo real. A Figura 20 mostra um exemplo de relatório parcial com os gráficos de temperatura dos dois nós sensores da RSSF. Já a Figura 21 mostra o acompanhamento dos dados de umidade.

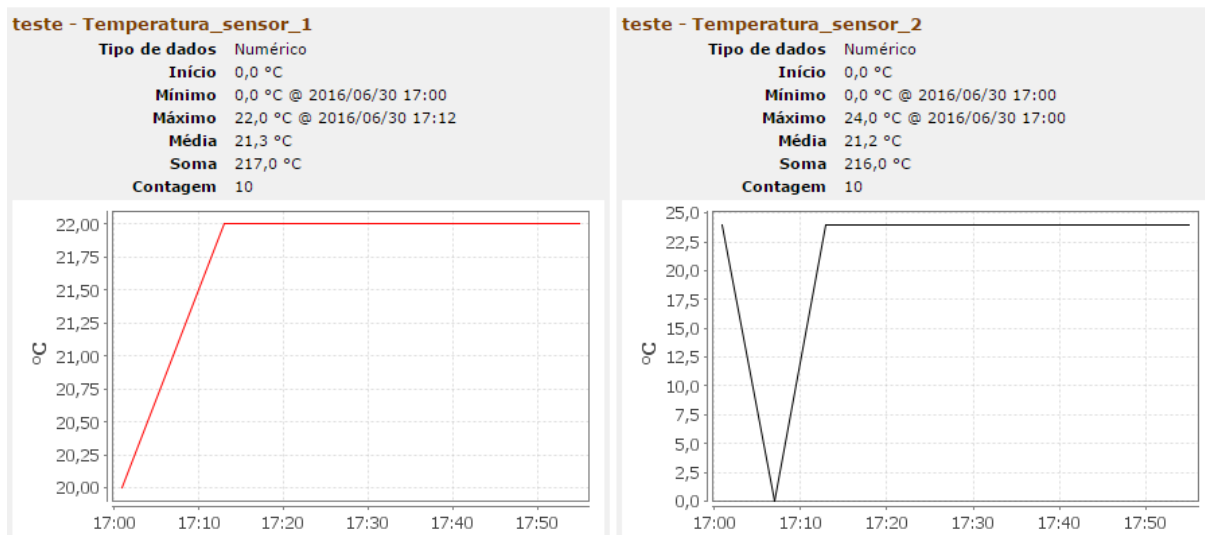


Figura 20. Acompanhamento de temperatura.

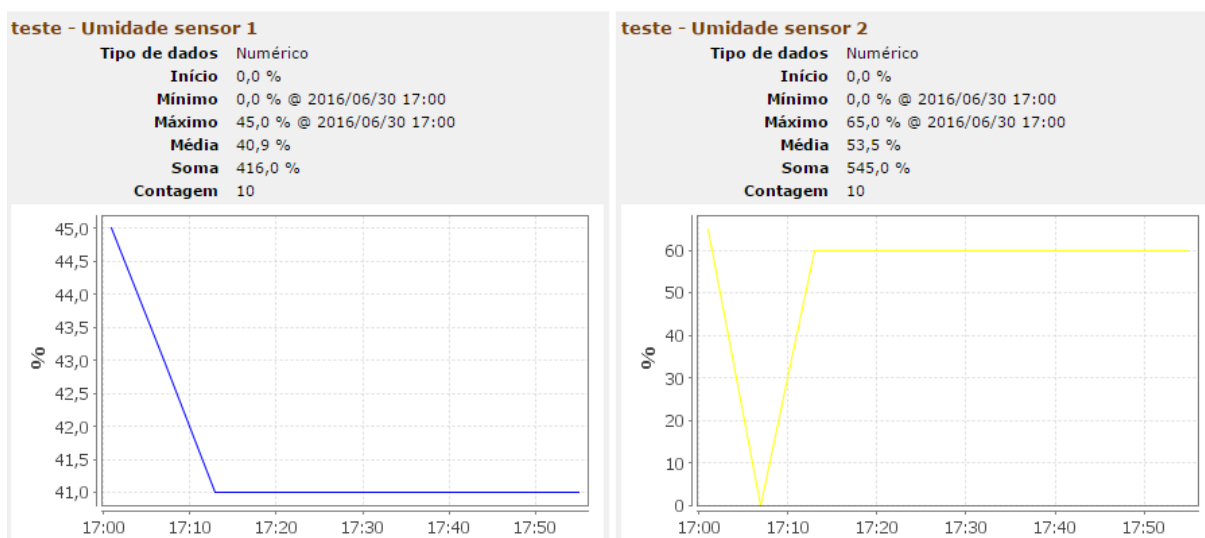
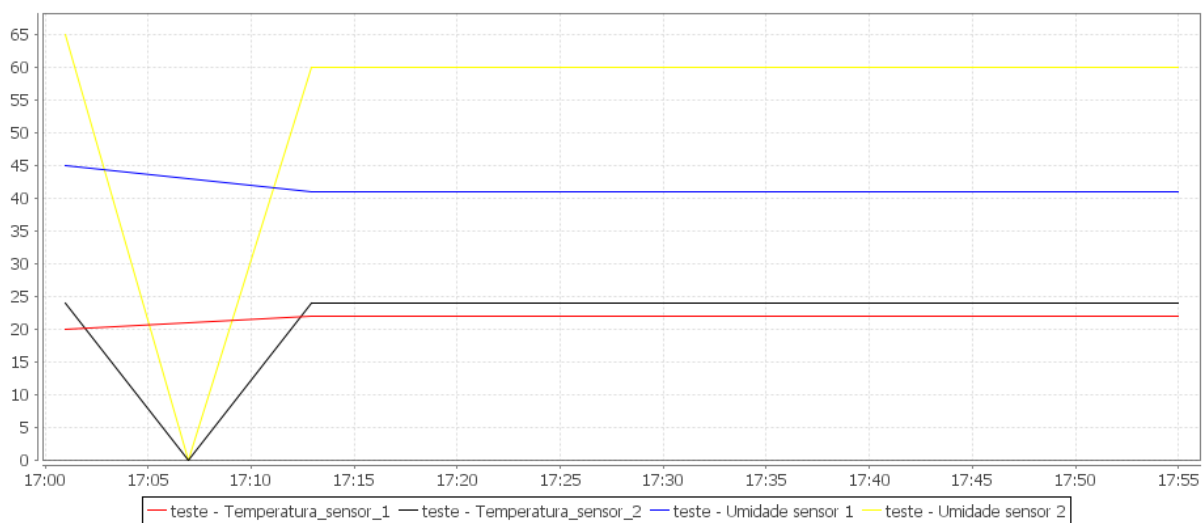
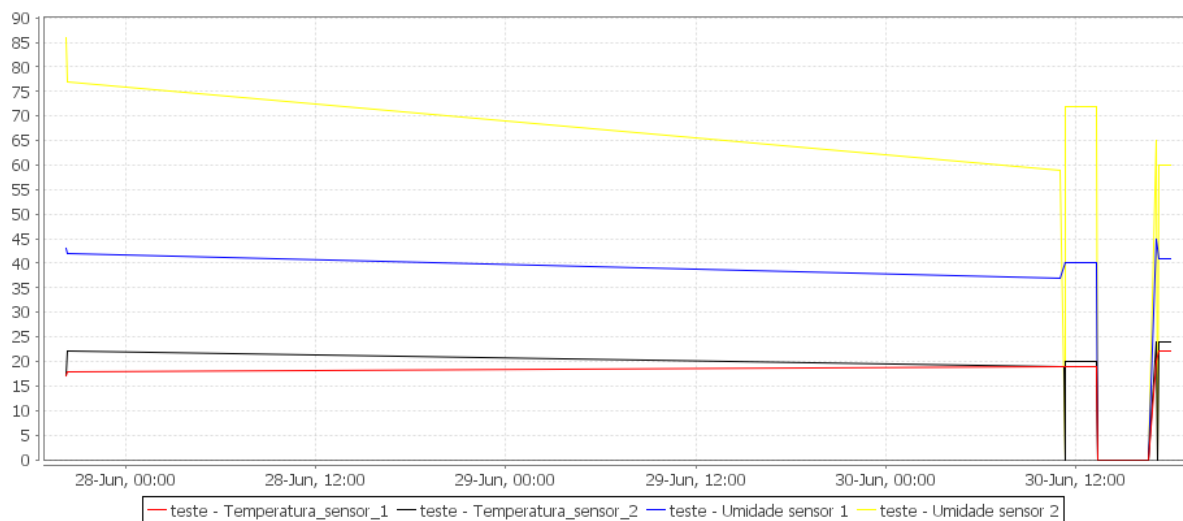


Figura 21. Acompanhamento de umidade.

Os relatórios podem ser configurados para serem gerados automaticamente a partir de datas ou horas específicas de início e término. Assim, para fins de testes, foi configurada a geração de um relatório com horário de início às 17 horas e término às 18 horas. O Relatório com o gráfico consolidado pode ser visto na Figura 22.

Gráfico consolidado**Figura 22. Gráfico consolidado do sistema de supervisão.**

O gráfico consolidado da Figura 23, mostra os resultados de um acompanhamento de 3 dias consecutivos.

Gráfico consolidado**Figura 23. Gráfico de acompanhamento de três dias.**

Conforme mostrado, os valores de temperatura e umidade nem sempre são os mesmos em diferentes locais. Assim, ambientes que requerem o controle minucioso dessas variáveis tais como: Aviários, estufas de plantas, produção de alimentos etc. podem fazer uso de um sistema de supervisão integrado a uma rede de sensores sem fio para monitorar o ambiente. A partir deste monitoramento, é possível acompanhar os parâmetros de temperatura e umidade em tempo real

(através do ScadaBR o qual é acessado através da internet) e fornecer subsídios à tomada de decisão do especialista responsável pelo local monitorado.

O sistema proposto neste trabalho possui como principal limitação o fato dos nós sensores não serem alimentados com bateria. Dessa forma, a escalabilidade do sistema se limita em função da quantidade de tomadas de energia existentes no local monitorado. Para trabalhos futuros é desejável que tal sistema funcione através de baterias.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

Neste trabalho foram apresentadas as etapas para a construção de um modelo de coleta de dados por meio de uma RSSF para a supervisão de ambiência para locais que requerem homogeneidade. Tal modelo foi constituído por uma rede de sensores sem fio na qual é responsável por monitorar a temperatura e a umidade em diferentes locais do ambiente. Através dos dados obtidos pela rede, um sistema de supervisão (Sistema SCADA) foi utilizado para analisar os dados, identificando as regiões do ambiente em que a temperatura e/ou a umidade não está nos seus valores ideais, fornecendo subsídios para a tomada de decisão pelos especialistas.

Este trabalho abordou apenas a supervisão dos parâmetros de temperatura e umidade. No entanto, além de um ambiente térmico confortável, podem existir outros fatores que precisam ser controlados, tais como, luminosidade, ventilação, entre outras. Assim, para trabalhos futuros, pode-se utilizar também uma rede de sensores sem fio e um sistema SCADA para controlar e/ou supervisionar tais fatores.

6 REFERÊNCIAS

ABREU, V. M. N.; ABREU, P. G. Os desafios da ambiência sobre sistemas de aves no Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Concórdia, v.40, p. 1-14, 2011.

ABREU, Paulo G. de; ABREU, Valéria M. N. Conforto térmico para aves. **Comunicado técnico**, Concórdia, dez. 2004. Disponível em: <<http://www.cnpsa.embrapa.br/>>. Acesso em: 22 set. 2014.

APNESETH, C. Embedded system technology in ABB. *ABB Review*, n. 2, p. 14–17, 2006.

ANVISA. Guia de alimentos da vigilância sanitária. , p. 1–42, 2004.

AULICUS, C. SCADA, 2003. Disponível em: <<http://www.cpdee.ufmg.br/~seixas/Paginall/Download/DownloadFiles/Scada.PDF>> Acesso em: 25 jun. 2016

AGENCIA BRASIL. Estudo científico conclui que temperatura ideal para trabalhar é 13°C. 2015. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/internacional/noticia/2015-10/temperatura-ideal-para-trabalhar-sao-13oc-estudo>> Acesso em: 24 de jul. 2016.

AOSONG. Folha de dados do sensor de temperatura e umidade DHT11. [S.l.], 2014. Disponível em: < <http://www.aosong.com/>>.

BEEFPOINT. Importância da ambiência na produção de bovinos de corte frente às mudanças climáticas. 2009 Disponível em: <<http://www.beefpoint.com.br/radares-tecnicos/sistemas-de-producao/importancia-da-ambiencia-na-producao-de-bovinos-de-corte-frente-as-mudancas-climaticas-54543/>> Acesso em: 23 jul. 2016.

CURTIS, S. E. **Environmental Management in Animal Agriculture**. Ames: Iowa State University Press, 1983.

CHERMONT, M. G.; CUGNASCA, M. D. S. A. F. S. R. D. M. C. C. E. Automação predial aplicada em estufas. **V Congresso Brasileiro de Agro informática, SBI-AGRO**, 2005.

COOB. Guia De Manejo De Incubação. , p. 40, 2008.

DONALD, James O. **Environmental Management In The Broiler House**. [S.l.], 2010. 48p.

DANEELS, Axel; SALTER, Wayne. What is SCADA? 2000. Disponível em: <<http://ref.web.cern.ch/ref/CERN/CNL/2000/003/scada/>> Acesso em: 22 jul. 2016.

DELMÉE, Jean Gerald. Et al. **Instrumentação Industrial**. 3. Ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

DENARDIN, Gustavo Weber. **Roteamento geográfico para redes de sensores e atuadores sem fio em redes urbanas de comunicação**. 2012. 160 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

DENARDIN, G. W.; BARRIQUELLO, C. H. Brazilian RTOS blog | O blog oficial do BRTOS, um sistema operacional 100% brasileiro, 2010. Disponível em: <<http://brtosblog.wordpress.com>>. Acesso em: 20 Jun 2016.

FIGUEIREDO, Mario Roberto Chim et al. Estufas climatizadas para experimentos ambientais com rãs, em gaiolas. **Revista Brasileira de Zootecnia**. Sociedade Brasileira de Zootecnia, v. 30, n. 4, p. 1135-1142, 2001.

FILHO, José A. D. B. Ambiência e instalações zootécnicas. 2010. Disponível em: <<http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?id=23343&secao=Colunas%20e%20Artigos>> Acesso em: 24 jul. 2016.

FILHO, C. S. Uma Análise Das Novas Fronteiras Da Automação. , p. 1–7, 2000.

FORSYTHE, Stephen J. **Microbiologia da Segurança dos Alimentos**. 2. Ed. São Paulo: ARTMED EDITORA LTDA, 2013.

FERREIRA, E. DE PAIVA; LIERS, L.; FERREIRA, L.; JR, M. M. SCADA Systems. , 2009.

JURIZATO, L. A.; PEREIRA, P. S. R. Sistemas supervisórios. , v. 7778, p. 105–114, 2003.

NXP. *FRDM-KL25Z User's Manual*. [S.l.], 2016. Disponível em: <<http://www.nxp.com/>>.

TEIXEIRA, Henrique M. B. L. **Estudo da Viabilidade de um Sistema de Microcogeração Acoplado a uma Bomba de Calor numa Estufa Agrícola**. 2009. 90 f. (Mestrado em Engenharia Eletromecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Eletromecânica, Universidade da Beira Interior, Covilhã. 2009.

GTA. Redes de Sensores sem Fio. Disponível em: <http://www.gta.ufrj.br/grad/12_1/rssf/> Acesso em: 20 nov. 2014.

HOFFMANN, F. L. Fatores limitantes à proliferação de microorganismos em alimentos. **Brasil Alimentos**, v. 5, n. 9, p. 23–30, 2001.

LOUREIRO, Antônio A. F. et al. Redes de sensores sem fio. Natal, 2003.

MARTINS, N. A. **Sistemas Microcontrolados: Uma abordagem com o Microcontrolador PIC16F84**. [S.l.]: Novatec, 2005.

ROSARIO, Joao Mauricio. **Automação Industrial**. São Paulo: Baraúna, 2009.

MODBUS.ORG. **MODBUS over Serial Line: Specification & Implementation guide V1.0**. 2002.

MATIN, Mohammad. A. **Wireless Sensor Networks: Technology and Protocols**. InTech, 2012.

NICOLOSI, DENYS EMÍLIO CAMPION. **Microcontrolador 8051 detalhado**. 3. ed. São Paulo: Érica, 2002.

NASCIMENTO, Juarez do. **Telecomunicações**. 2. Ed. São Paulo: Makron Books, 2000.

MICROCHIP. Folha de dados do circuito integrado MRF24J40MA. [S.l.], 2016. Disponível em: <<http://www.microchip.com/wwwproducts/en/MRF24J40MA>>.

MORGADO, R. J. L. Estudo E Aplicação De Um Sistema De Controle Automático De Temperatura Ambiente. , 2008.

MATUCHAKI, G. Projeto De Um Sistema De Climatização De Aviário. 2011. 38 f. Monografia (Tecnologia em Manutenção Industrial). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2011.

OLIVEIRA, Karine V.; CAVICHIOLO, Carina; ANDREAZZI, Marcia A.; SIMONELLI, Sandra M. **Sistema *Dark House* de produção de frangos de corte**: uma revisão. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA, 2013. [S.I.].

OLIVEIRA, R. F. M.; DONZELE, J. L.; ABREU, M. L. T.; et al. Efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre o desempenho e o rendimento de cortes nobres de frangos de corte de 1 a 49 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. 3, p. 797–803, 2006.

OLIVEIRA, Adália Freitas de; FILHO, J. A. D. B. A importância da ambiência na cunicultura. 2011. Disponível em: <<http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?id=24066&secao=Not%EDcias&c2=Pecu%E1ria>> Acesso em: 24 de jun. 2016.

PINHEIRO, José Mauricio Santos. Introdução às Redes de Supervisão e Controle. 2006. Disponível em: <http://www.projetoderedes.com.br/artigos/artigo_redes_de_supervisao_e_controle.php> Acesso em: 22 jun. 2016.

PAIOLA, Carlos. E. G. O Papel Do Supervisor No Atual Contexto Tecnológico. **InTech**, jul. 2011.

ROSA, Paulo Sérgio. Incubação. 2013. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/frango_de_corte/arvore/CONT000fy1j9mkr02wx5ok0pvo4k3kktn gb1.html> Acesso em: 23 jun. 2016.

ROSA, P. S.; GUIDONI, A. L.; LIMA, I. L.; XAVIER, F.; BERSCH, R. Influência da Temperatura de Incubação em Ovos de Matrizes de Corte com Diferentes Idades e Classificados por Peso sobre os Resultados de Incubação, v. 2002, p. 1011–1016, 2002.

SINGH, A. K. **Microcontroller and embedded system**. [S.I.]: New Age International, 2008.

SCADABR. **ScadaBR 0.7. Sistema Open-Source para supervisão e controle.** 2010.

SILVA, A. P. G. DA; SALVADOR, M. O que são sistemas supervisórios ? , p. 1–5, 2005.

SILVA, I. J. O. **Desenvolvimento de modelos matemáticos para análise da influência das condições ambientais na produção de ovos.** 1998. 158 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

SILVA, William; RIBEIRO, Richard; TEIXEIRA, Marcelo; ENEMBRECK, Fabrício. Um sistema de Monitoramento Remoto de Temperatura e Umidade. **Sicite**, Medianeira, nov. 2014.

STALLINGS. **Operating Systems, Internals and Design Principles.** Pearson: Prentice Hall. 2005.

THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga de. **Sensores Industriais: Fundamentos e Aplicações.** 8. Ed. 2011.

STALLINGS, William. **Operating systems: internals and design principles.** 5.ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall. 2004.

TANENBAUM, Andrew. **Sistemas operacionais modernos.** Rio de Janeiro: LTC. 1999.

WAGENINGEN, Nico van; MEINDERTS, Johan; BONNIER, Puck; KASPER, Henk. **A incubação de ovos por galinhas e na incubadora.** Wageningen: Fundação Agromisa. 2004.

VAZ, Carlo A. R. **Controle de temperatura de uma estufa por meio de uma plataforma de instrumentação virtual.** 2008. 63 f. Monografia (Engenharia de controle e automação) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2008.