

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

PAULO HENRIQUE SABO

Modelo de microestação agrometeorológica para monitoramento vitícola

Maringá
2011

PAULO HENRIQUE SABO

Modelo de microestação agrometeorológica para monitoramento vitícola

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação do Departamento de Informática, Centro de Tecnologia da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação.

Orientador: Prof. Dr. João Angelo Martini
Co-orientador: Prof. Dr. Ronaldo Augusto de Lara
Gonçalves

Maringá
2011

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá – PR., Brasil)

S117m Sabo, Paulo Henrique
Modelo de microestação agrometeorológica para monitoramento vitícola/Paulo Henrique Sabo. -- Maringá, 2011.

100 f.; tabs., figs.

Orientador: Prof. Dr. João Angelo Martini.
Co-orientador: Prof. Dr. Ronaldo Augusto de Lara Gonçalves.

Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, 2011.

1. Sistemas embarcados 2. Monitoramento - *Arduino* - *ZigBee* 3. Agricultura - Viticultura - Meteorologia I. Martini, João Angelo, orient. II. Universidade Estadual de Maringá... III. Título.

CDD. 21.ed.: 005.133

JLM-000123

FOLHA DE APROVAÇÃO

PAULO HENRIQUE SABO

Modelo de microestação agrometeorológica para monitoramento vitícola

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação do Departamento de Informática, Centro de Tecnologia da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação pela Banca Examinadora composta pelos membros:

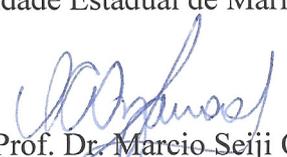
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Ronaldo Augusto de Lara Gonçalves
Universidade Estadual de Maringá – DIN/UEM



Prof. Dr. Nardênio Almeida Martins
Universidade Estadual de Maringá – DIN/UEM



Prof. Dr. Marcio Seiji Oyamada
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – INF/UNIOESTE

Aprovada em: 26 de agosto de 2011.

Local da defesa: Sala 101, Bloco C56, *campus* da Universidade Estadual de Maringá

DEDICATÓRIA(S)

*Dedico este trabalho à minha
filha Maria Clara, à minha
esposa Angela, aos meus pais
Paulo e Deonir e aos meus
amigos.*

AGRADECIMENTO(S)

Todo este trabalho não seria possível sem o apoio e o estímulo de pessoas de extrema importância presentes em minha vida. Quero aqui demonstrar minha eterna gratidão a todas estas pessoas que participaram, de forma direta ou não, na elaboração deste trabalho.

Sobretudo agradeço a DEUS por me agradecer e abençoar, com a oportunidade da realização do mestrado, por colocar no meu caminho todas estas maravilhosas pessoas, pela saúde e pelo presente com que fui agraciado neste período da minha vida, minha filha.

À ela, Maria Clara Miqueletti Sabo, força e motivação, demonstrados nas madrugadas em que me acorda, e me surpreende em seu inocente sorriso. Minha energia para a conclusão deste trabalho.

Agradeço à minha esposa Angela Miqueletti de Oliveira Sabo, pelo amor, carinho e compreensão. Por me ajudar na correção dos textos e por me lembrar todos os dias que tinha um trabalho para entregar. Angela, amo muito você!

Aos meus pais, Paulo Roberto Sabo e Deonir de Fátima Rodrigues Sabo, agradeço de forma especial, pela educação, cuidado e todo amor. E também por sempre me apoiar e incentivar em minha formação.

Ao meu Orientador João Angelo Martini pelos ensinamentos, orientações, pelo crescimento do conhecimento científico e por acreditar no meu trabalho. Ao meu co-orientador Ronaldo Augusto de Lara Gonçalves pelos conhecimentos compartilhados. Aos demais professores do Departamento de Informática (DIN) pela minha formação. Um agradecimento especial à Inês, secretária do programa de mestrado, por toda ajuda, cuidado com prazos, datas e compromissos, e por todas as conversas na secretaria.

Aos meus amigos do mestrado, não citarei nomes, mas àqueles dos almoços no Afonso, dos trabalhos em grupo, dos churrascos, dos cafés na cantina, pelas risadas, pelas confraternizações e pelas vitórias alcançadas.

Aos colegas do Laboratório de Sistemas Embarcados, pela convivência e pelo auxílio na solução de problemas.

Às agências Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Paraná, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Sistemas Embarcados Críticos (INCT-SEC), por todo apoio e suporte financeiro.

Enfim, obrigado a todos que contribuíram de alguma forma neste trabalho.

EPÍGRAFE

Só há duas maneiras de viver a vida:
a primeira é vivê-la como se
os milagres não existissem.
A segunda é vivê-la como
se tudo fosse milagre.
(ALBERT EINSTEIN)

Modelo de microestação agrometeorológica para monitoramento vitícola

RESUMO

Baseada em uma realidade em que o alicerce econômico nacional é a agricultura, que vive em condição de crescente mudança e competitividade. Para tal, um dos fatores que torna essa situação possível é a revolução da informação e do conhecimento. A evolução observada no campo da tecnologia de informação e comunicação estimula os pesquisadores desta área a desenvolverem sistemas de apoio ao agricultor. Espera-se que, muito em breve, todas as decisões tomadas e ações praticadas na agricultura serão realizadas com base em um contexto intensivo de informação e, todos os agentes do setor terão que fazer uso da agricultura integrada à informação para serem competitivos no mercado. Partindo destes pressupostos este trabalho tem como objetivo apresentar um modelo de sistema computacional integrado que visa apoiar a agricultura familiar. Sua aplicação inicial tem como foco o cultivo de uva, e é voltado a pequenos produtores, membros de uma cooperativa que produz vinho, na cidade de Marialva, Brasil. Por meio desse sistema é possível efetuar a coleta de dados agrometeorológicos em campo e disponibilizar estas informações com o intuito de oferecer uma base de dados ao agricultor. Deste modo, a partir das informações oferecidas pelo sistema, o beneficiário pode elaborar e planejar o plantio para que o manejo e cultivo da uva sejam mais eficazes, assim como colher todos os benefícios advindos do uso dessa tecnologia de apoio. O modelo em voga foi desenvolvido utilizando a plataforma *Arduino* para as microestações agrometeorológicas e *ZigBee* para a comunicação entre as microestações. Foram utilizados também sensores que tornou possível a classificação da uva pelo sistema de Classificação Climática Multicritérios Geovitícola. Não apenas para atender o monitoramento agrícola, o modelo proposto pode ser aplicado a qualquer tipo de ambiente, fornecendo dados precisos da região controlada, contribuindo também para o monitoramento meteorológico da região.

Palavras-chave: Agricultura. Viticultura. Meteorologia. Monitoramento. *Arduino*. *ZigBee*. Sistemas embarcados.

Agro meteorological micro station model for tracking wine

ABSTRACT

Based on a reality in which national economic foundation is agriculture, who lives in condition of increasing change and competitiveness. To this end, one of the factors that makes this possible is the revolution of information and knowledge. The developments observed in the field of information and communication technology stimulates the researchers in this area to develop support systems to the farmer. It is expected that very soon, all decisions made and actions committed in agriculture will be made based on an intensive information and context, all sector agents will have to make use of integrated agriculture to information in order to be competitive in the market. Based on these assumptions this work aims to present a model of integrated computational system that aims to support family farms. Its initial implementation is focused on the cultivation of grapes, and is designed for small producers, members of a cooperative that produces wine in the city of Marialva, Brazil. Through this system it is possible to perform agro meteorological data collection in the field and provide this information in order to provide a database to the farmer. Thus, from the information offered by the system, the beneficiary can devise and plan the planting so that the handling and grape growing be more effective, as well as reap the benefits arising out of use of this assistive technology. The model was developed using the *Arduino* platform for agrometeorological microstations and *ZigBee* for communication between the microstations. Were used also sensors that has made possible the classification of the grape by the Geoviticultural CCM system. Not only to meet the agricultural monitoring, the proposed model can be applied to any type of environment, providing accurate data of the monitored region, contributing also to the meteorological monitoring of the region.

Keywords: Agriculture. Viticulture. Weather monitoring. *Arduino*. *ZigBee*. Embedded systems.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 Grupos climáticos para os 3 índices climáticos (IS, IH, IF)	28
Figura 3.1 Uma placa <i>Arduino</i> serial com o microcontrolador ATmega8 removível, uma das versões originais do hardware <i>Arduino</i> (Mellis et al., 2007).	34
Figura 3.2 Esquema elétrico da placa <i>Arduino</i> (Hardware livre).	35
Figura 3.3 Placa Severino	36
Figura 3.4 <i>Arduino</i> IDE mostrando um exemplo de código simples para piscar um <i>LED</i>	37
Figura 4.1 Integração entre sensores e atuadores.	40
Figura 4.2 V, I e R, os parâmetros da lei de <i>Ohm</i>	40
Figura 4.3 Circuito de sensor resistivo (Divisor de tensão).	41
Figura 4.4 Ponte de <i>Wheatstone</i>	42
Figura 4.5 Sensor sem contato.....	44
Figura 4.6 Sensor indutivo	46
Figura 4.7 Termostato bimetálico.....	50
Figura 4.8 Termopar.	51
Figura 4.9 Pluviômetro Digital.....	52
Figura 4.10 Anemômetro de <i>Robinson</i>	53
Figura 4.11 Potenciômetro.	54
Figura 5.1 Uma visão geral dos padrões <i>IEEE 802.xx</i> (FUHR, P.; KAGAN, H., 2006).	56
Figura 5.2 Camadas do padrão <i>ZigBee/IEEE 802.15.4</i>	57
Figura 5.3. Topologias do <i>ZigBee</i>	59
Figura 6.1 Funcionamento do sistema <i>CERERE</i>	64
Figura 7.1 Disposição topográfica das plantações da COAVITI. Pontos referentes às suas respectivas localizações geográficas no plano (ver Tabela 1). Escala 1:250000.	71
Figura 7.2 Visão geral do sistema com gerenciador da rede.	73
Figura 7.3 Visão geral do sistema com coletor de dados manual.....	73
Figura 7.4 Componentes da microestação.....	74
Figura 7.5 Esquema elétrico do <i>shield</i> da microestação agrometeorológica.....	76
Figura 7.6 Diagrama de atividades da microestação agrometeorológica.	77
Figura 7.7 Diagrama de atividades do gerenciador da rede.	79
Figura 7.8 Esquema elétrico do <i>shield</i> do coletor de dados manual.....	82
Figura 7.9 Diagrama de atividades do coletor de dados manual.	83

Figura 7.10 <i>Shield</i> conectado à placa <i>Arduino</i> - Protótipo da microestação.	85
Figura 7.11 Foto do <i>shield</i> do coletor de dados manual.....	86
Figura 7.12 Tela do gerenciador de rede	86
Figura 7.13 Tela de geração de gráficos do sistema Web.	87
Figura 7.14 Exemplo de gráfico de umidade do ar.	88

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1 Valor de impedância em relação a variação de umidade (ROVETI, 2001).....	48
Gráfico 7.1 Distribuição das áreas das propriedades da COAVITI.	70
Gráfico 7.2 Porcentagem da propriedade destinada à viticultura.....	70
Gráfico 7.3 Gráfico de comparação entre valores de temperatura do ar medidos pela microestação e valores registrados pelo INMET.....	89
Gráfico 7.4 Gráfico de comparação entre valores umidade relativa do ar medidos pela microestação e valores registrados pelo INMET.....	89
Gráfico 7.5 Gráfico de comparação entre valores de temperaturas de ponto de orvalho medidos pela microestação e valores registrados pelo INMET.	89
Gráfico 7.6 Gráfico de comparação entre valores de milímetros de chuva medidos pela microestação e valores registrados pelo INMET.....	90
Gráfico 7.7 Gráfico de luminosidade registrado pela microestação.....	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 7.1 Localização geográfica dos parreirais da COAVITI.	72
Tabela A.1: Caracterização das Redes de Sensores Sem Fio segundo a configuração.	97
Tabela A.2: Caracterização das Redes de Sensores Sem Fio segundo o sensoriamento.....	98
Tabela A.3: Caracterização das Redes de Sensores Sem Fio segundo a comunicação (Parte A).	98
Tabela A.4: Caracterização das Redes de Sensores Sem Fio segundo a comunicação (Parte B).	99
Tabela A.5: Caracterização das Redes de Sensores Sem Fio segundo o processamento.....	99

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AI	<i>Amplificação da Inteligência</i>
BPSK	<i>Binary Phase Shift Keying</i>
CCM	<i>Classificação Climática Multicritérios</i>
CI	<i>Circuito Integrado</i>
COAVITI	<i>Cooperativa Agroindustrial dos Viticultores</i>
CSMA-CA	<i>Carrier sense multiple access with collision avoidance</i>
DSSS	<i>Direct Sequence Spread Spectrum</i>
EEPROM	<i>Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
FFD	<i>Full Function Device</i>
FTDI	<i>Future Technology Devices International</i>
GIS	<i>Geographic information system</i>
GPL	<i>General Public License</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GTS	<i>Guaranteed Time Slot</i>
GUI	<i>Graphical User Interface</i>
I/O	<i>Input/Output</i>
IA	<i>Inteligência Artificial</i>
ICSP	<i>In-Circuit Serial Programming</i>
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IF	<i>Índice de Frio Noturno</i>
INMET	<i>Instituto Nacional de Meteorologia</i>
IR	<i>Infra-Red</i>
IS	<i>Índice de Seca</i>
ISP	<i>In-System Programming</i>
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
LDR	<i>Light Dependent Resistor</i>
LED	<i>Light Emitter Diode</i>
MAC	<i>Media Access Control Layer</i>
MEMS	<i>Micro Electro-Mechanical Systems</i>
MLME	<i>MAC Layer Management Entity</i>

NTC	<i>Negative Temperature Coefficient</i>
OEM	<i>Original Equipment Manufacturer</i>
OQPSK	<i>Offset Quadrature Phase Shift Keying</i>
PAN	<i>Personal Area Network</i>
PC	<i>Personal Computer</i>
PHY	<i>Physical Layer</i>
PLME	<i>Physical Layer Management Entity</i>
PPDU	<i>PHY protocol data units</i>
PTC	<i>Positive Temperature Coefficient</i>
PWM	<i>Pulse-Width Modulation</i>
RF	<i>Radiofrequência</i>
RFD	<i>Reduced Function Device</i>
RISC	<i>Reduced Instruction Set Computing</i>
RS-232	<i>Recommended Standard 232</i>
RSSF	<i>Redes de Sensores Sem Fio</i>
RTC	<i>Real Time Clock</i>
RTD	<i>Resistive Temperature Devices</i>
SD	<i>Secure Digital</i>
SGBD	<i>Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados</i>
SIG	<i>Sistema de Informação Geográfica</i>
TTL	<i>Transistor-Transistor Logic</i>
URL	<i>Uniform Resource Locator</i>
USART	<i>Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
UTC	<i>Coordinated Universal Time</i>
VANT	<i>Veículo Aéreo Não Tripulado</i>
VRT	<i>Variable-Rate Technology</i>
WPAN	<i>Wireless Personal Area Network</i>
WSN	<i>Wireless Sensor Network</i>
XML	<i>Extensible Markup Language</i>

SUMÁRIO

Introdução	20
1.1. Considerações Iniciais	20
1.2. Definição do problema	22
1.3. Proposta	22
1.4. Organização do trabalho	23
Monitoramento Vitícola	24
2.1. Considerações iniciais	24
2.2. Parâmetros para monitoramento vitícola.....	24
2.3. Sistema de Classificação Climática Multicritérios (CCM) Geovitícola.....	25
2.4. Considerações Finais	29
Computação Física	30
3.1. Considerações Iniciais	30
3.2. Computação Física.....	30
3.3. <i>Arduino</i>	33
3.3.1. Hardware <i>Arduino</i>	33
3.3.2. Severino	35
3.3.3. Software <i>Arduino</i>	36
3.4. Considerações Finais	38
Sensores	39
4.1. Considerações Iniciais	39
4.2. Introdução aos Sensores	39
4.3. Tipos de sensores	40
4.3.1. Sensores resistivos	40
4.3.2. Sensores capacitivos	42
Sensores sem contato.....	43
4.3.3. Sensores Indutivos	44
4.4. Sistemas de Sensores	46
4.4.1. Sensores ativos e passivos	46
4.5. Sensores de umidade.....	47
4.5.1. Sensores Capacitivos de Umidade Relativa.....	48
4.5.2. Sensores Resistivos de Umidade	48
4.5.3. Sensores de Umidade por Condutividade Térmica.....	49

4.6.	Sensores de temperatura	49
4.6.1.	Eletromecânicos	49
4.6.2.	Eletrônicos	50
	Sensor de silício.....	50
	Pirômetro Infravermelho	50
	Termopar	51
4.6.3.	De Resistência.....	51
4.7.	Sensores de pluviosidade.....	52
4.8.	Sensores de luminosidade.....	52
4.9.	Sensor de velocidade do vento	53
4.10.	Sensor de direção do vento	53
4.11.	Considerações Finais	54
ZigBee	55
5.1.	Considerações Iniciais	55
5.2.	<i>ZigBee e IEEE 802.15.4</i>	55
	5.2.1. Camadas e protocolos	57
	5.2.2. Topologias.....	58
5.3.	Redes de sensores sem fio (RSSF)	59
	5.3.1. Caracterização das Redes de Sensores Sem Fio	60
5.4.	Considerações Finais	60
Trabalhos Relacionados	62
6.1.	Considerações Iniciais	62
6.2.	<i>i-Farm: a empresa agrícola inteligente</i>	62
6.3.	<i>CERERE (Crop and Environmental wiREless monitoRing System): a WSN for Agricultural and Environmental Control</i>	64
6.4.	<i>The Weather Station Project</i>	65
6.5.	<i>Wireless Weather Station</i>	66
6.6.	<i>The NAV System: A wireless sensor network for precision viticulture</i>	66
6.7.	Considerações Finais	67
Desenvolvimento e Resultados	69
7.1.	Considerações Iniciais	69
7.2.	Estudo da região	69
7.3.	Modelo do Sistema de Monitoramento.....	71
	7.3.1. Microestação agrometeorológica	74

<i>Shield</i>	75
Algoritmo	75
Alimentação.....	78
7.3.2. Gerenciador da rede	78
Algoritmo	78
7.3.3. Coletor de dados manual.....	80
<i>Shield</i>	80
Algoritmo	81
7.3.4. Sistema Web	83
7.4. Resultados.....	84
Conclusão e Trabalhos Futuros	91
Referências	93
Anexo A	97

Introdução

1.1. Considerações Iniciais

Atualmente a fruticultura tem representado um potencial econômico de grande importância para os agricultores familiares, pois propicia boa rentabilidade em áreas de terra relativamente pequenas.

A produção de uva no Brasil em 2007 foi de 1.354.960 toneladas, apresentando um crescimento de 11,04% em relação ao ano de 2006. Desse total, 47,02% foram destinados à elaboração de vinhos, sucos e outros derivados (MELLO, 2007; MELLO, 2008). Já em 2009 a produção de uva no Brasil foi de 1.345.719 toneladas, apresentando uma redução de 4,08% em relação ao ano de 2008. Desse total, 50,39% foram destinados à elaboração de vinhos, sucos e outros derivados (MELLO, 2008; MELLO, 2009). O cenário vitícola brasileiro apresenta uma instabilidade em sua produção, ao contrário da produção de seus derivados, que apesar da queda da produção no ano de 2009, obteve crescimento em relação aos anos anteriores. O setor de viticultura tem recebido ultimamente grandes investimentos, principalmente em regiões não tradicionais do país, dada a característica da cultura, geradora de empregos e renda, especialmente para a pequena propriedade. Além de receber também outros incentivos como o PEP (Prêmio de Escoamento da Produção do Governo Federal) que no ano de 2009, mesmo sendo menos produtivo que o ano anterior, estimulou a

comercialização de vinho, resultando em um crescimento de 56,63% na comercialização do vinho (MELLO, 2009).

O estado do Paraná apresenta predomínio de pequenas e médias propriedades rurais enquadradas como unidades produtivas familiares. A região noroeste do estado apresenta características de solo e clima com condições favoráveis à fruticultura, tendo potencial para viabilizar economicamente propriedades familiares.

As cidades de Maringá e Marialva estão inseridas na área de abrangência da AMUSEP (Associação dos Municípios do Setentrião Paranaense), a qual congrega 30 municípios e cerca de 700.000 habitantes. Marialva abriga uma vinícola criada pela união de 25 produtores de uva, estes que formaram a Cooperativa Agroindustrial dos Viticultores (COAVITI), com apoio do programa Paraná 12 Meses. Esta cooperativa produz o vinho Coaviti. No futuro, os cooperados pretendem produzir também outros produtos derivados da uva. Iniciativas do governo do Paraná têm fortalecido o desenvolvimento da agricultura familiar paranaense no contexto do cultivo da uva para produção do vinho, como exemplo pode-se citar a implantação da Escola da Uva e do Vinho. A expectativa é que o Paraná se torne um forte polo de vinícola na região sul fortalecendo mais sua economia (MAZIA, 1998; PIANI, 2001).

Segundo o Jornal O Diário do Norte do Paraná (2007), recentemente a prefeitura de Maringá entregou à comunidade de Iguatemi uma fábrica de polpa de frutas, que terá capacidade para processar aproximadamente 500 quilos de frutas por hora. Para dar início à comercialização de sucos a Secretaria do Meio Ambiente e Agricultura doou 34.600 mudas de maracujá para a Associação dos Produtores Rurais de Iguatemi e outros produtores que serão responsáveis pelo plantio. Além de maracujá, outras frutas como morango, acerola, manga, abacaxi, uva e goiaba também serão processadas pela fábrica. A intenção da Secretaria do Meio Ambiente e Agricultura é transformar a região num polo de fruticultura. Apesar destes fatores positivos, nota-se ainda que, há carência de informações e tecnologias para que seja possível oferecer e aprimorar o suporte à produção e comercialização nessa área. Esse fato gera demanda pelo desenvolvimento de tecnologias que possibilitem a produção econômica de frutas saudáveis e seguras para a alimentação humana, (BRUCKNER; PICANÇO, 2001) (BURRELL; BROOKE; BECKWITH, 2004) (WARK *et al.*, 2007) e que favoreçam o desenvolvimento da agricultura familiar na região.

1.2. Definição do problema

Em uma situação de crescente mudança e competitividade, baseadas em questões de sustentabilidade econômica, social e ambiental, uma das forças que tem maior relevância na sociedade em geral e no setor agrícola em particular, é sem dúvida, a revolução da informação e do conhecimento. Conhecimento este que a cada ano melhora o processo de plantio e aumenta cada vez mais a produção por área cultivada.

Como qualquer tipo de cultivo é altamente dependente das condições climáticas, o uso do conhecimento meteorológico para o plantio é de suma importância desde a escolha da cultura até a sua colheita. Dada a dificuldade da aquisição de dados em uma estação agrometeorológica convencional analógica, nota-se que a convergência mundial de automatizar a aquisição de dados meteorológicos, por razões que vão desde a capacidade de amostragem até as facilidades em comunicação, organização e armazenamento dos dados, tem tido grande aceitação no monitoramento ambiental, qualquer que seja seu objetivo (TANNER, 1990). Na agricultura, este tipo de monitoramento tem contribuído não somente para o aumento da produção como, também, para a melhoria da qualidade dos produtos e para a preservação dos recursos naturais (TORRE NETO, 1995).

As estações agrometeorológicas são uma alternativa para monitorar, adquirir e armazenar dados agrícolas, e estes podem ser utilizados para previsão de chuva ou geada, controle de irrigação, controle de aplicação de substâncias químicas, controle do processo de produção, gerando conhecimento aplicado às decisões do produtor.

Espera-se que, num futuro próximo, todas as decisões tomadas e ações praticadas na agricultura sejam realizadas com base nas informações coletadas em campo e, como tal, todos os agricultores terão de desenvolver capacidades para poderem ser competitivos tirando proveito da prática de monitoramento da agricultura.

1.3. Proposta

Para estimular a produção de uva e atender a essa crescente demanda por informações e tecnologias na área de fruticultura, bem como para beneficiar o crescimento de sua produção e de seus derivados, o projeto proposto, com apoio da Fundação Araucária, visa como objetivo geral, o desenvolvimento de um modelo de sistema computacional integrado de apoio à agricultura familiar focado inicialmente na cultura de uva. Por meio desse sistema pretende-se efetuar a coleta de dados agrometeorológicos em campo e tratar as informações

coletadas de maneira a oferecer uma base de dados ao agricultor, que a partir das informações oferecidas pelo sistema possa elaborar o planejamento adequado do manejo e cultivo da cultura da uva, e colher todos os benefícios advindos do uso dessa tecnologia de apoio.

Como objetivos específicos do sistema computacional integrado, o projeto é dividido em quatro frentes de trabalho: microestação agrometeorológica de coleta de dados, gerenciador da rede, coletor de dados manual e sistema Web.

1.4. Organização do trabalho

Este trabalho está estruturado de maneira a correlacionar de forma clara e concisa os assuntos pertinentes à proposta do projeto.

No primeiro Capítulo são apresentados os objetivos, a justificativa, a importância do tema e os conceitos que são importantes para a compreensão do que está sendo proposto.

No segundo Capítulo são discutidos detalhes sobre o monitoramento vitícola, tais como elementos que devem ser monitorados e o sistema de classificação CCM.

O terceiro Capítulo discute conceitos da computação física, apresentando o *Arduino*, sua IDE, placa de desenvolvimento e como uma alternativa de baixo custo, o Severino.

No quarto Capítulo são discutidos fundamentos e detalha os tipos de sensores utilizados no desenvolvimento do projeto.

O quinto Capítulo discute a tecnologia *ZigBee* e o padrão *IEEE 802.15.4* utilizados no sistema de comunicação entre as microestações.

No sexto Capítulo são discutidos trabalhos relacionados que contextualizam a proposta do presente trabalho.

No sétimo Capítulo é apresentado o desenvolvimento do presente trabalho, detalhando o modelo de sistema computacional integrado de apoio à agricultura familiar focado para viticultura e apresentando os resultados obtidos a partir da implementação deste modelo.

Por fim o oitavo Capítulo apresenta as conclusões do presente trabalho e propõe um conjunto de trabalhos futuros que podem ser desenvolvidos com o auxílio do modelo de sistema apresentado neste trabalho.

Monitoramento Vitícola

2.1. Considerações iniciais

Este capítulo apresenta os parâmetros que são relevantes para o monitoramento do ambiente vitícola, discute como estes parâmetros podem ser utilizados na escolha da variedade de uva a ser cultivada na região e sua influência sobre o resultado esperado para a colheita da uva e produção do vinho.

2.2. Parâmetros para monitoramento vitícola

Para que o cultivo da uva aconteça de modo favorável e com boa qualidade alguns elementos meteorológicos são muito relevantes para o monitoramento do parreiral. Segundo Tonietto e Mandelli (2003) existem diversos elementos que interferem no desenvolvimento da videira tais como: temperatura, chuva, umidade do solo, radiação solar, vento e umidade do ar.

Como um dos elementos influenciadores, a temperatura do ar apresenta diversos efeitos sobre a videira, variáveis em função das diferentes fases do ciclo vegetativo ou de repouso da planta. Durante o inverno a videira se encontra em período de repouso vegetativo. O frio é importante para a quebra de dormência das gemas, no sentido de assegurar uma

brotação adequada para a videira. Em anos com inverno menos rigoroso pode ocorrer menor índice de quebra de dormência das gemas da videira, sendo necessária a aplicação de alguns produtos químicos para a quebra. Um fator desfavorável no desenvolvimento desta planta, nesta estação, são as geadas, pois podem causar a destruição dos órgãos herbáceos da mesma. Já no verão, as altas temperaturas podem resultar na obtenção de uvas com maiores teores de açúcares, menor acidez e, nas cultivares tintas, menor intensidade de cor. E por último, no outono a temperatura afeta o comprimento do ciclo vegetativo da videira, o que é importante para a maturação dos ramos e a acumulação de reservas pela planta. A ocorrência de geadas outonais acelera a queda das folhas e o fim do ciclo vegetativo da planta.

Outro dado importante está relacionado com a precipitação pluviométrica durante a primavera, este fator é fundamental para o desenvolvimento da planta, porém, em excesso, pode favorecer o aparecimento de algumas doenças fúngicas da parte aérea, bem como afetar fases importantes da videira, como a floração e a frutificação, causando baixo vingamento de frutos e desavinho. Esse dado associado a uma irrigação sem controle eleva a umidade do solo, levando a diminuição do teor de açúcar da fruta. É válido ressaltar que a alta umidade relativa do ar, assim como a precipitação pluviométrica, também favorece a incidência de doenças fúngicas, dificultando o desenvolvimento da planta.

Um dos fatores que também influencia no desenvolvimento da videira é a luz. Como a videira exige alta luminosidade para que seja considerada de boa qualidade, torna-se importante que o período de maturação aconteça em dias ensolarados, visto que há evolução do teor de açúcar das uvas nestas condições.

Outro elemento que pode dificultar a produtividade da uva é o vento, visto que pode causar danos à vegetação, pois os ramos jovens se quebram com relativa facilidade, resultando na diminuição da produção do vinhedo e em dificuldades na poda de inverno.

2.3. Sistema de Classificação Climática Multicritérios (CCM) Geovítica

Para a categorização da região produtora, ou seja, para que haja classificação da qualidade da uva e até determinação de uma melhor espécie para cultivo de acordo com os aspectos meteorológicos da região é utilizado atualmente o Sistema CCM Geovítica, que foi desenvolvido para melhorar a caracterização do clima vitícola das regiões produtoras de vinho no mundo (EMBRAPA UVA E VINHO, 2010)

O Sistema CCM foi idealizado dentro do conceito de Geoviticultura, que corresponde ao processamento da informação vitícola em escala mundial (TONIETTO; CARBONNEAU, 1999). A Geoviticultura aplicada ao clima possibilita identificar e comparar o clima vitícola das regiões, caracterizar sua variabilidade mundial e estabelecer grupos climáticos de regiões produtoras apresentando certa similaridade de potencial climático.

Por ser multicritério (usa três índices climáticos), o sistema amplia a caracterização dos fatores climáticos que implicam na adaptação das variedades, na qualidade da uva (açúcar, acidez, cor, aroma) e na tipicidade dos vinhos. Os índices considerados são:

Índice Heliotérmico (IH): É um índice climático vitícola desenvolvido por Huglin (1978), que estima o potencial heliotérmico de uma condição climática específica. O cálculo das temperaturas estima o período do dia no qual os metabolismos da videira estão mais ativos, o índice também inclui um fator de correção para o comprimento do dia em latitudes mais elevadas de cultivo da videira. O IH está bastante relacionado às exigências térmicas das variedades, bem como ao conteúdo potencial de açúcar das uvas.

O cálculo do IH é feito segundo a Equação 2.1, para o hemisfério norte, e a Equação 2.2, para o hemisfério sul, onde T representa a temperatura média do ar (°C), Tx representa a temperatura máxima do ar (°C) e k representa o coeficiente de comprimento do dia, variando de 1,02 a 1,06 entre 40° e 50° de latitude.

$$IH = \sum_{1 \text{ abr}}^{30 \text{ set}} \frac{[(T - 10) + (Tx - 10)]}{2} \cdot k \quad \dots(2.1)$$

$$IH = \sum_{1 \text{ out}}^{31 \text{ mar}} \frac{[(T - 10) + (Tx - 10)]}{2} \cdot k \quad \dots(2.2)$$

Índice de Frio Noturno (IF): É um índice climático vitícola desenvolvido para estimar a condição nictotérmica (relacionada à concentração dos componentes aromáticos das uvas e coloração em uvas tintas) associada ao período de maturação das uvas (TONIETTO; CARBONNEAU, 1999); (TONIETTO; CARBONNEAU, 2004). Por meio da análise das temperaturas mínimas noturnas, o índice serve como indicador das características potenciais das regiões em relação aos metabólitos secundários (polifenóis, aromas, cor) nas uvas e vinhos.

O cálculo do IF é feito segundo a Equação 2.3, para o hemisfério norte, e a Equação 2.4, para o hemisfério sul, onde T_{n_9} representa a temperatura mínima do ar (°C) do mês de Setembro (média das mínimas do mês) e T_{n_3} representa temperatura mínima do ar (°C) do mês de Março (média das mínimas do mês).

$$IF = T_{n_9} \quad \dots(2.3)$$

$$IF = T_{n_3} \quad \dots(2.4)$$

Índice de Seca (IS): É um índice climático vitícola que caracteriza o componente hídrico de uma região, fortemente relacionado com as características qualitativas da uva e do vinho. O IS foi adaptado (TONIETTO; CARBONNEAU, 1999); (TONIETTO; CARBONNEAU, 2004) a partir do balanço hídrico potencial do solo de Riou (RIOU *et al.*, 1994). Este informa a disponibilidade hídrica potencial do solo, levando em consideração a demanda climática em um vinhedo padrão, a evaporação em solo desnudo e a precipitação pluviométrica sem dedução do escoamento superficial do solo.

O cálculo do IS é feito segundo a Equação 2.5, onde W_o representa a reserva hídrica inicial útil do solo (mm), P representa a precipitação pluviométrica (mm), T_v representa a transpiração potencial do vinhedo (mm) e E_v representa a evaporação direta a partir do solo (mm). Para o hemisfério Norte, o IS é calculado no período de 1º de Abril a 30 de Setembro. Para o hemisfério Sul, o IS é calculado no período de 1º de Outubro a 31 de Março.

$$IS = W_o + P - T_v - E_v \quad \dots(2.5)$$

Calculados os três índices do sistema CCM é possível designar um grupo climático à região monitorada, onde neste grupo todas as regiões vitícolas apresentam a mesma classe de clima vitícola (formados pelas regiões que possuem a mesma classe de clima vitícola para os índices IH, IF e IS), como é mostrado na Figura 2.1.

A Figura 2.1 ilustra o agrupamento de 41 regiões vitícolas, analisando o posicionamento das regiões em relação aos 3 índices climáticos é possível fazer o agrupamento.

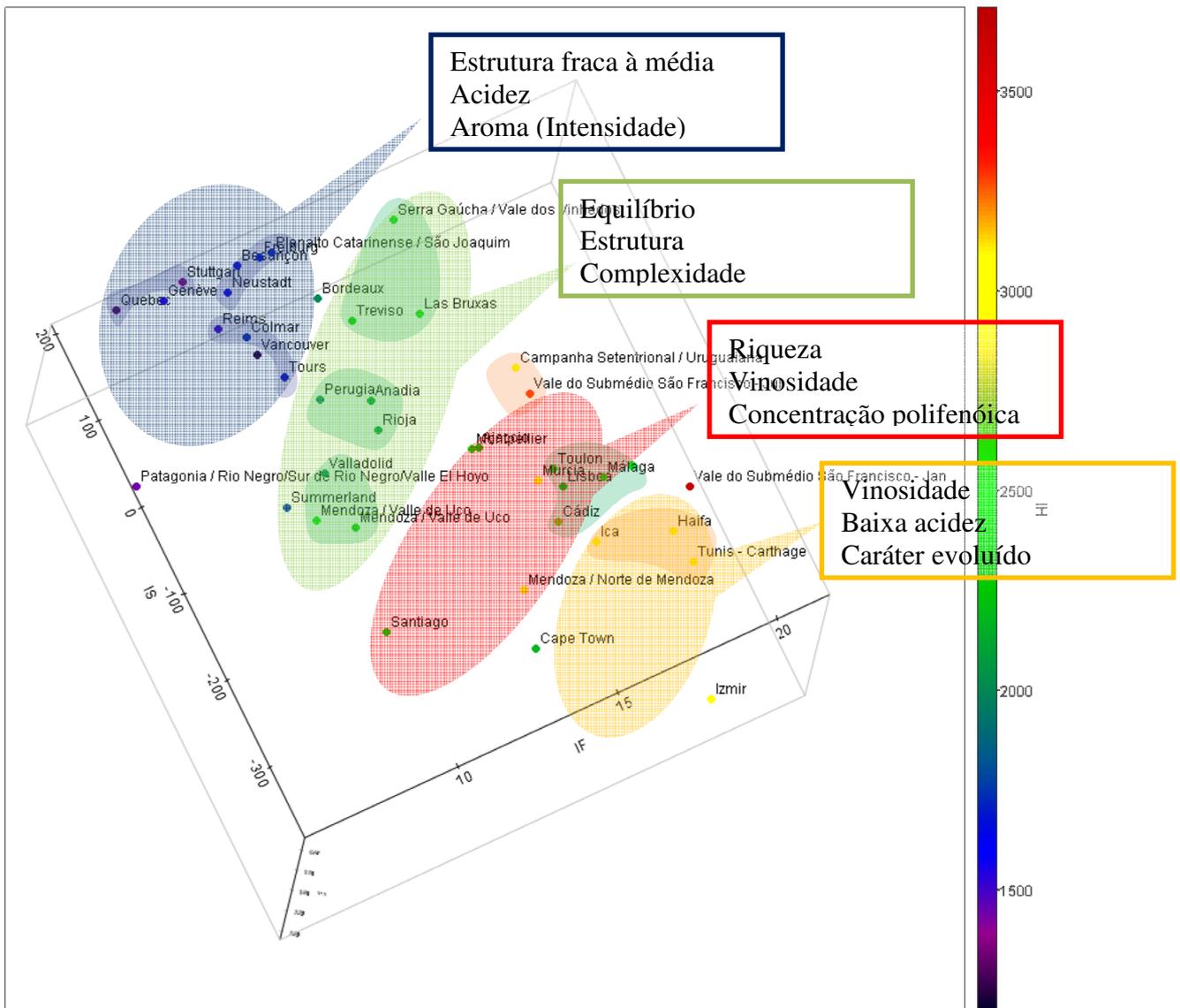


Figura 2.1 Grupos climáticos para os 3 índices climáticos (IS, IH, IF)

Os grupos climáticos indicam que existem certas características climáticas semelhantes entre as regiões. Entende-se que dentro de um grupo há maior homogeneidade em relação a outros grupos climáticos. Contudo, devido à grande variabilidade climática vitícola mundial, mesmo dentro de um grupo climático (e mesmo entre 2 regiões com o mesmos valores de IH, IF e IS) podem existir diferenças climáticas significativas entre regiões, resultante, por exemplo, dos diferentes tipos de clima das regiões (árido, mediterrâneo, continental, etc.), de diferentes latitudes, dentre outros aspectos. Para conhecer com maior detalhamento o clima vitícola das regiões pode ser importante também comparar a evolução dos índices climáticos IH, IF e IS ao longo do ciclo da videira, bem como associar

os mesmos aos fenômenos periódicos, como variações no clima, chuvas, estiagens e geadas, associados ao ambiente das diferentes culturas de uva nas distintas regiões (EMBRAPA UVA E VINHO, 2010)

Cada grupo compartilha resultados de variedades de uvas cultivadas, como grau de acidez, aroma e estrutura do parreiral. Podendo assim determinar a variedade de uva que mais se adéqua ao grupo. A Figura 2.1 mostra exemplos de grupos localizados em regiões distintas, mas com os índices climáticos IH, IS e IF parecidos, o que nos dá semelhanças nas características das uvas desse grupo.

Quando comparado com as outras com regiões, a característica diferencial das regiões de viticultura subtropical e tropical está na possibilidade de produzir uvas em diferentes períodos ao longo do ano ou mesmo fazendo colheitas mais de uma vez por ano. Nestes casos, os índices do sistema devem ser calculados para os diferentes períodos do ano nos quais se pode ter o ciclo vegetativo da videira. Normalmente, nestes climas, o ciclo da videira da brotação à colheita é mais curto, sendo recomendável ajustar os períodos de cálculo dos índices climáticos aos fenômenos periódicos de clima particulares da região em estudo.

2.4. Considerações Finais

Este capítulo apresentou parâmetros para monitoramento da produção vitícola. Dessa forma, pode-se perceber que fatores como o clima, as precipitações pluviométricas, a umidade e o vento interferem no desenvolvimento da planta. Destacou-se também que o sistema CCM visa classificar distintas plantações de uva, além de expor que o sistema objetiva comparar os plantios. Desta forma foi possível perceber, a partir desta classificação, que semelhantes fatores ambientais, mesmo em diferentes regiões, propiciam a produção de uvas com qualidade similar.

Computação Física

3.1. Considerações Iniciais

Para o desenvolvimento de uma microestação agrometeorológica deve-se procurar uma alternativa de baixo custo ao desenvolvimento convencional de softwares para computadores.

Este capítulo discute conceitos da nova área de pesquisa denominada computação física. Apresenta também uma das principais ferramentas para implementação da computação: o *Arduino*, sua IDE e placa de desenvolvimento. Também apresenta o Severino, que é uma alternativa de menor custo ao *Arduino*.

3.2. Computação Física

Hoje o computador está presente na vida da maioria da população, realidade esta construída em poucos anos. Esta revolução computacional, segundo O'Sullivan (2004), deixou grande parte das pessoas sem conhecimento básico necessário para operar o computador, pois não conseguiram acompanhar o rápido desenvolvimento desta tecnologia. Dessa forma ideias de fabricantes, como a da Apple Computer no ano de 1984, de construir “*The Computer For The Rest Of Us*” (computadores para o resto de nós) permitiu que pessoas

com pouco ou nenhum conhecimento de informática pudessem tirar proveito da computação graças a uma interface gráfica de usuário (GUI - *Graphical User Interface*) bastante intuitiva.

A ideia de que pessoas façam uso de um computador sem ter o conhecimento necessário para operá-lo, ou até mesmo façam uso de um computador sem estar cientes de que o que está sendo utilizado é um computador (MARWEDEL, 2003), nos remete a uma nova área de pesquisa derivada de sistemas embarcados denominada computação física.

A computação física tem por objetivo construir computadores que não só respondam a comandos de voz, teclado ou mouse, mas também que respondam a comandos do corpo humano, de sua personalidade, além de responder às características provenientes do ambiente em que vivemos (WEISER, 1991). Esta proposta pretende mudar o estereótipo de um computador pessoal constituído por tela, teclado e mouse para a forma física que seja mais adequada às nossas necessidades de computação. A abordagem da computação física não é oriunda da Inteligência Artificial (IA) que tenta imitar o pensamento humano, nem da robótica que é o equivalente físico para a IA, mas sim de uma abordagem diferente chamada Amplificação da Inteligência (AI) em que computadores capturam e transmitem, por exemplo, expressões de uma pessoa e informações de ambiente (O'SULLIVAN, 2004).

Antes de mudar o atual estereótipo de um computador, é preciso saber qual a necessidade dele tomar novas formas. Partindo desse pressuposto, é necessário compreender o ser humano, de modo que seja possível identificar sua gama completa de expressões, desde a sua expressão mais espontânea, até a mais deliberada de um ator treinado. Para tornar o computador um meio de expressão, é preciso que ele entenda, além das entradas comuns, todo o ambiente ao redor do usuário e o próprio usuário.

Sem um computador, pode-se pressionar um botão e acender uma luz. Com um computador, pode-se tornar a relação entre o botão e a luz mais complexa. Por exemplo, fazer a luz acender dependendo do número de vezes em que o botão foi pressionado, pelo tempo em que foi pressionado, ou se ele foi pressionado em conjunto com outros botões em outros cômodos ou em outros continentes. Pode-se fazer a luz acender após dois toques de tecla durante o dia, e depois apenas um toque de tecla durante a noite. Para fazer o computador estabelecer uma relação entre os eventos é necessário escrever programas de computador. A abordagem da Amplificação da Inteligência torna as relações entre os seres humanos e os computadores mais interessantes, e para a computação física os programas escritos para criar esta relação é relativamente simples.

Conceitualmente, computação física é a criação de uma conversa entre o mundo físico e o mundo virtual do computador. O processo de transdução, ou a conversão de uma forma de

energia em outra, é o que permite essa troca de informação entre os dois mundos (O'SULLIVAN, 2004). Parte do trabalho da computação física é desenvolver transdutores para converter a energia física utilizada por um projeto, para a energia elétrica utilizada pelo computador.

De forma geral, computadores são úteis porque fazem coisas interativas. Interativo é um termo difuso, e muitas vezes indevidamente utilizado. Segundo Crawford (2002), autor e programador de jogos, interatividade é o processo de ouvir, pensar e falar entre dois ou mais atores. A interação é o grande desafio dos projetos de computação física em que os atores são as características de um ambiente ou o homem, atuando com o computador, e o processo de ouvir, pensar e falar, pode ser entendido, em termos computacionais como entrada, processamento e saída.

Entrada e saída são as partes físicas da computação física. A terceira parte requer um computador para ler a entrada, tomar decisões com base nas alterações que lê e ativar saídas ou enviar mensagens para outros computadores. Esta parte, a transdução, é um dos princípios fundamentais por trás da computação física. Um exemplo clássico de transdutor é o microfone, que transforma as ondas de pressão sonora no ar em uma tensão elétrica variável.

Grande parte do desafio da computação física consiste em converter diversas formas de energia, como: luz, calor ou pressão, para energia elétrica que um computador possa entender. Na maioria das vezes é fácil encontrar o transdutor adequado para o trabalho, em outros momentos, é preciso programar a interação em um transdutor. De acordo com Banzi (2008), a computação física envolve o projeto de objetos interativos que podem se comunicar com seres humanos por meio de sensores e atuadores controlados por um comportamento implementado como um software executando dentro de um microcontrolador.

O microcontrolador é um dispositivo programável de tamanho reduzido comumente conhecido como um computador em um chip. É um dispositivo que reúne em um único circuito integrado (CI) diversos componentes de um sistema computacional como, unidade de processamento, memória, armazenamento, entrada e saída (I/O) e outros componentes que variam de acordo com o modelo do microcontrolador como conversor analógico digital, comparadores analógicos e PWM. Nos últimos anos, os microcontroladores têm se tornado mais baratos e fáceis de usar, permitindo a criação de melhores ferramentas (BANZI, 2008).

3.3. *Arduino*

O projeto *Arduino* (ARDUINO, 2005) iniciou-se na cidade de Ivrea, Itália, em 2005, objetivando a interação de computação física em projetos escolares, tendo um custo menor que outros sistemas de prototipagem disponíveis naquela época.

Arduino é uma ferramenta capaz de proporcionar a interação entre o mundo físico e o virtual. É um computador baseado numa plataforma simples de hardware livre, projetado com um microcontrolador e uma placa única, com suporte de entrada/saída embutido e um ambiente de desenvolvimento para escrever software para a placa com uma linguagem de programação padrão, C/C++. Segundo Mellis *et al.* (2007), o objetivo do projeto *Arduino* é criar ferramentas que sejam acessíveis, com baixo custo, flexíveis e fáceis de serem usadas.

Nas subseções seguintes são apresentados os componentes, a placa *Arduino* (hardware) e a *Arduino* IDE (software), que compõe o ambiente de desenvolvimento *Arduino*.

3.3.1. **Hardware *Arduino***

A placa *Arduino* (Figura 3.1) contém um microcontrolador Atmel AVR de 8 bits com componentes auxiliares para a programação e inclusão de outros circuitos. A disposição dos conectores é padronizada em todas as versões da placa, permitindo expandir a placa com outros módulos (*Shields*). A placa *Arduino* utiliza a série de chips *megaAVR* (ATMEL CORPORATION, 2010), os mais utilizados são: *ATmega8*, *ATmega168*, *ATmega328* e *ATmega1280*.

O microcontrolador utilizado pode ser previamente programado com *bootloader*, um programa gravado previamente no microcontrolador que gerencia a escrita na memória, isto simplifica o carregamento de programas para a memória *Flash*. Comparado com outros microcontroladores que necessitam de um programador externo, o *bootloader* facilita o envio do código compilado ao microcontrolador.

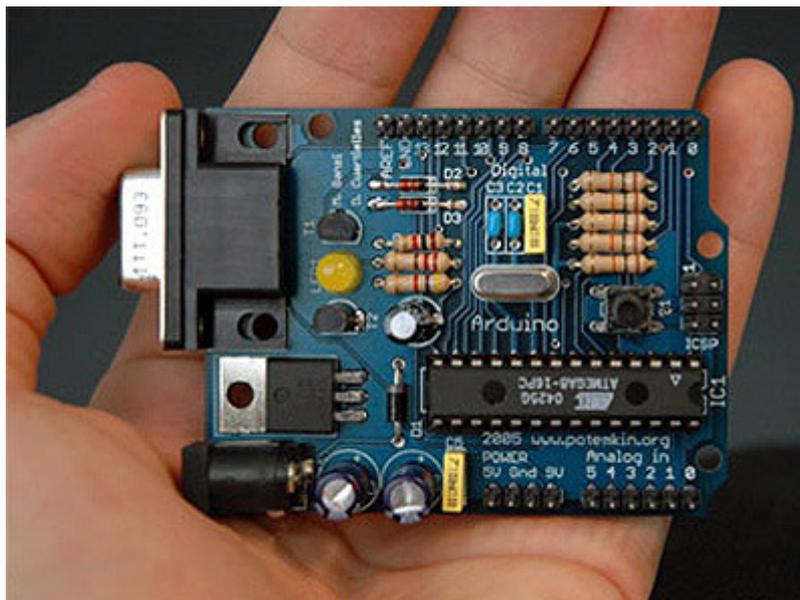


Figura 3.1 Uma placa Arduino serial com o microcontrolador ATmega8 removível, uma das versões originais do hardware Arduino (Mellis et al., 2007).

Quando o software *Arduino* é utilizado, a placa é programada através de uma conexão serial. Para a conexão serial, a placa *Arduino* contém um circuito para converter os sinais RS-232 e TTL. Outros métodos também podem ser utilizados para fazer a programação da placa, algumas placas *Arduino* podem ser programadas via USB, através de um chip adaptador *USB-para-Serial* como o FTDI FT232.

A maioria dos pinos de I/O dos microcontroladores é destinada para uso de circuitos externos. A versão *Duemilanove*, disponibiliza 14 pinos digitais, seis dos quais podem produzir sinais PWM (Modulação por Largura de Pulso), além de 6 entradas analógicas. Os pinos estão disponíveis através de conectores na placa.

O *Arduino* é uma plataforma de hardware livre que possui licença da *Creative Commons*. Sob a licença *Creative Commons*, todos estão autorizados a fabricar cópias da placa (Figura 3.2), redesenhá-la, ou mesmo vendê-la copiando seu projeto sem a necessidade do pagamento de licença ou solicitação de permissão à equipe *Arduino*. Entretanto, se for publicado o projeto de referência, deve-se dar crédito ao grupo *Arduino* original. Se alterar o esquema da placa o novo projeto deve usar a mesma licença *Creative Commons* ou similar, para garantir que as novas versões da placa *Arduino* serão livres e abertas.

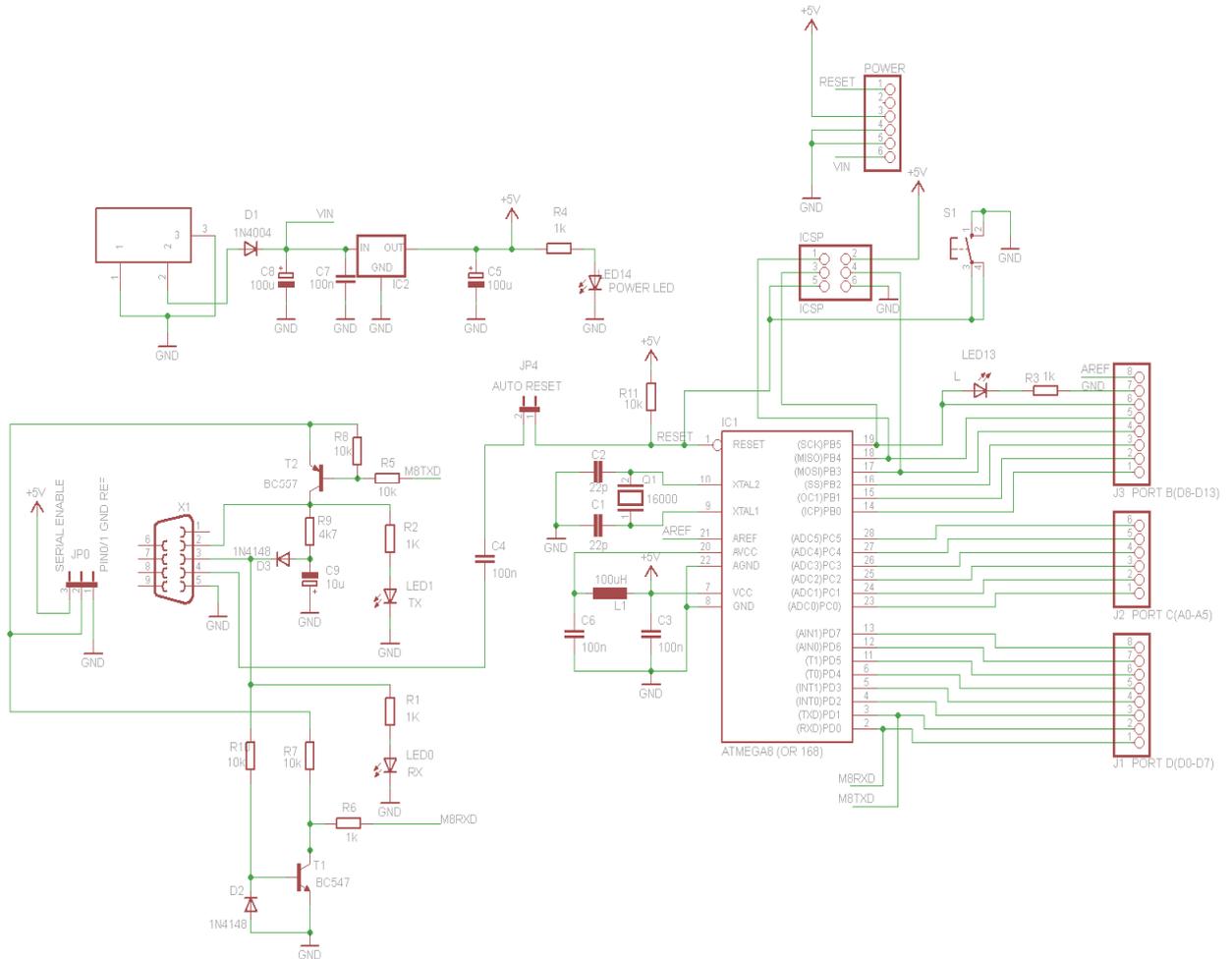


Figura 3.2 Esquema elétrico da placa Arduino (Hardware livre).

3.3.2. Severino

Visando ainda mais a redução de custos em projetos com *Arduino*, Adilson Akashi (AKASHI, 2007), remodelou a placa *Arduino* deixando-a com face única (isto é, todas as trilhas da placa estão em apenas um lado) e deu à placa o nome *Arduino Severino*¹ (Figura 3.3).

O projeto *Arduino Severino* tem como objetivo a rapidez no processo de confecção da placa e ao mesmo tempo o baixo custo da mesma. A placa de face única pode ser facilmente confeccionada de modo artesanal, imprimindo as trilhas em uma placa de fenolite e correndo a superfície com percloroeto de ferro. Seus componentes são simples, baratos e de fácil acesso no mercado nacional, ou seja, além da facilidade de montagem a placa final agrega um baixo custo de produção, tornando-a ideal em projetos nos quais se objetiva um produto final com valor reduzido.

¹ <http://www.Arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardSerialSingleSided3>

Outra vantagem é a localização dos componentes na placa, as portas de I/O, as entradas analógicas e os pinos para ICSP (*In-Circuit Serial Programming*) estão dispostos com o mesmo padrão da placa *Arduino*, permitindo que a placa *Arduino Severino* seja compatível com os *Shields* desenvolvidos para *Arduino*.

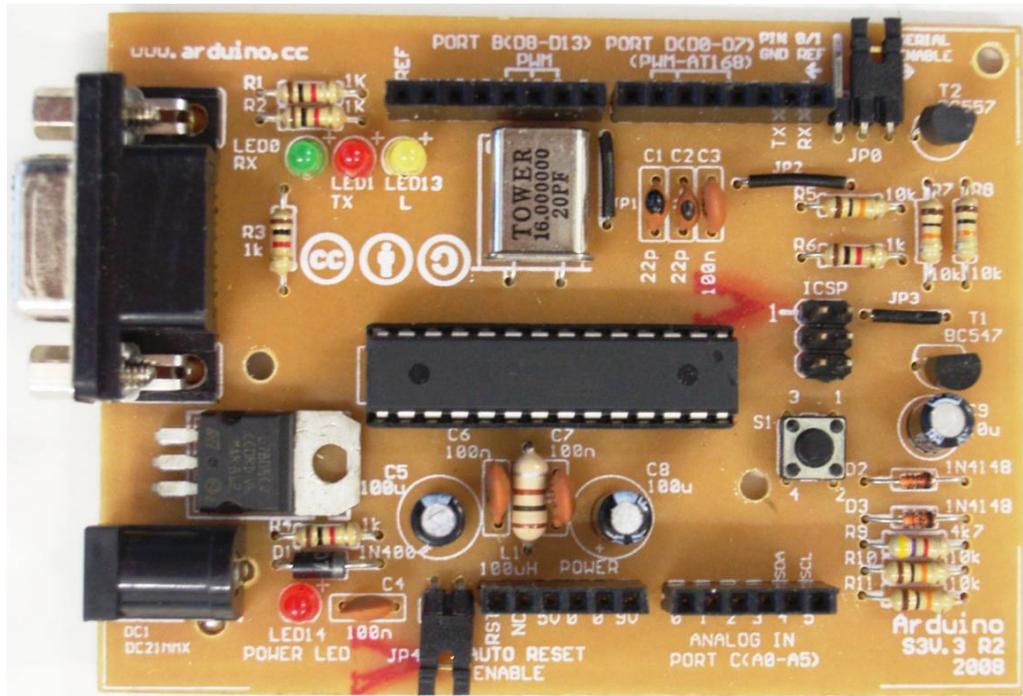


Figura 3.3 Placa Severino

3.3.3. Software *Arduino*

Segundo Mellis *et al.* (2007), a *Arduino IDE* (Figura 3.4) é uma aplicação multiplataforma escrita em Java, que é baseada nos projetos *Programma 2003* e *Wiring*. A IDE é intuitiva e facilita a programação para profissionais e hobbistas. É capaz de compilar e carregar programas para a placa com um único clique, utilizando *bootloader*.

```

/*
 * Blink
 *
 * The basic Arduino example. Turns on an LED on for one second,
 * then off for one second, and so on... We use pin 13 because,
 * depending on your Arduino board, it has either a built-in LED
 * or a built-in resistor so that you need only an LED.
 *
 * http://www.arduino.cc/en/Tutorial/Blink
 */

int ledPin = 13;           // LED connected to digital pin 13

void setup()               // run once, when the sketch starts
{
  pinMode(ledPin, OUTPUT); // sets the digital pin as output
}

void loop()                // run over and over again
{
  digitalWrite(ledPin, HIGH); // sets the LED on
  delay(1000);                // waits for a second
  digitalWrite(ledPin, LOW);  // sets the LED off
  delay(1000);                // waits for a second
}

```

Done compiling.

Binary sketch size: 1098 bytes (of a 14336 byte maximum)

22

Figura 3.4 Arduino IDE mostrando um exemplo de código simples para piscar um LED.

A IDE aceita programação em linguagem C/C++, e através de biblioteca chamada *Wiring*, permite criar com facilidade muitas operações de entrada e saída, tendo que definir apenas duas funções para fazer um programa funcional:

- *setup()* – Inserida no início, usada para inicializar configuração;
- *loop()* – Chamada para repetir um bloco de comandos ou esperar até que seja desligada.

A *Arduino* IDE usa o conjunto de ferramentas GNU e o *AVR Libc*, um pacote que fornece um subconjunto da biblioteca padrão C para microcontroladores RISC Atmel AVR de 8 bits, para compilar os programas, para depois, com o *avrdude* enviar os programas para a placa. *Avrdude* é um utilitário para fazer *download*, *upload* ou manipular o conteúdo da memória EEPROM e *Flash* de microcontroladores Atmel AVR utilizando ISP (*In-System Programming*). Através da tecnologia ISP pode-se programar microcontroladores já

instalados em um sistema completo, sem a necessidade de remover o chip para um programador externo.

3.4. Considerações Finais

A computação física nos remete a uma nova proposta sobre a funcionalidade dos computadores, visando incorporá-los em todos os locais de maneira que as pessoas interajam com o computador sem o conhecimento de informática. A plataforma *Arduino* torna a prática da computação física mais viável, uma vez que com essa ferramenta de baixo custo e funcional é possível a implementação destas novas funcionalidades.

Partindo do pressuposto de que um sistema de monitoramento ambiental para uso na agricultura é utilizado por agricultores que em sua maioria tem pouco ou nenhum conhecimento de informática, o planejamento do projeto aqui proposto deve incorporar os objetivos da computação física para o desenvolvimento de um sistema de fácil interação entre o homem e o computador, facilitando sua aceitação e o manejo pelos agricultores.

Sensores

4.1. Considerações Iniciais

Com base em conceitos do Sistema CCM Geovítica (EMBRAPA UVA E VINHO, 2010), e em entrevistas com viticultores, alguns sensores foram selecionados para classificação da uva, controle de irrigação, controle da aplicação de substâncias químicas, e prevenção de doenças e pragas.

Este capítulo discute fundamentos de sensores e detalha os tipos de sensores utilizados para o desenvolvimento do projeto.

4.2. Introdução aos Sensores

Sensores são dispositivos que convertem um fenômeno físico em um sinal elétrico. Dessa maneira, sensores representam parte da interface entre o mundo físico e o mundo de dispositivos elétricos, tais como computadores. A outra parte desta interface é representada por atuadores, os quais convertem sinais elétricos em fenômenos físicos (WILSON, 2005). Estes atuadores são em sua maioria controlados por microcontroladores. Devido à alta disponibilidade e custo variável (existem versões de baixo custo para a maioria dos sensores), os sensores propiciam um grande impacto sobre a concepção de sistemas embarcados. Todos

os microcontroladores precisam de tensões elétricas de entrada para receber instruções e informações, para tal, sensores produzem sinais elétricos em sua saída para a entrada dos microcontroladores. Este processo é ilustrado na Figura 4.1. Existem muitos formatos de sensores, no entanto não há um padrão internacional para especificações de sensores.

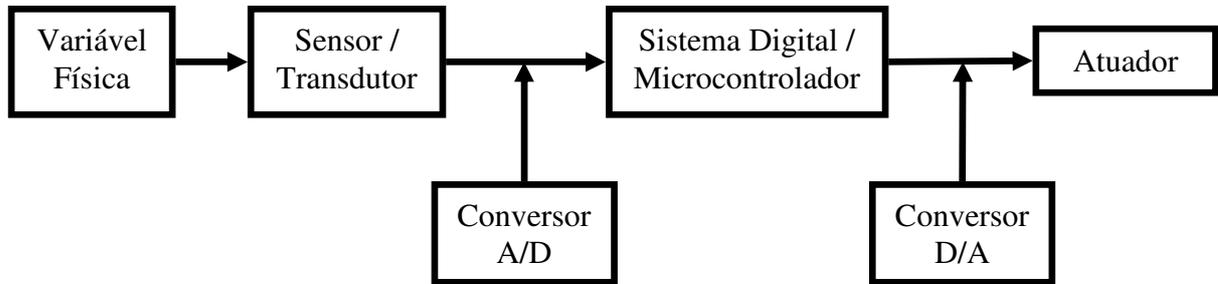


Figura 4.1 Integração entre sensores e atuadores.

4.3. Tipos de sensores

4.3.1. Sensores resistivos

Dispositivos resistivos obedecem a lei de Ohm (Equação 4.1), a qual afirma que a tensão entre seus terminais é igual ao produto da corrente que flui através dele, pelo valor da resistência do resistor (Figura 4.2). Estes dispositivos obedecem também que todas as correntes que entram em um nó de um circuito elétrico deixam esse mesmo nó. Em conjunto, estas duas regras são chamadas leis de Kirchhoff para Análise de Circuitos (HALLIDAY, 2002), e estas podem ser utilizadas para determinar as correntes e tensões ao longo de um circuito.

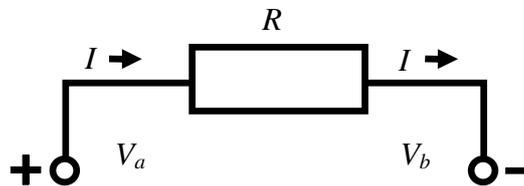


Figura 4.2 V , I e R , os parâmetros da lei de Ohm.

$$V_{ab} = IR \quad \dots(4.1)$$

Para o exemplo mostrado na Figura 4.3, esta análise é simples. Em primeiro lugar, é conhecido que a tensão sobre o resistor é igual ao valor da resistência vezes a corrente. Em

segundo lugar, nota-se que a queda de tensão em ambos os resistores (R_1 - R_s) é igual à soma das resistências vezes a corrente. Tomados em conjunto, é possível resolver as Equações (4.2) e (4.3) para a tensão na saída. A tensão de saída (V_{out}) é igual ao produto da tensão de entrada (V_{in}) pela resistência do sensor (R_s) dividido pela soma dos resistores (R_1) e R_s . E para R_1 muito maior que R_s , V_s é igual ao produto de V_{in} e R_s dividido por R_1 .

Esse procedimento geral é aplicável aos circuitos simples e complexos, para cada circuito, há uma equação para a tensão entre cada par de nós, e uma outra equação que define a soma das correntes que entram em um nó é igual a soma das correntes que saem do nó. É sempre possível resolver este conjunto de equações lineares para todas as tensões e correntes. Assim, uma maneira de medir a resistência é forçar que a corrente flua e medir a queda de tensão.

O circuito da Figura 4.3 é conhecido como divisor de tensão, muito utilizado para transformar a variação de resistência do sensor para determinada variação de tensão.

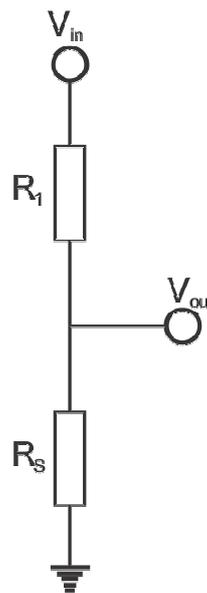


Figura 4.3 Circuito de sensor resistivo (Divisor de tensão).

$$V_s = \frac{R_s}{R_1 + R_s} V_{in} \quad \dots(4.2)$$

$$\text{para } R_1 \gg R_s, V_s = \frac{R_s}{R_1} V_{in} \quad \dots(4.3)$$

Um circuito de Ponte de *Wheatstone* (Figura 4.4) é uma melhoria em relação ao divisor de tensão. Também utilizada para medir uma resistência desconhecida, trata-se simplesmente do mesmo divisor de tensão da Figura 4.3, combinado com um segundo divisor

composto apenas por resistores de valores fixos. O ponto adicional deste circuito consiste em descobrir o valor da resistência desconhecida pela diferença de tensão entre os dois divisores de tensão.

A saída medida do divisor (nó B) e do divisor de referência (nó D) são as mesmas quando a resistência medida R_x tem o valor dos outros resistores R_1 , R_2 e R_3 , e as mudanças no valor da resistência medida R_x levam a pequenas diferenças entre estas duas tensões V_B e V_D . Um amplificador operacional (amplificador diferencial de alta performance) é utilizado para medir a diferença entre essas duas tensões e amplificar o resultado. As principais vantagens neste processo é que há muito pouco erro na tensão de saída do amplificador operacional, e que temperatura ou outros efeitos comuns em resistores são automaticamente compensados fora do sinal resultante.

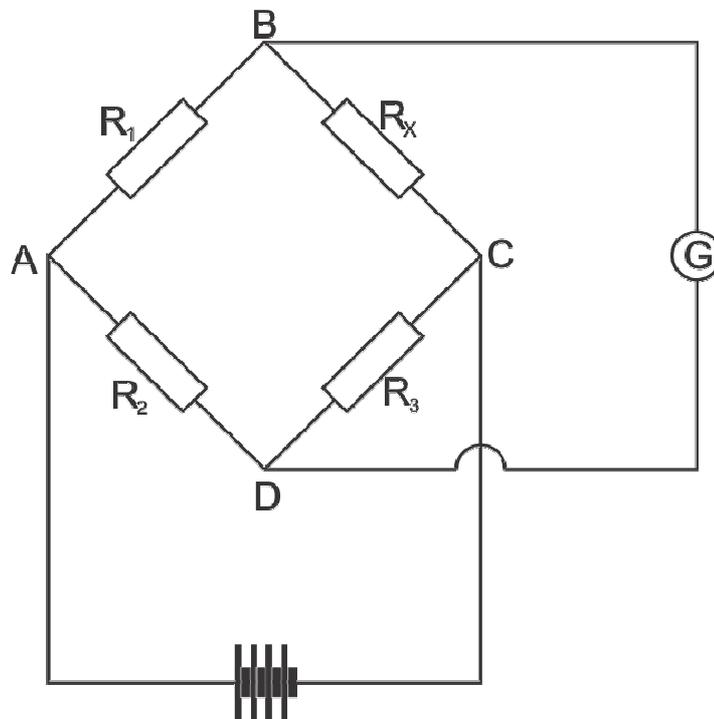


Figura 4.4 Ponte de Wheatstone.

4.3.2. Sensores capacitivos

Capacitância é uma propriedade elétrica que existe entre quaisquer dois condutores que são separados por um não condutor (HALLIDAY, 2002). O modelo mais simples para exemplificá-la pode ser ilustrado por duas placas de metal paralelas com um espaço entre elas preenchido por um material dielétrico. Quando utilizado como sensor capacitivo, o sensor é

uma das placas de metal. Este sensor mede as variações de capacitância entre o sensor e a outra placa de metal, criando um campo elétrico que alterna entre o sensor e o condutor de destino. A capacitância é influenciada por três elementos: os tamanhos das superfícies do sensor e do condutor de destino, a distância entre eles e o material dielétrico presente no espaço entre eles. Na maioria das aplicações, o tamanho do sensor e do condutor de destino não se altera (WILSON, 2005), ou seja, na maioria dos sensores o que altera a capacitância é o material dielétrico ou a distância entre os condutores.

Quando usado para medir materiais condutivos, a distância entre o sensor e o condutor de destino mantém-se constante e o material a ser sensoriado é passado através da abertura. Desta forma a distância é constante e a única variável de capacitância restante é o material da lacuna, o material condutivo medido. A saída do sensor vai mudar com alterações em espessura, densidade ou composição do material. Mantendo duas destas variáveis constantes, é possível medir a terceira, por exemplo, quando uma tira de plástico tem composição e densidade constantes, alterações na capacitância só podem indicar uma mudança em sua espessura.

Sensores sem contato

Sensores sem contato são aqueles que oferecem várias vantagens sobre outros sensores que mantêm contato com dispositivos, incluindo a capacidade de fornecer maior resposta dinâmica para movimentação de destinos, resolução de medição mais alta e a capacidade de medir pequenas peças frágeis. Sensores sem contato também são praticamente isentos de histerese, isto é, são isentos do erro que ocorre com contato em que o dispositivo sensoriado muda de posição. Com estes sensores não existe risco de danificar dispositivos frágeis por causa do contato com a sonda de medição.

Sensores sem contato são baseados em várias tecnologias, incluindo o campo elétrico, campo eletromagnético e luz/laser.

Um sensor capacitivo ou indutivo é composto por uma sonda ou ponta de prova, que é o dispositivo físico real, o qual gera um campo para o sensoriamento e um *driver*, ilustrado na Figura 4.5, ou seja, um dispositivo eletrônico que gera saída de tensão proporcional à medição (WILSON, 2005). Em alguns sensores, o *driver* está fisicamente integrado na sonda.

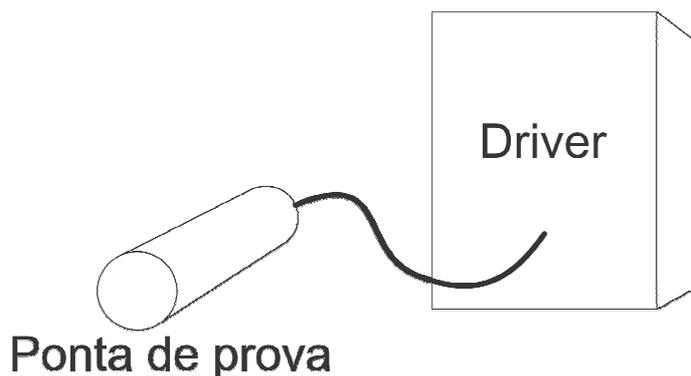


Figura 4.5 Sensor sem contato

Sensores capacitivos sem contato são dispositivos destinados à medição precisa da posição do condutor de destino ou espessura ou densidade de um material condutivo. Quando usado para sensoriar o condutor de destino, este não é afetado por alteração no material de destino. Este tipo de sensor sente a condutividade da superfície do destino, portanto a espessura do material não é um problema, mesmo um fino revestimento é um bom destino. Os sensores capacitivos são muito utilizados em unidades de disco, semicondutores e indústrias de precisão onde precisão e resposta de alta frequência são fatores importantes. Os sensores capacitivos sem contato para detectar não condutores são populares em indústrias de embalagens e outros setores para detectar etiquetas, espessura de revestimento, pintura e espessuras de papel.

Wilson (2005) afirma que os sensores capacitivos são conhecidos por resoluções em nanômetro, respostas em frequência de 20 kHz ou superior, e estabilidade de temperatura. Eles normalmente têm faixas de medição de 10 μm a 10 mm, embora em algumas aplicações, variações muito menores ou maiores podem ser alcançadas.

Os sensores capacitivos são sensíveis ao material no espaço entre os condutores. Por esta razão, eles não irão funcionar em um ambiente contaminado por líquidos pulverizados, pó ou lascas de metal. Em geral, o material que preenche o espaço entre os condutores é o ar.

4.3.3. Sensores Indutivos

Indutâncias são elementos essencialmente resistivos (HALLIDAY, 2002). A resistência de um indutor é esboçada pela Equação 4.4 e a mesma pode ser comparada com uma de qualquer outro elemento passivo em um circuito divisor ou em um circuito Ponte de *Wheatstone*, assim como ilustrado nas Figuras 4.3 e 4.4. Geralmente os sensores indutivos

demandam técnicas dispendiosas para a fabricação de sua estrutura mecânica. Circuitos construídos com menos recursos, via de regra, não são de muita utilidade. Em grande parte, isso ocorre porque normalmente os indutores são dispositivos tridimensionais, constituídos por um fio enrolado em torno de um núcleo.

$$X_L = 2\pi fL \quad \dots(4.4)$$

Sensores indutivos, também conhecidos como sensores de corrente de Foucault, são dispositivos utilizados para a medição, com precisão, da posição de um alvo condutivo sem o contato com o mesmo. Ao contrário dos sensores capacitivos, os sensores indutivos não são afetados por outros materiais no espaço entre o sensor e o elemento sensoriado. Os sensores indutivos são sensíveis ao tipo de elemento sensoriado. Alguns metais como cobre, alumínio, aço, entre outros, reagem de modos diferentes para o sensor, dessa forma, para um melhor desempenho, o sensor deve ser calibrado para o elemento correto.

De acordo com Wilson (2005) os sensores indutivos são conhecidos pela resolução nanométrica, altas respostas de frequência (80 kHz e superiores) e imunidade a contaminações na área de medição. Eles normalmente têm faixas de medição de 0,5 mm a 15 mm, embora em algumas aplicações, variações muito menores e maiores podem ser alcançadas. Pela sua tolerância a contaminação, o sensor indutivo é uma excelente opção para a operação em ambientes hostis.

Enquanto os sensores capacitivos usam um campo elétrico para a detecção da superfície sensoriada, os sensores indutivos utilizam um campo eletromagnético que penetra o alvo (Figura 4.6). Ao passar uma corrente alternada através de uma bobina, sensores indutivos geram um campo eletromagnético alternado. Quando este campo alternado entra em contato com o local esperado, pequenas correntes elétricas são induzidas no material alvo (correntes de Foucault). Essas correntes elétricas geram seus próprios campos eletromagnéticos, e esses pequenos campos reagem com o campo da sonda, de modo que um sistema eletrônico possa medí-los. Quanto maior a aproximação da sonda com o alvo, mais correntes de Foucault reagem com o campo da sonda e melhor se torna a medição.

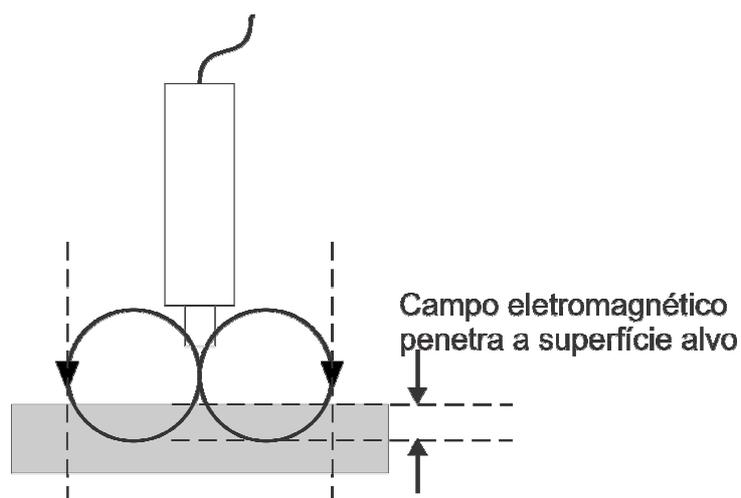


Figura 4.6 Sensor indutivo

Os sensores indutivos são influenciados por dois elementos: o tamanho da bobina na sonda e a distância entre a sonda e o material alvo. Como a bobina tem tamanho constante, a variação de campo eletromagnético é provocada pela variação da distância entre a sonda e o material alvo.

Devido à sua sensibilidade a mudanças de materiais, a corrente de Foucault também é utilizada para detectar rachaduras, emendas de solda e furos em materiais condutores.

4.4. Sistemas de Sensores

Pode-se definir um sensor como sendo um dispositivo o qual recebe um sinal ou um estímulo e que responde com um sinal elétrico, enquanto um transdutor é um conversor de algum tipo de energia em outro. Na prática, no entanto, os termos são frequentemente usados alternadamente.

Sensores e seus respectivos circuitos são utilizados para medir várias propriedades físicas tais como temperatura, força, pressão, fluxo, posição, intensidade da luz, etc. Essas propriedades funcionam como estímulo para o sensor, e a saída do sensor é condicionada e processada para fornecer medição correspondente à propriedade física.

4.4.1. Sensores ativos e passivos

Como há diferentes maneiras de classificar sensores, faz-se necessário classificá-los, do ponto de vista do condicionamento de sinal, como sensores ativos ou passivos. De modo geral um sensor ativo é aquele que requer um sinal externo de excitação. Tomando como base

os sensores resistivos, pode-se ilustrar como sensores ativos, os termistores, RTDs (detectores de temperatura resistivos) e extensômetros, haja vista que uma corrente deve ser passada através deles e a tensão correspondente medida para determinar o valor da resistência. Uma alternativa seria colocar os dispositivos em um circuito de ponte, no entanto, em ambos os casos, uma corrente externa ou tensão é necessária.

Por outro lado, os sensores passivos geram seu próprio sinal de saída elétrica sem a necessidade de tensões ou correntes externas. São exemplos de sensores passivos, os termopares e os fotodíodos que geram tensões termelétricas e fotocorrentes, respectivamente, que são independentes de circuitos externos. Nota-se que estas definições (ativo vs. passivo) se referem à necessidade (ou falta) de um circuito ativo externo para produzir o sinal de saída elétrica do sensor. Parece lógico considerar um termopar como um sensor ativo, haja vista que ele produz uma tensão de saída sem um circuito externo. No entanto, a convenção do setor industrial é classificar o sensor com relação à exigência de circuito externo (WILSON, 2005).

As saídas em larga escala da maioria dos sensores, passivo ou ativo, são relativamente pequenas voltagens, correntes, ou alterações na resistência e, portanto, seus resultados devem ser adequadamente condicionados antes do processamento. Devido a isto, toda classe de circuitos de condicionamento de sinal evoluiu (WILSON, 2005). Aspectos como amplificação, conversão tensão-corrente, conversão corrente-tensão, conversão carga-tensão, adaptação de nível e de impedâncias, linearização, isolamento galvânico, filtragem e conversão analógico-digital são funções fundamentais que podem ser necessárias ao condicionador de sinal.

4.5. Sensores de umidade

O termo umidade é definido como o conteúdo de vapor de água no ar ou em outros gases. É normalmente medido em termos de umidade absoluta, ou seja, a relação entre a massa de vapor de água para o volume de ar ou gás, em ponto de orvalho, isto é, a temperatura e pressão na qual um gás começa a condensar em um líquido, e em umidade relativa que pode ser considerado como a relação entre o teor de umidade do ar em relação ao nível de umidade saturado na mesma temperatura ou pressão.

A partir de estudos desenvolvidos recentemente atrelados a este fator atmosférico, tornou-se possível desenvolver sensores de umidade que são altamente precisos, duráveis e com boa relação custo-benefício. Os sensores mais comuns são os de condutividade

capacitiva, resistiva e térmica. As subseções a seguir discutem como cada tipo de sensor é construído e usado para medir a umidade.

4.5.1. Sensores Capacitivos de Umidade Relativa

Em sensores capacitivos de umidade relativa, a mudança na constante dielétrica é quase diretamente proporcional à umidade relativa do ar no ambiente. Esses sensores podem funcionar em altas temperaturas, são resistentes e capazes de se recuperar totalmente da condensação de vapores químicos (ROVETI, 2001).

Esses tipos de sensores, que utilizam termofixos à base de polímero, detectam diretamente alterações na umidade relativa como uma mudança na capacitância do sensor, com uma resposta rápida, alta linearidade, histerese reduzida e estabilidade.

4.5.2. Sensores Resistivos de Umidade

Segundo Roveti (2001), os sensores resistivos de umidade medem a variação de impedância. Eles, normalmente, têm uma relação exponencial inversa com a umidade (Gráfico 4.1). Para a mensuração são utilizados normalmente materiais que têm variação de sua impedância na presença de umidade, como por exemplo, o sal.

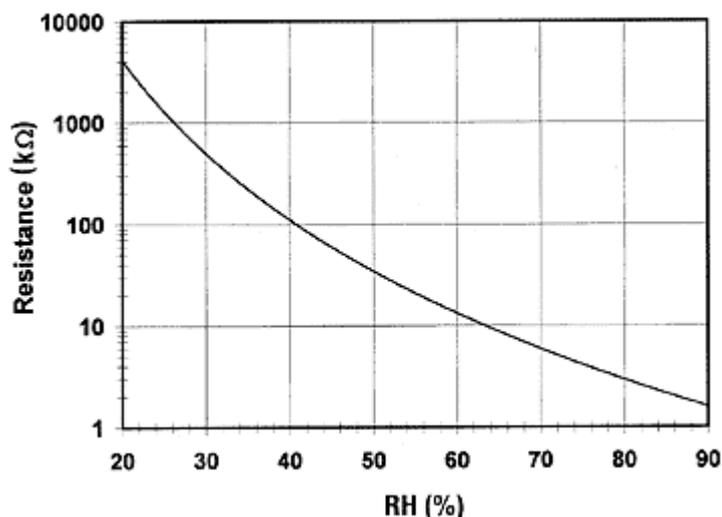


Gráfico 4.1 Valor de impedância em relação a variação de umidade (ROVETI, 2001).

Partindo do pressuposto que os materiais que têm variação em sua impedância, dada a presença de umidade, são solúveis, torna-se necessário que os sensores resistivos de umidade

relativa utilizem revestimento cerâmico para fornecer proteção ao material em ambientes onde ocorre condensação, para evitar a diluição do material.

4.5.3. Sensores de Umidade por Condutividade Térmica

Os sensores de umidade por condutividade térmica, também conhecidos como sensores de umidade absoluta, medem a umidade absoluta por meio do cálculo da diferença entre a condutividade térmica do ar seco e do ar que contém vapor de água (ROVETI, 2001).

Quando o ar ou algum gás está seco, este tem menor capacidade de preservar o calor. Por exemplo, o clima desértico que pode ser extremamente quente durante o dia, mas a noite perde calor rapidamente devido às condições da atmosfera seca. Em comparação, climas úmidos não esfriam tão rápido durante a noite porque o calor é retido pelo vapor de água na atmosfera.

Esse tipo de sensor é composto por dois termistores: um é hermeticamente encapsulado em nitrogênio seco e o outro é exposto no ambiente.

4.6. Sensores de temperatura

Os sensores de temperatura detectam uma mudança em um parâmetro físico, como resistência ou tensão de saída que corresponde a uma mudança de temperatura. Estes sensores são divididos em três famílias: eletromecânicos, eletrônicos e de resistência. As seguintes subseções discutem como cada tipo de sensor é construído e usado para medir a temperatura.

4.6.1. Eletromecânicos

Termostatos bimetálicos são exatamente dois metais diferentes unidos sob calor e pressão para formar uma única faixa de material. Ao empregar as taxas de expansão diferentes dos dois materiais, a energia térmica pode ser convertida em movimento eletromecânico (DESMARAIS, 2001).

O termostato bimetálico (Figura 4.7) usa uma lâmina bimetálica para abrir e fechar os contatos. A velocidade de abertura é determinada pelos metais selecionados e a taxa de mudança de temperatura do metal. Estes sensores também estão disponíveis em versões

ajustáveis. Ao girar um parafuso, uma mudança na geometria interna altera o ponto de ajuste de temperatura.

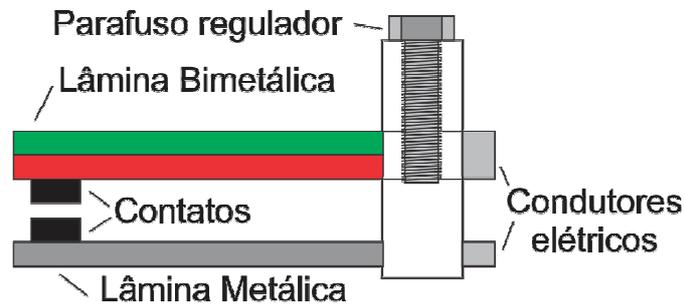


Figura 4.7 Termostato bimetálico.

4.6.2. Eletrônicos

Sensor de silício

Sensores de silício fazem uso da maioria das propriedades de resistência elétrica de materiais semicondutores. Estes sensores proporcionam um aumento quase linear da resistência em função da temperatura ou um coeficiente de temperatura positivo (PTC) (DESMARAIS, 2001).

Pirômetro Infravermelho

Todos os objetos emitem energia infravermelha (IR) desde que sua temperatura esteja acima do zero absoluto (0 K - zero Kelvin). Existe uma correlação direta entre a energia infravermelha que um objeto emite e sua temperatura. Pirômetros infravermelhos medem a energia infravermelha emitida por um objeto no comprimento de onda na ordem de 4 a 20 microns e convertem a leitura para uma tensão (WILSON, 2005).

Fatores que afetam a precisão do IR de sensores são: refletividade (a medida da capacidade de um material para refletir a energia infravermelha), transmissividade (a medida da capacidade de um material transmitir ou passar energia infravermelha) e emissividade (a relação medida entre a energia irradiada pela superfície de um objeto e a energia irradiada pela superfície de um irradiador perfeito). Wilson (2005) aponta que um objeto o qual tem uma emissividade de 0 é um refletor perfeito, enquanto um objeto com uma emissividade de 1 absorve toda a energia infravermelha aplicada a ele (emissividade 1,0 é chamada de "negra" e não existe no mundo real).

Termopar

Termopares incorporam dois condutores elétricos feitos de materiais diferentes que estão conectados em uma extremidade. Normalmente, eles são construídos em torno de condutores nus e isolados por cerâmica (Figura 4.8). A extremidade do condutor que será exposto à temperatura do processo é chamada de junção de medição. A outra extremidade, geralmente aquela onde os condutores se conectam ao dispositivo de medição, é chamada de junção de referência (DESMARAIS, 2001).

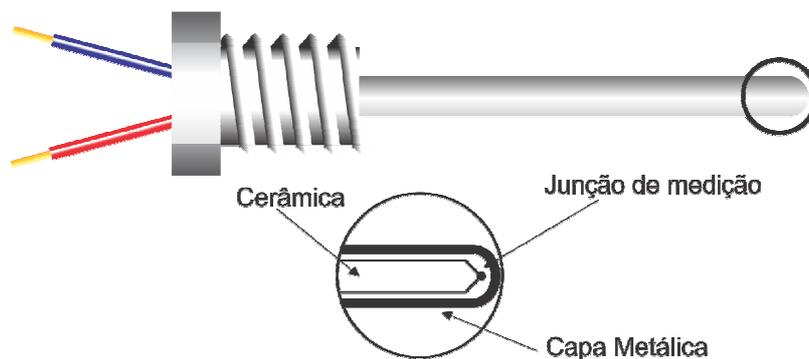


Figura 4.8 Termopar.

Quando as junções de medição e de referência de um termopar estão em diferentes temperaturas, uma diferença de potencial de milivolts é formada nos condutores. Sabendo o tipo de termopar utilizado, a magnitude do seu potencial de milivolts e a temperatura da junção de referência é possível determinar a temperatura na junção de medição.

4.6.3. De Resistência

Termistores ou resistores termossensíveis são dispositivos que alteram a sua resistência elétrica em relação à sua temperatura. Eles geralmente consistem em uma combinação de óxidos metálicos (DESMARAIS, 2001).

Existem dois tipos básicos de termistores: aquele com coeficiente de temperatura positivo (PTC), que exibe um aumento na resistência com o aumento da temperatura, e aquele com coeficiente de temperatura negativo (NTC), cuja resistência diminui com o aumento da temperatura. A mudança na resistência dos dispositivos NTC normalmente é bastante grande, fornecendo um alto grau de sensibilidade (WILSON, 2005).

4.7. Sensores de pluviosidade

Pluviômetros são instrumentos utilizados para a medição da quantidade de chuva, em milímetros, por metro quadrado. Geralmente são recipientes fracionados em que a medição é feita pelo volume de água dentro do recipiente.

Os sensores de pluviosidade são dispositivos digitais que realizam a medição da quantidade de chuva de forma automática. Neste tipo de sensor, a chuva entra em uma espécie de funil, caindo em uma caçamba basculante (Figura 4.9). Quando a caçamba enche, o peso da água faz o lado cheio da caçamba se mover para baixo esvaziando-a enquanto o lado vazio se ergue para ser cheio e retornar a caçamba à posição inicial. Esta ação da caçamba movimenta um ímã que aciona uma chave (*reed-switch*) que liga e desliga. Através do conhecimento da área da boca do funil, da quantidade de pulsos gerados pela chave e do volume de água que faz a caçamba encher é possível determinar o índice pluviométrico.

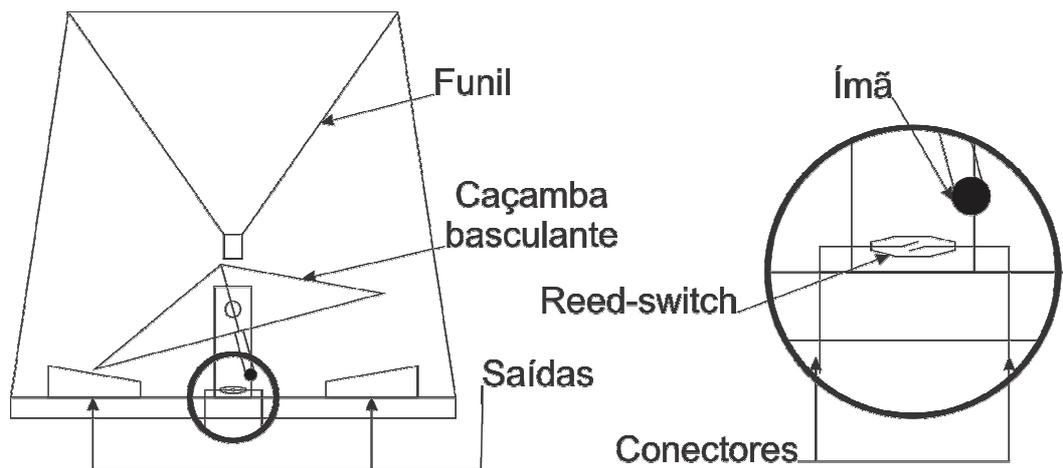


Figura 4.9 Pluviômetro Digital.

4.8. Sensores de luminosidade

Um fotoresistor é um resistor que varia sua resistência de acordo com a incidência de luz aplicada sobre ele. É conhecido como LDR (*Light Dependent Resistor*). O mecanismo de funcionamento do fotoresistor é chamado de fotocondutividade, que é a propriedade que certos materiais apresentam de se tornarem condutores pela ação da luz.

4.9. Sensor de velocidade do vento

Este sensor, conhecido como anemômetro de *Robinson*, quando impulsionado pelo vento faz girar suas três conchas hemisféricas. Um ímã ligado às conchas aciona um *reed-switch* a cada volta (Figura 4.10). A vantagem do anemômetro de *Robinson* é o alinhamento, o qual é independente da direção do vento.

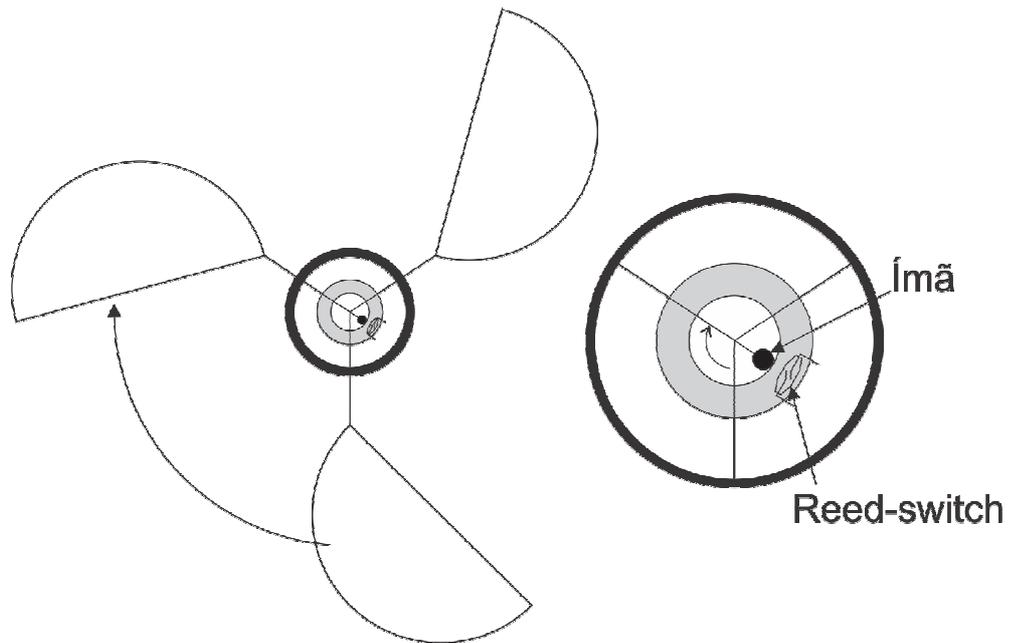


Figura 4.10 Anemômetro de Robinson.

4.10. Sensor de direção do vento

Um sensor de direção do vento deve retornar a direção cardinal do vento. Seu mecanismo de funcionamento é um potenciômetro multivoltas que age como divisor de tensão (Figura 4.11).

O que faz alterar a tensão de saída do potenciômetro é uma aleta fixada em seu eixo central. O vento movimenta a aleta que por sua vez movimenta o eixo do potenciômetro. A saída de tensão do sensor é dependente da posição da aleta.

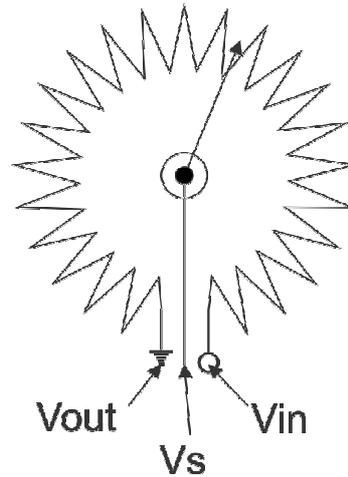


Figura 4.11 Potenciômetro.

4.11.Considerações Finais

Este capítulo apresentou os fundamentos de sensores que podem ser aplicados ao monitoramento vitícola. A partir dessa investigação foi possível determinar os sensores para serem utilizados no desenvolvimento do projeto. O sensor de temperatura do ar é utilizado na determinação do IH e do IF. Os sensores de umidade do ar e de pluviosidade são utilizados na determinação do IS e para a irrigação. O sensor de luminosidade é utilizado para a determinação do IF. O sensor de umidade do solo é utilizado na determinação do IS e para irrigação e os sensores de umidade foliar, velocidade e direção do vento são utilizados na prevenção de pragas e doenças.

5.1. Considerações Iniciais

As microestações agrometeorológicas precisam estar conectadas a um gerenciador para enviar as informações de microclima. Dessa forma, para realizar essa comunicação é utilizada a tecnologia *ZigBee*. Para contextualizar o sistema de comunicação das microestações, este capítulo discute a tecnologia *ZigBee*, o padrão *IEEE 802.15.4* e redes de sensores sem fio.

5.2. *ZigBee* e *IEEE 802.15.4*

ZigBee é uma nova tecnologia voltada para aplicações nas mais variadas áreas. Destinada a baixas taxas de transmissão de dados nos campos industrial, científico e médico. A tecnologia, baseada no padrão *IEEE 802.15.4*, tem se mostrado promissora para redes de sensores, monitoramento e controle (ERGEN, 2004). O nome *ZigBee* é derivado dos caminhos aleatórios que as abelhas seguem quando colhem o pólen, semelhante à maneira como os pacotes de dados se movem através de uma rede *mesh*.

O Padrão *IEEE 802.15.4* trata das operações em tecnologias de redes sem fio objetivando baixa taxa transmissão de dados em redes pessoais sem fio, conhecida como

Wireless Personal Area Network (WPAN). Assim, o padrão WPAN especifica um sistema de transmissão sem fio com as seguintes características: consumo de energia muito baixo para sistemas em que o tempo de vida da bateria é extremamente importante, baixa taxa de transmissão de dados e pequena complexidade no funcionamento.

Segundo Fuhr e Kagan (2006) *ZigBee/IEEE 802.15.4* é uma tecnologia sem fio de grande flexibilidade e baixo consumo de energia, ideal para aplicações que fazem uso de pouco volume e baixa velocidade de transmissão de dados. A Figura 5.1 ilustra uma comparação entre *IEEE 802.15.4* e outras tecnologias sem fio.

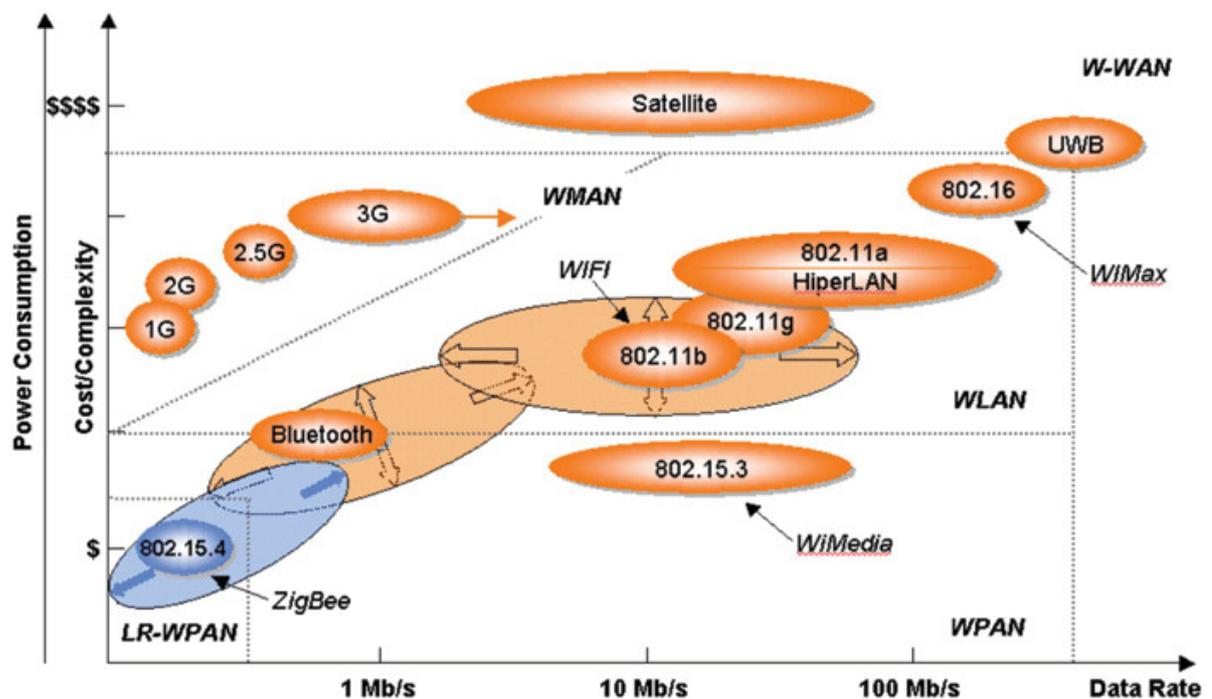


Figura 5.1 Uma visão geral dos padrões IEEE 802.xx (FUHR, P.; KAGAN, H., 2006).

A *ZigBee Alliance*, fundada em 2002 é uma associação sem fins lucrativos, de empresas que trabalham em conjunto para desenvolver padrões de monitoramento confiável, eficaz e de baixo consumo de energia em rede sem fio com base no padrão *IEEE 802.15.4*. (ZIGBEE ALLIANCE, 2007). Seu papel principal é padronizar o *ZigBee*, permitindo a inúmeros fornecedores OEM (*Original Equipment Manufacturer*) desenvolverem produtos compatíveis.

5.2.1. Camadas e protocolos

O grupo de trabalho *IEEE 802.15.4* define as duas primeiras camadas da pilha de protocolo: a camada física (PHY) e a camada de controle de acesso ao meio (MAC). A *ZigBee Alliance* define as camadas superiores da pilha de protocolos, a partir de rede para aplicativos, incluindo perfis de aplicação.

A Figura 5.2 ilustra a divisão das camadas do protocolo *ZigBee* entre o padrão *IEEE 802.15.4* e a *ZigBee Alliance*.

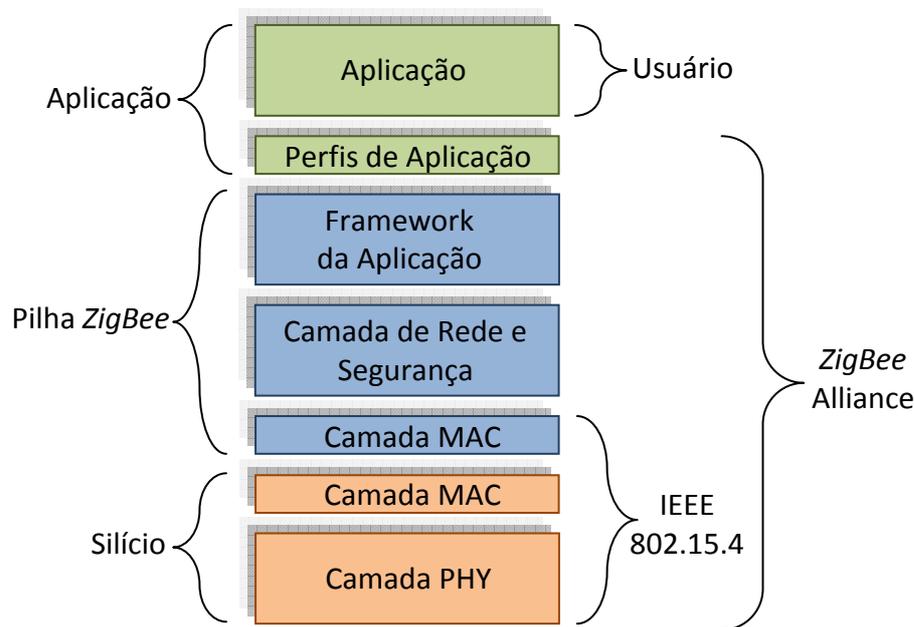


Figura 5.2 Camadas do padrão ZigBee/IEEE 802.15.4.

A camada PHY define a capacidade de operação do sistema em três frequências abertas: 2,4 GHz, 915 MHz (Américas) e 868 MHz (Europa). Em 2,4 GHz há 16 canais disponíveis com taxa máxima de transferência de 250 kb/s, para 915 MHz, 10 canais de frequência com taxa máxima de 40 kb/s e em 868 MHz apenas um canal com taxa de 20 kb/s. As técnicas de modulação variam de acordo com a banda utilizada. Embora o método *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS) seja usado em todos os casos, as bandas 868 MHz e 915 MHz são baseadas em chaveamento por mudança de bifásica (BPSK), enquanto que em 2,4 GHz usa-se modulação por chaveamento de fase em quadratura com *offset* (OQPSK) (*IEEE 802.15.4*, 2003).

Responsável pela transmissão e recepção de dados por meio do canal de comunicação por radiofrequência (RF), a camada PHY inclui outras características como: detecção de

energia (*receiver energy detection*), indicação da qualidade do enlace (*link quality indication*) e detecção do canal vazio (*clear channel assessment*) para o protocolo CSMA-CA da camada MAC. O tamanho máximo do pacote é de 128 bytes. *IEEE 802.15.4* emprega endereços de 64 e 16 bits suportando mais de 65.000 nós por rede (*IEEE 802.15.4*, 2003).

A camada física também fornece dois serviços: o *PHY data service* e o *PHY management service*. O *PHY data service* permite a transmissão e recepção de *PHY protocol data units* (PPDU) através do canal físico. O *PHY management service* é utilizado para transportar comandos entre a *MAC Layer Management Entity* (MLME) e a *Physical Layer Management Entity* (PLME) para a comunicação entre as camadas (*IEEE 802.15.4*, 2003).

A camada MAC também permite associação e dissociação de rede, possui uma estrutura de *beacons* (os *beacons* são pacotes de controle que delimitam quadros utilizados pelo coordenador para sincronizar com os demais dispositivos da rede) para a sincronização de tempo e um mecanismo de intervalo de tempo garantido (GTS - *Guaranteed Time Slot*) para comunicações de prioridade. O método de acesso é o protocolo de acesso múltiplo por detecção da portadora com anulação de colisão (CSMA-CA) (*IEEE 802.15.4*, 2003). A camada MAC foi projetada para permitir múltiplas topologias com baixa complexidade e baixo consumo de energia, também permite que um dispositivo de função reduzida opere na rede sem a necessidade de grande quantidade de memória disponível (*IEEE 802.15.4*, 2003).

5.2.2. Topologias

A rede *ZigBee* é formada por diferentes componentes. Segundo especificações do *IEEE*, há dois tipos de dispositivos em uma rede *ZigBee*: FFD (*Full Function Device*) e RFD (*Reduced Function Device*). Dispositivos FFD funcionam em toda a topologia do padrão, podendo assumir três modos de operação: *coordinator*, *router* e *end device*. Podem comunicar-se com qualquer outro dispositivo (FFDs ou RFDs). Trata-se de dispositivos de construção mais complexa, cujos custos são maiores quando comparados aos RFD (*ZIGBEE ALLIANCE*, 2007).

Dispositivos RFD são limitados à topologia em estrela, não podendo atuar como *coordinator*. Podem comunicar-se apenas com dispositivos FFDs. São dispositivos de construção mais simples e de menor custo. Qualquer rede *ZigBee* deve ter ao menos um dispositivo coordenador.

Há três tipos de topologia que podem ser utilizadas no *ZigBee* (Figura 5.3). Na topologia em estrela, a comunicação ocorre diretamente entre o coordenador e qualquer outro

dispositivo da rede. No início da comunicação, o coordenador escolhe uma identificação única que não será usada por outro membro da rede que estiver dentro da mesma área de cobertura de rádio. Na topologia malha ou *mesh* existe também um coordenador, mas qualquer dispositivo dentro do alcance da rede pode comunicar-se com outro. A rede pode auto-organizar-se. A topologia árvore é um caso especial da malha em que a maior parte dos dispositivos é do tipo FFD, e os do tipo RFD são as folhas.

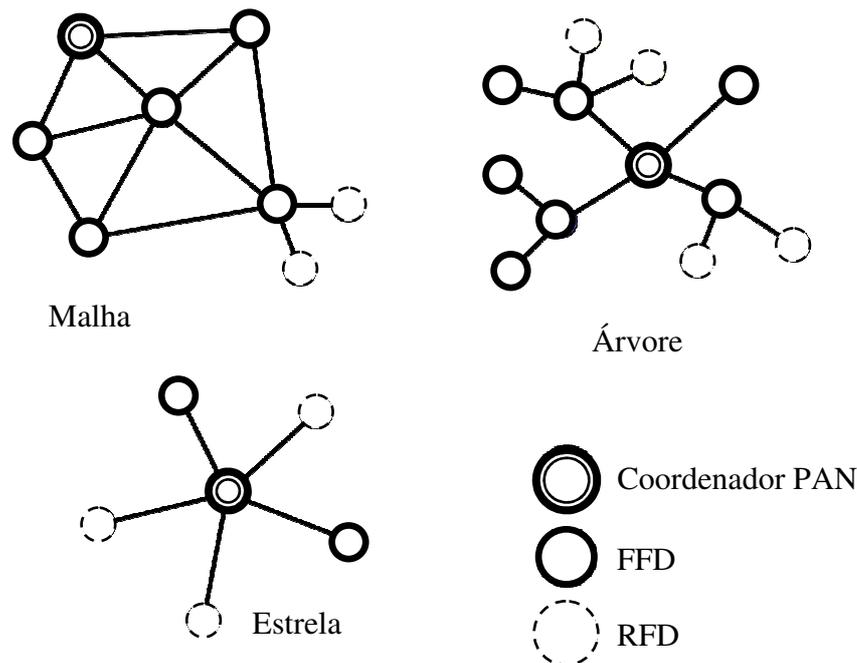


Figura 5.3. Topologias do ZigBee

5.3. Redes de sensores sem fio (RSSF)

“Redes de sensores sem fio têm sido viabilizadas pela rápida convergência de três tecnologias: microprocessadores, comunicação sem fio e micro sistemas eletromecânicos (MEMS - *Micro Electro-Mechanical Systems*)” (LOUREIRO *et al.*, 2002). Uma RSSF é formada por dispositivos autônomos chamados de nós sensores, que podem ser usados, por exemplo, para monitorar e controlar um ambiente. Os principais componentes de um nó sensor são: transceptor para comunicação sem fio, fonte de energia, unidade de sensoriamento, memória e processador. Cada nó possui pouca capacidade de processamento e de energia, mas que juntos formam uma poderosa rede, podendo realizar tarefas complexas.

Diferindo das redes de computadores tradicionais em vários aspectos, em geral, as RSSFs possuem um grande número de elementos distribuídos, operam sem intervenção

humana direta, têm restrições severas de energia, e devem possuir mecanismos para autogerenciamento, devido à deposição em áreas remotas, à pouca capacidade individual dos nós e à topologia dinâmica.

Fatores como tolerância a falhas, escalabilidade, custo de produção, ambiente operacional, topologia, restrições de hardware, meio de transmissão e consumo de energia, influenciam o projeto de uma RSSF, exigindo requisitos específicos na concepção e projeto dos nós.

5.3.1. Caracterização das Redes de Sensores Sem Fio

Uma RSSF pode ser caracterizada em função de seu objetivo e área de aplicação. A aplicação influenciará nas tarefas desempenhadas pelos nós da rede, assim como na arquitetura desses nós (processador, memória, dispositivos sensores, fonte de energia, transceptor), no número de nós que compõem a rede, na distribuição inicialmente planejada para a rede, no tipo de topologia dos nós no espaço, na escolha dos protocolos da pilha de comunicação, no tipo de dado que será processado, no tipo de serviço que será fornecido e no tempo de vida dessa rede.

Segundo Ruiz (2003), as RSSFs podem ser classificadas segundo a configuração (ver Tabela 2 no Apêndice A), o sensoriamento (ver Tabela 3 no Apêndice A) e segundo o tipo de comunicação (ver Tabelas 4 e 5 no Apêndice A). Uma RSSF também pode ser diferente segundo o tipo de processamento que executa (ver Tabela 6 no Apêndice A).

Qualquer utilização das RSSFs deve levar em consideração os requisitos da aplicação que será desenvolvida, as características e restrições dos componentes dos nós sensores, assim como as características do ambiente onde tais redes serão aplicadas. Existem nós sensores que, dadas as suas dimensões, taxa de transmissão e alcance, por exemplo, são ideais para uma aplicação e totalmente inapropriados para outras. Em outros casos, nós que parecem adequados a um tipo de aplicação no que diz respeito ao hardware apresentam limitações quanto ao software que se quer utilizar.

5.4. Considerações Finais

Com base nas investigações sobre *ZigBee/IEEE 802.15.4* e redes de sensores sem fio, é possível determinar a tecnologia utilizada para a comunicação entre as microestações

agrometeorológicas, que juntas formam uma RSSF para o monitoramento e coleta de informações meteorológicas.

Trabalhos Relacionados

6.1. Considerações Iniciais

Este capítulo apresenta alguns trabalhos pertinentes ao tema a fim de contextualizar a proposta do presente trabalho.

6.2. *i-Farm*: a empresa agrícola inteligente

O projeto *i-Farm* (AGRI-CIÊNCIA, 2007), desenvolvido em Portugal, tem como base a integração de soluções móveis, redes de sensores, comunicações sem fios e imagens aéreas, no contexto de exploração agrícola, formando um sistema de informação que fornece serviços, no campo ou no escritório, para auxiliar o processo de tomada de decisão do empresário agrícola em tempo real, considerando variáveis ambientais, sanitárias, econômicas, etc. Esta integração de soluções materializa-se no conceito de *i-Farm*, (i de inteligente).

Este modelo de agricultura de precisão² utiliza tecnologias como: Sistemas de Informação Geográfica (SIG), Sistemas de Posicionamento Global (GPS), Detecção Remota, Tecnologias de Taxa Variável³ (VRT), Sensores, Telecomunicações e Sistemas de apoio à tomada de decisão.

Segundo Castro Neto (2008), o conceito de agricultura de precisão tem, geralmente, dois objetivos principais: o aumento da renda dos agricultores e a redução do impacto ao meio ambiente causado pela atividade agrícola. O primeiro objetivo pode ser alcançado por dois caminhos: a redução dos custos de produção e o aumento da produtividade. A execução do segundo objetivo está relacionada com o controle da aplicação de produtos na produção (principalmente produtos químicos), que deverá ser feita nas medidas exatas das necessidades das plantas.

Para a aplicação do modelo de *i-Farm* foi selecionada a viticultura, uma cultura que nas análises prospectivas de viabilidade técnica e econômica, num contexto de competitividade global, tem sido apontada como importante área a ser explorada pela agricultura portuguesa.

Com a execução deste projeto foi instalada uma unidade de demonstração em um parreiral, da região do Alentejo, Portugal. Esta unidade de demonstração integra as várias funcionalidades, acessíveis em um único ponto de acesso na Web, incluídas de forma modular no sistema de informação.

O projeto possui sensores de monitoramento sem fios que fazem a coleta de informação alfanumérica, imagens e vídeo. Sensores de informação de contexto ambiental e edafoclimático que capturam dados de temperatura do ar, temperatura da superfície do solo, umidade relativa do ar, umidade do solo, radiação solar, velocidade do vento e precipitação. Fito-sensores para a coleta de dados de molhamento foliar, fluxo de seiva, variação do diâmetro do tronco, temperatura da folha e dimensão do fruto.

Foram também desenvolvidos assistentes pessoais digitais que fazem a integração das capacidades de comunicação para a coleta de informação em campo. Todas as unidades de demonstração possuem cobertura sem fio para a coleta em tempo real dos dados monitorados, e para o controle remoto na atuação sobre determinados aspectos do cultivo das culturas

² Agricultura de precisão consiste na disponibilização no mercado, de forma permanente e contínua, de soluções com elevada incorporação de tecnologias de informação e comunicação que promovem a coleta e disponibilização dos mais diversos tipos de dados no nível da exploração agrícola (CASTRO NETO, 2008).

³ VRT é uma tecnologia que permite a variação de taxas de aplicação de fertilizantes, semeadura, preparo e aplicação de produtos. A taxa é alterada de acordo com um mapa predefinido ou através de informações recolhidas por meio de sensores.

envolvidas, por exemplo, o controle de irrigação ou a intervenção localizada de determinada operação fitossanitária.

O projeto também faz uso de um VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) que faz a coleta de imagens aéreas para viabilizar a análise da hidrografia, de problemas fitossanitários e do grau de maturação.

As informações coletadas pelas redes de sensores podem ser utilizadas para aumentar a produção, reduzir aplicações de produtos químicos, fertilizantes, água, etc. e promover uma agricultura mais sustentável, além de assegurar aos consumidores finais maior segurança e qualidade alimentar.

6.3. CERERE (*Crop and Environmental wiREless monitoRing System*): a WSN for Agricultural and Environmental Control

Este projeto consiste em um sistema de monitoramento ambiental que pretende ser completo para as necessidades do produtor, fácil para o agricultor usar, e barato em relação a outras estações comerciais disponíveis no mercado. Este utiliza rede de sensores sem fio (RSSF).

O principal objetivo é criar uma solução com uso de tecnologias baratas, como *Arduino* e *XBee*. Este projeto propõe uma solução prática, uma aplicação real de uma RSSF para atingir o objetivo (UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PAVIA, 2008).

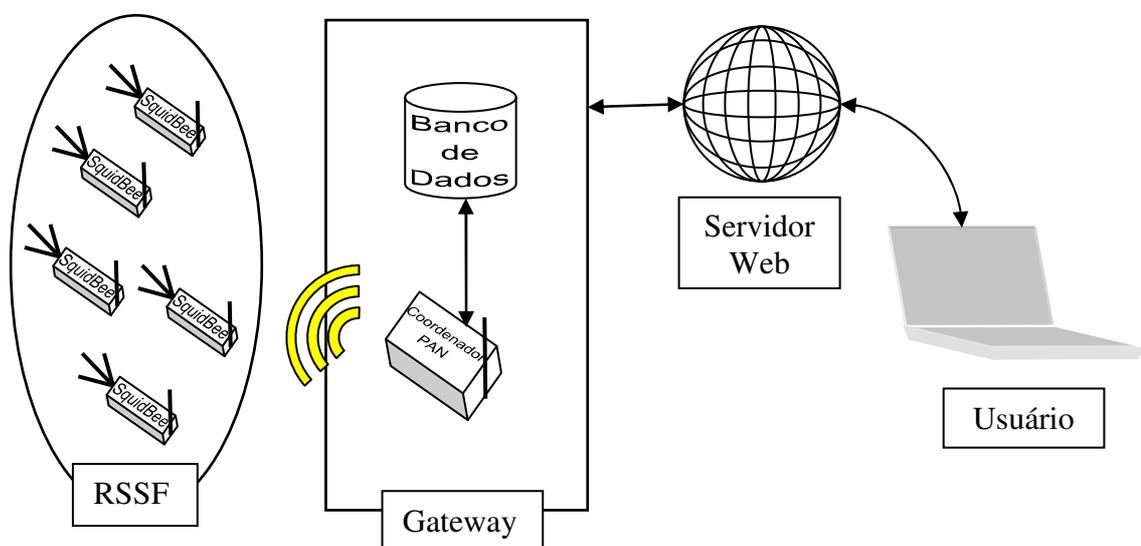


Figura 6.1 Funcionamento do sistema CERERE

Conforme De Stefani (2008), a RSSF utiliza nós Squidbee (LIBELIUM, 2008), normalmente equipados com sensores de temperatura, umidade e luminosidade. A rede desempenha um papel importante na preservação do meio ambiente, reduzindo o consumo de água e fornecendo alertas precoces de geada ou danos causados pela alta temperatura, por meio da análise dos dados provenientes dos sensores.

O sistema permite gerenciar e monitorar a situação da RSSF utilizando apenas um navegador Web. Para isso, os dados são armazenados em um nano Koala PC (Coordenador PAN) executando Linux com sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD) relacional executando no *gateway* (Figura 6.1). Instantaneamente os dados podem ser visualizados em um mapa por meio de uma combinação com a base no *Google Maps* ou um aplicativo GIS. Além disso, os dados podem ser exportados para uma planilha ou para XML.

Pode-se dizer que o objetivo de construir uma RSSF, para controle e monitoramento da agricultura foi alcançado neste projeto, embora haja alguns aspectos a melhorar, como a funcionalidade e a segurança do sistema, adicionando criptografia à transmissão.

O sistema não possui nenhum mecanismo de economia de energia e o aplicativo da Web oferece funções básicas. O sistema não trata da segurança em redes de sensores, que é um problema crítico a ser resolvido. Um invasor pode, sem muita dificuldade, interceptar dados enviados pelos nós, ou pior, fazer a adulteração de dados. A manipulação dos dados pode ocorrer de várias maneiras, por exemplo: o atacante pode substituir um nó por outro que envia dados falsos ou pode alterar fisicamente os sensores.

Todo o software desenvolvido pelo projeto está disponível gratuitamente e é liberado sob a licença GNU / GPL.

6.4. *The Weather Station Project*

O projeto canadense *Weather Station* (HISCOCKS, 1994) consiste em um laboratório de eletrônica e instrumentação no qual os alunos aprendem a desenvolver o sistema eletrônico de uma estação meteorológica, estudando a medição de propriedades físicas relacionadas ao clima.

O curso tem o objetivo de ensinar ao aluno como projetar um sistema utilizando componentes analógicos e microprocessadores; como desenvolver circuitos que necessitam de cuidados na seleção de componentes, aterramento e blindagem; ganhar experiência em calibração e verificação do desempenho de um sistema analógico; projetar e construir

software para um sistema embarcado. E unindo estes conhecimentos, o aluno adquire capacidade de projetar e desenvolver uma estação meteorológica.

6.5. *Wireless Weather Station*

O projeto *Wireless Weather Station* (WASINGER, 2001) foi desenvolvido com o intuito de prover uma estação meteorológica instalada no quintal, para regiões onde as condições do clima mudam drasticamente pela ocorrência de trovoadas, depressões tropicais, tornados, tempestades, linhas de instabilidade, frentes estacionárias, frentes frias do Canadá, ar quente e úmido do Golfo e furacões.

É composto por uma estação remota e uma estação base. A primeira é suprida por energia solar e é ativada uma vez por minuto para coletar e transferir dados. A estação base recebe e armazena os dados de entrada e, em seguida, os transfere através de uma conexão RS-232 a um PC, para processamento. Em cada uma das estações há um sistema embarcado, bem como uma placa de circuito separado de RF. Na estação remota, o sistema é acrescido de duas seções funcionais, os sensores e o fornecimento de energia.

6.6. *The NAV System: A wireless sensor network for precision viticulture*

O projeto *NAV System* (*Network Avanzato per il Vigneto* – Rede Avançada para Parreiral) (MATESE, *et al.*, 2009) é uma rede de sensores sem fio projetada e desenvolvida com o objetivo de monitorar remotamente em tempo real e coletar parâmetros de microclima em um parreiral. O sistema inclui uma estação agrometeorológica base (Unidade *Master*) e uma série de nós periféricos sem fio (Unidades *Slave*), localizados no parreiral.

Segundo Matese, *et al.* (2009) a Unidade Master é uma central de monitoramento colocada fora da vinha em um local protegido para coletar dados agrometeorológicos. A Unidade Master utiliza uma tecnologia sem fio, transmissão de rádio à 433 MHz, para comunicação e transmissão de dados com as Unidades *Slaves* e o servidor remoto. As Unidades *Slaves* são estações da vinha equipadas com sensores agrometeorológicos de monitoramento ambiental, que armazenam e transmitem dados para a Unidade Master.

Matese, *et al.* (2009) diz que o objetivo deste trabalho é o acompanhamento de variações de microclima em um parreiral em tempo real. O sistema *NAV* é desenvolvido com

base em uma análise econômica de custos a fim de realizar uma comparação com os sistemas comerciais.

O fornecimento de energia é feito através de painéis solares e baterias oferecendo grande flexibilidade ao sistema.

O sistema *NAV* pode ser utilizado para uma gama de aplicações na agricultura, em que o monitoramento em tempo real de parâmetros agrometeorológicos é necessário. Pode definir um limiar de alerta para risco de geada, alertando a exigência de irrigação. Também pode detectar condições meteorológicas que possam favorecer doenças na cultura (MATESE, *et al.*, 2009).

6.7. Considerações Finais

Há diversos trabalhos correlacionados, com aplicações tanto no contexto de pesquisa e ensino quanto no contexto comercial. Todos eles levam em conta o monitoramento de variáveis ambientais aplicado, em geral, ao controle de áreas agrícolas.

Monitorar o ambiente tem várias finalidades, dependendo do escopo de uso que se pretende seguir. A primeira finalidade é a pesquisa científica, o ato de obter informações detalhadas sobre o ambiente ajuda a melhor compreensão dos fenômenos naturais e artificiais. Outra finalidade é prevenir desastres naturais, por exemplo, seria possível alertar as pessoas em caso de chances de deslizamento de encostas de estradas. Outra meta é o controle de parâmetros ambientais, como a verificação da qualidade da água de um rio ou um lago e detecção de substâncias tóxicas dispersas no solo.

Ainda, uma outra aplicação é na agricultura de precisão, que é uma forma de agricultura que usa recursos tecnológicos para viabilizar a análise de vários fatores para obter uma boa colheita. A agricultura de precisão consiste em um contínuo monitoramento em campo com sensores, imagens de satélite, GPS, etc. Por exemplo, ela fornece informações ao agricultor que permitem que ele saiba quando e quanto regar as plantas.

A agricultura de precisão propicia vantagens significativas em vários aspectos:

- **Econômico:** Com a viabilização do controle eficiente de produção é possível elevar a qualidade e a produtividade das propriedades, o que contribuirá para uma melhor classificação do produto e, futuramente, a implementação da rastreabilidade e certificação da produção.

- Social: Como consequência da redução de custos de produção em função do melhor planejamento de produção, é possível ter melhoria de renda e da qualidade de vida dos agricultores.
- Ambiental: O uso de tecnologia propicia contribuições significativas em termos de planejamento estratégico de produção ocasionando a redução do uso de defensivos agrícolas, reduzindo o impacto ambiental.
- Científico (Acadêmico): A disponibilização de informações precisas sobre as condições favoráveis ao ataque de pragas e doenças, viabiliza o desenvolvimento de técnicas mais apuradas de combate a agentes nocivos às culturas.

Desenvolvimento e Resultados

7.1. Considerações Iniciais

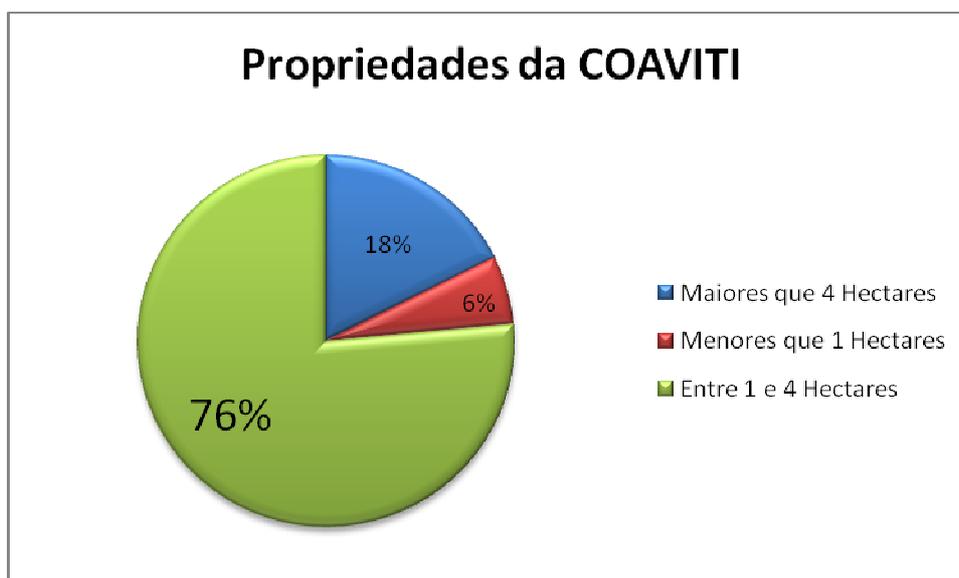
Este capítulo apresenta o desenvolvimento do presente trabalho, detalha o modelo de sistema computacional integrado de apoio à agricultura familiar focado para viticultura e apresenta os resultados obtidos a partir da implementação deste modelo.

7.2. Estudo da região

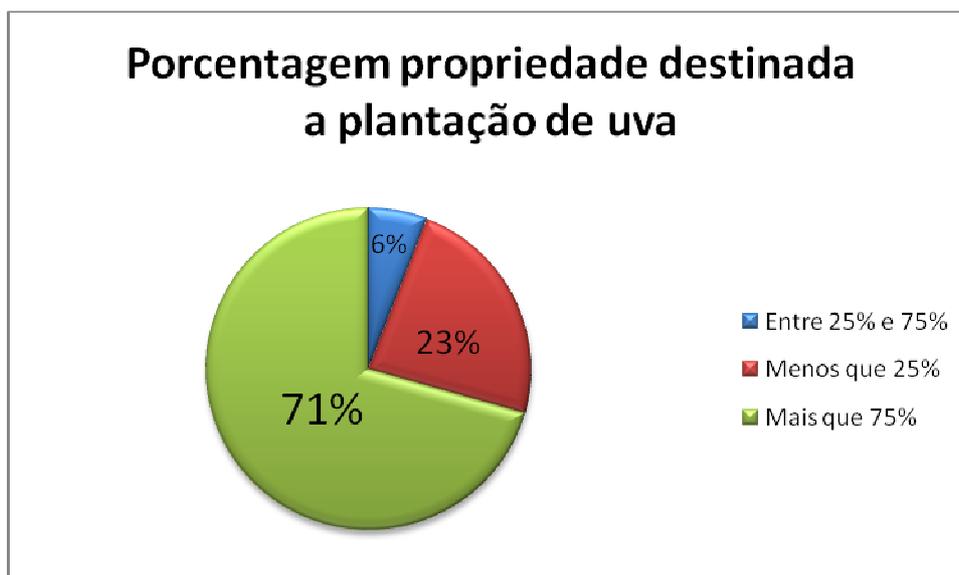
Levando em consideração o crescente potencial da fruticultura na economia brasileira e sua importância na rentabilidade de pequenos produtores, já que propicia lucros relativamente altos em pequenas áreas de plantação, e procurando estimular o cultivo da uva, o presente projeto focou tal cultura visando, além dos resultados de pesquisa, a melhoria do cultivo da uva da COAVITI (Cooperativa Agroindustrial dos Viticultores). A cooperativa está localizada na cidade de Marialva, situada na região noroeste do Paraná, que apresenta grande potencial para a fruticultura dada as características de clima e solo favoráveis.

As propriedades dos cooperados da COAVITI têm em média de 1 a 4 hectares (Gráfico 7.1), em que 71% dos produtores destinam mais de 75% de sua propriedade para

plantação de uva (Gráfico 7.2). Essa área total reservada para plantação de uva é dividida em pequenos parreirais retangulares de aproximadamente 100m² nos quais são cultivadas variedades de uva de vinho e de mesa. A COAVITI tem como meta produzir, por ano, 30 mil litros de vinhos tinto, branco e rose, provenientes de espécies Niágara, Isabel, Bordô e Itália.



Gráfico 7.1 Distribui o das áreas das propriedades da COAVITI.



Gráfico 7.2 Porcentagem da propriedade destinada à viticultura.

A fim de compreender a região alvo do projeto, foi realizado um estudo da região onde estão localizados os parreirais, determinando sua localiza o geográfica (ver Tabela 7.1) e

disponibilizando em pontos em um plano (Figura 7.1) para elaboração da topologia e determinação da forma de transmissão de dados da rede de comunicação. A região é uma planície, portanto não há obstáculos tão grandes como montanhas para dificultar a comunicação da rede.

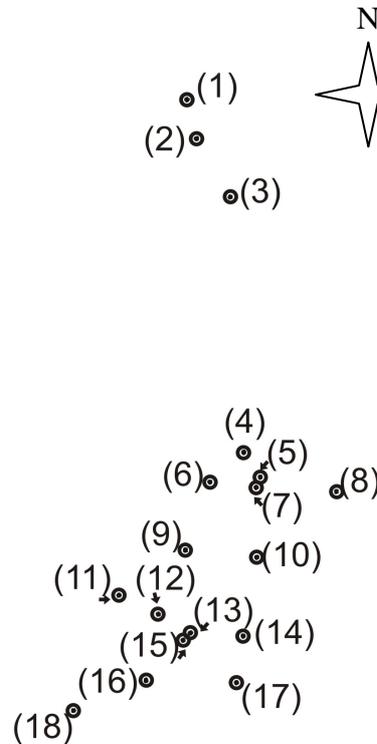


Figura 7.1 Disposição topográfica das plantações da COAVITI. Pontos referentes às suas respectivas localizações geográficas no plano (ver Tabela 7.1). Escala 1:250000.

7.3. Modelo do Sistema de Monitoramento

O presente projeto tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema computacional integrado de apoio à agricultura familiar focado na viticultura (Figuras 7.2 e 7.3). O sistema consiste no conjunto de microestações agrometeorológicas que fazem a leitura de sensores que monitoram a plantação. Estas microestações agrometeorológicas são dotadas de dispositivos de comunicação sem fio e juntas formam uma rede, que continua funcionando e se adapta a situações de maneira dinâmica, como, por exemplo, caso uma microestação seja excluída ou inserida na rede.

Os dados coletados são previamente armazenados em um cartão SD contido na microestação e em tempos periódicos pré-determinados são enviados a outro dispositivo

denominado gerenciador da rede (Figura 7.2). O gerenciador da rede, também dotado do mesmo dispositivo de comunicação sem fio, é responsável por fazer a gerência da rede, receber os dados agrometeorológicos de todas as microestações de sua rede e por meio de acesso à Internet, é responsável pela transferência das informações para o banco de dados do sistema onde estarão armazenados os dados de todas as redes de microestações.

Tabela 7.1 Localização geográfica dos parreirais da COAVITI.

Plantações de uva da COAVITI			
	Latitude	Longitude	Altitude
1	23°20'40.58" S	51°49'19.37" O	552m
2	23°21'28.18" S	51°49'08.36" O	551m
3	23°22'39.10" S	51°48'26.80" O	549m
4	23°27'44.68" S	51°48'14.14" O	590m
5	23°28'14.91" S	51°47'52.95" O	607m
* 6	23°28'19.93" S	51°48'56.32" O	585m
7	23°28'27.68" S	51°47'57.93" O	589m
8	23°28'33.78" S	51°46'15.15" O	567m
9	23°29'41.72" S	51°49'29.68" O	521m
10	23°29'50.61" S	51°47'58.88" O	596m
11	23°30'35.30" S	51°50'57.17" O	479m
12	23°30'57.52" S	51°50'06.54" O	560m
13	23°31'20.70" S	51°49'24.81" O	511m
14	23°31'25.55" S	51°48'17.20" O	546m
15	23°31'29.21" S	51°49'35.86" O	527m
16	23°32'18.04" S	51°50'24.35" O	481m
17	23°32'20.53" S	51°48'26.69" O	563m
18	23°32'52.94" S	51°51'59.29" O	489m

***Localização da sede da COAVITI**

Quando as microestações estão fora do alcance do gerenciador da rede, o coletor de dados manual faz o papel de coletar os dados das microestações e enviá-los ao sistema Web (Figura 7.3).

Por meio de um sistema Web integrado ao banco de dados, os produtores poderão consultar os dados agrometeorológicos de suas propriedades em tabelas e gráficos, como também compará-los com os dados de outras propriedades da região.

O sistema de monitoramento deve funcionar de maneira semiautônoma, ou seja, ter pouca ou nenhuma interferência humana durante a coleta dos dados meteorológicos, assim como ter baixo custo de produção, e pouca manutenção, viabilizando ao pequeno produtor que não tem conhecimento na área de tecnologia de informação e comunicação, um sistema barato e de fácil manejo e que possa agregar valor ao produto final.

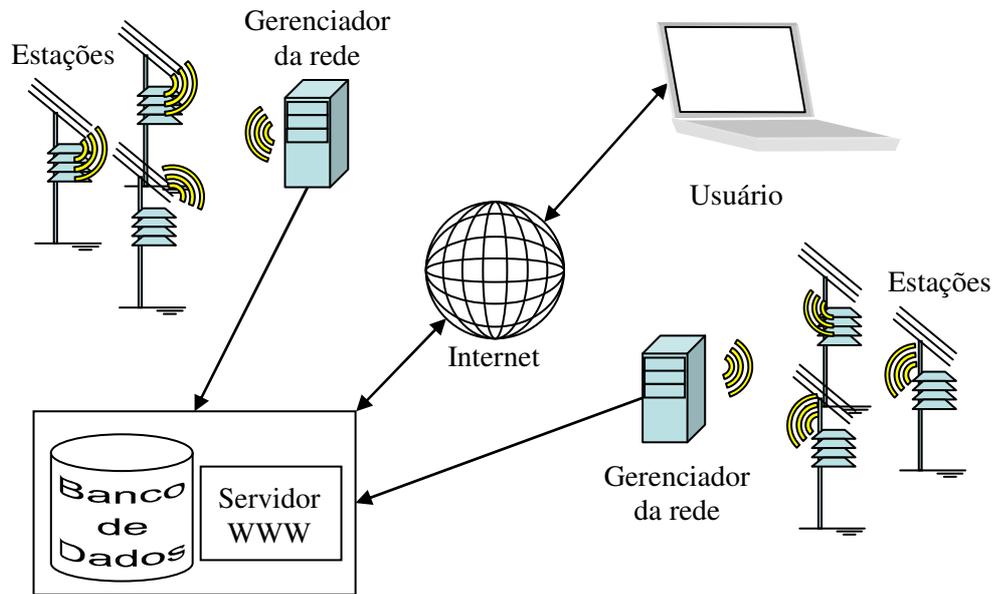


Figura 7.2 Visão geral do sistema com gerenciador da rede.

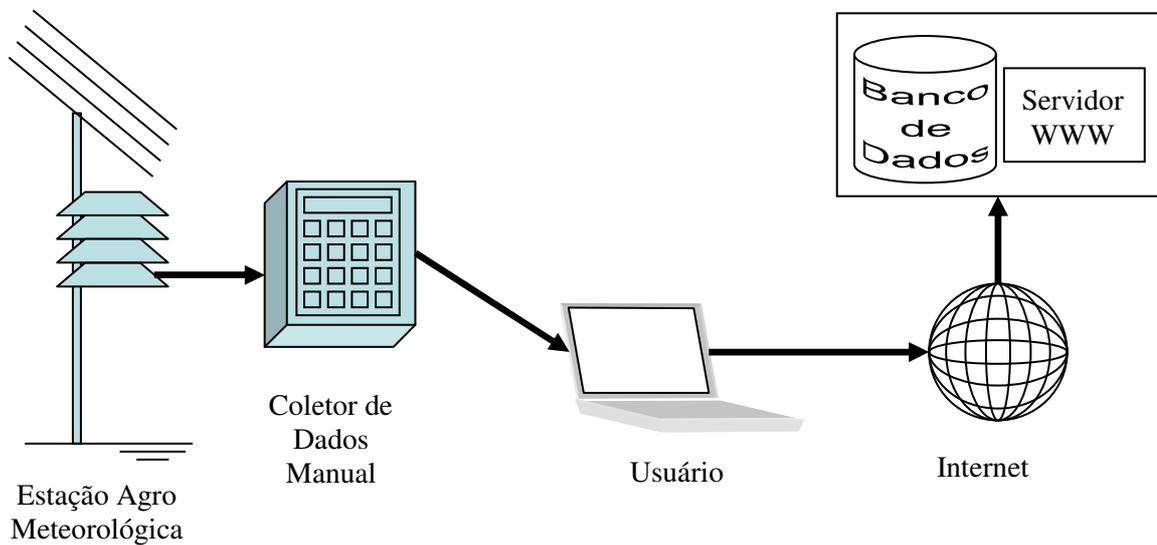


Figura 7.3 Visão geral do sistema com coletor de dados manual.

Utilizando a COAVITI como alvo para aplicação, o sistema visa oferecer uma base de dados com informações agrometeorológicas aos agricultores e, que a partir das informações oferecidas os agricultores possam elaborar o planejamento adequado do manejo e cultivo da cultura da uva, e colher todos os benefícios advindos do uso dessa tecnologia de apoio.

As subseções seguintes discutem detalhes do projeto, desenvolvimento e uso da microestação agrometeorológica, do gerenciador da rede, do coletor de dados manual e do sistema Web.

7.3.1. Microestação agrometeorológica

A microestação é construída sob a plataforma *Arduino* (ARDUINO, 2005), um conjunto de hardware e software *open source* composto por um ambiente de desenvolvimento e uma placa microcontrolada. Nela estão conectados: relógio, dispositivo de armazenamento, dispositivo de comunicação sem fio e os sensores, que fazem o monitoramento do microclima (Figura 7.4).

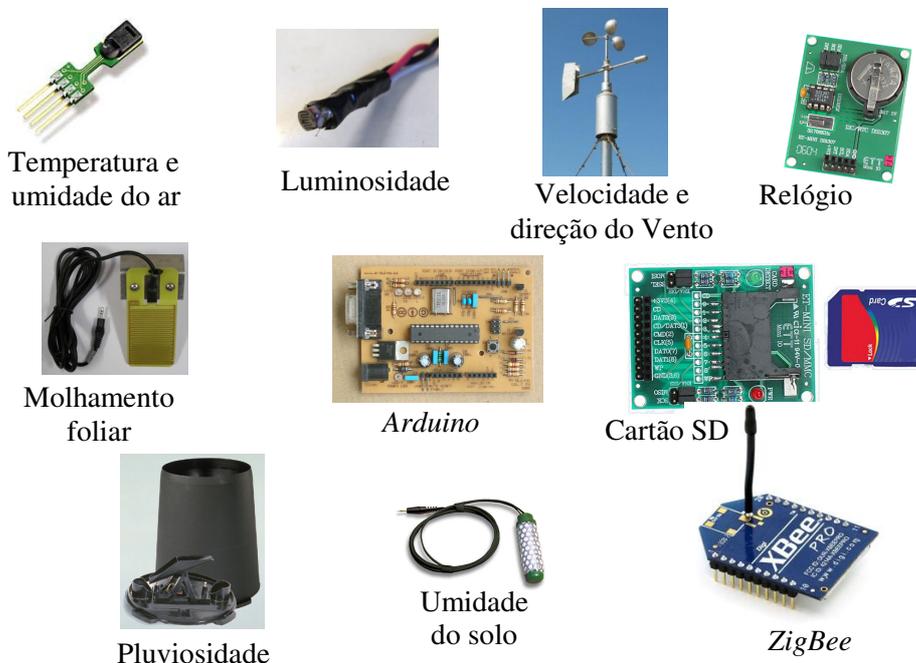


Figura 7.4 Componentes da microestação

Os sensores coletam informações sobre temperatura e umidade do ar, umidade do solo, velocidade e direção do vento, pluviosidade e luminosidade, os quais, de acordo com Tonietto e Mandelli (2003), são elementos meteorológicos importantes a serem monitorados e também suficientes para a classificação da uva segundo o sistema CCM Geovitícola (EMBRAPA UVA E VINHO, 2010).

Além desses sensores foi incluído o sensor de molhamento foliar, este que foi adicionado ao projeto por decisão tomada em reuniões com os cooperados, em que foram adquiridas informações relevantes para a sua inclusão, a ser utilizado para a prevenção de doenças fúngicas como o míldio.

O código do sistema embarcado da microestação é escrito em linguagem C, compilado e enviado para a placa por meio da *Arduino* IDE. No sistema da microestação existe a possibilidade da configuração da data, hora e frequência de leitura/hora dos sensores. No instante especificado em sua configuração a microestação faz a leitura de todos os sensores e armazena estas informações no cartão de memória contido na placa. As informações dos sensores são acumuladas até que o gerenciador estabeleça uma conexão com a estação e solicite a transferência dos dados. Feita a solicitação, a estação transfere os dados e os elimina do cartão de memória.

Shield

A integração entre a placa *Arduino* e os componentes como relógio, dispositivo de armazenamento, dispositivo de comunicação sem fio e sensores, é feita por meio do *shield*. *Shields* são placas que podem ser conectadas em cima da placa *Arduino*, estendendo as suas capacidades (ARDUINO, 2005). O *shield* desenvolvido no projeto é o que torna a placa *Arduino* uma microestação agrometeorológica, mantendo a microestação independente da versão da placa *Arduino* o que possibilita o uso da placa Severino e diminui os custos do projeto.

No *shield* estão contidos os conectores para os sensores de temperatura e umidade do ar, umidade do solo, luminosidade, molhamento foliar e pluviômetro, para o dispositivo de comunicação sem fio e para o RTC (*Real Time Clock* – Relógio de Tempo Real).

A placa também dá suporte a cartão SD para o armazenamento dos dados coletados. Como o cartão SD opera em 3,3V e os pinos de I/O da placa *Arduino* operam em 5V é preciso corrigir a tensão para o cartão SD, para isso são utilizados 3 pares de resistores que funcionam como divisores de tensão. Algumas versões da placa *Arduino* não fornecem alimentação de 3,3V, para suprir esta falta também está presente um regulador de tensão que fornece esta tensão específica. O esquema elétrico do *shield* da microestação agrometeorológica é ilustrado na Figura 7.5.

Algoritmo

O algoritmo da microestação agrometeorológica realiza os seguintes passos ilustrados no diagrama de atividades, contidos na Figura 7.6.

A cada repetição do código, em seu laço infinito, a microestação checa se o coletor de dados manual ou o gerenciador da rede estão conectados a ela. Caso um deles esteja conectado, a microestação estabelece a conexão e aguarda a opção de configuração,

transferência de dados ou desconectar. Caso selecionada a opção de configuração, a microestação recebe informação de data, hora e frequência de leitura dos sensores e atualiza suas configurações, após isso volta às opções anteriores. Caso a opção de transferência de dados seja selecionada, a microestação checa se existem dados de leitura dos sensores para transferência, caso existam, a microestação os envia e, posteriormente, os apaga do cartão SD, caso não existam, a microestação volta às opções anteriores. Caso a opção de desconectar seja selecionada a microestação volta ao estado inicial.

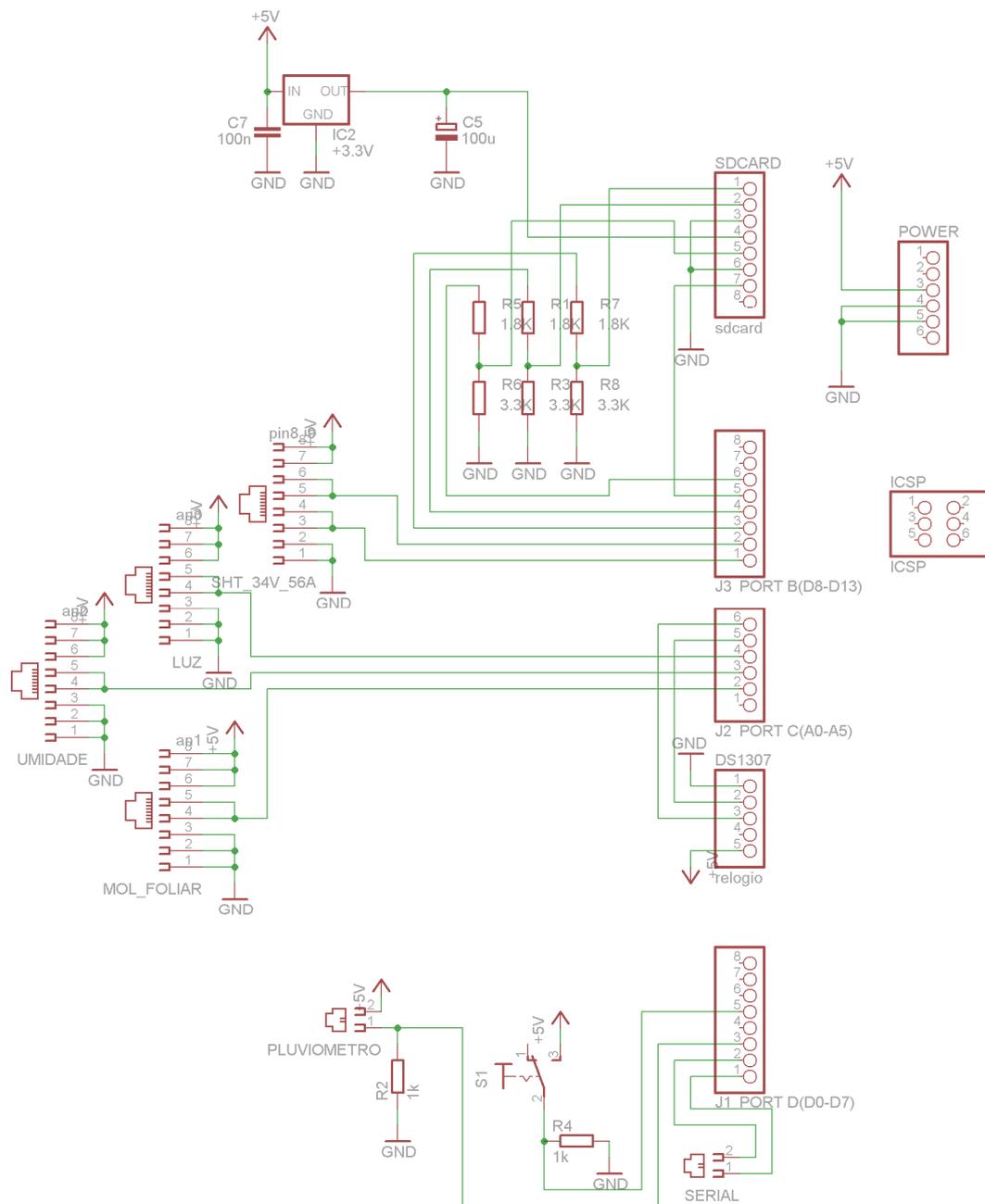
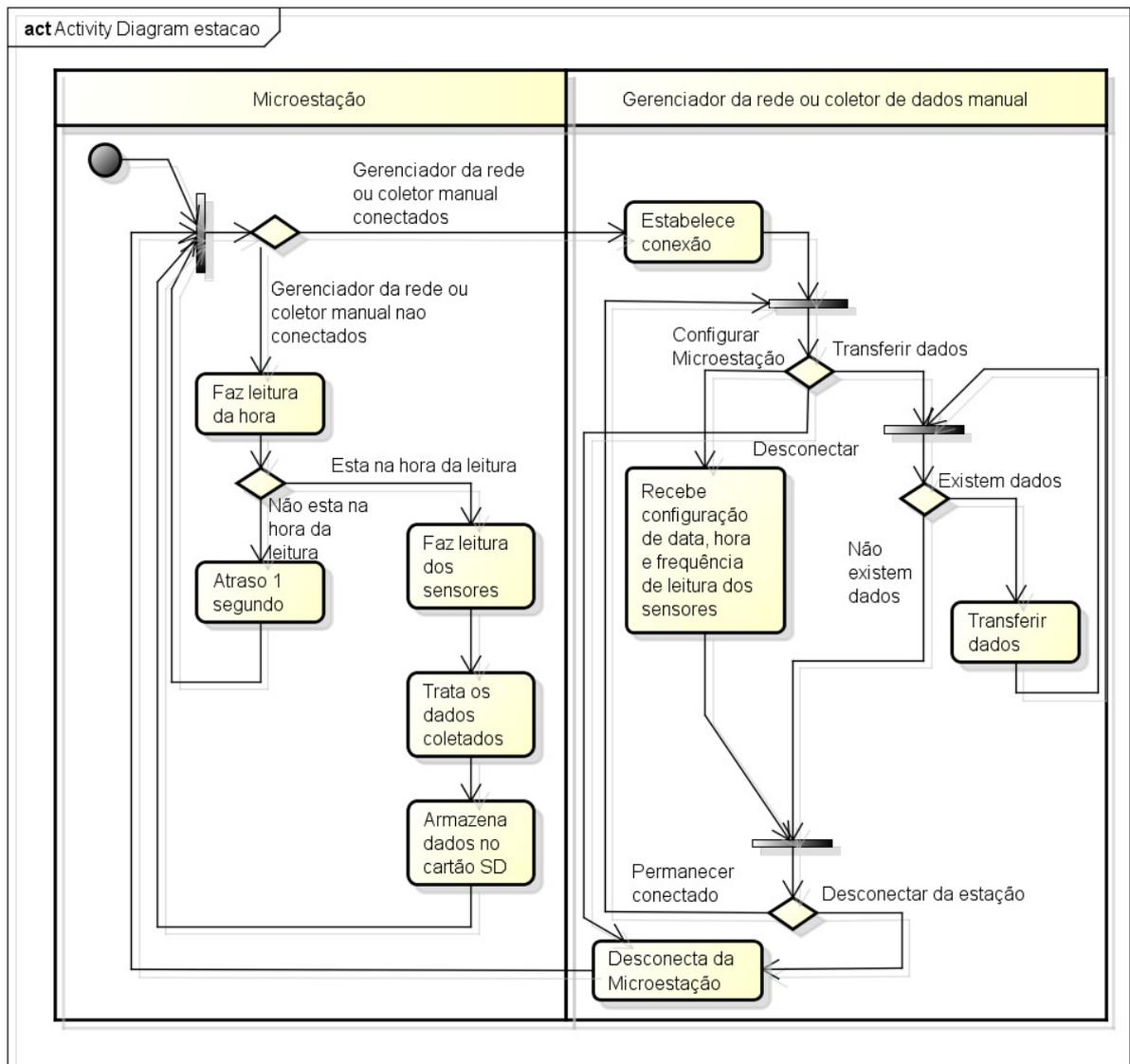


Figura 7.5 Esquema elétrico do shield da microestação agrometeorológica

Caso o coletor de dados manual ou o gerenciador da rede não estejam conectados a microestação faz a leitura da hora atual. Se a hora atual for igual à hora de leitura dos sensores a microestação faz a leitura dos valores dos sensores, os arranja em uma *string* e salva esta *string* no cartão SD. Se a hora atual for diferente da hora de leitura dos sensores a microestação fica inativa por um atraso de segundo e volta ao estado inicial.



powered by astah®

Figura 7.6 Diagrama de atividades da microestação agrometeorológica.

Alimentação

Uma questão relevante na estrutura da microestação é a alimentação. Pelo fato dos parreirais, em sua maioria, estarem localizados em áreas remotas desprovidas de energia elétrica e pela inviabilidade de passagem de fios elétricos até a plantação devido à distância das mesmas, o que implicaria em maiores custos para o projeto, a alimentação deve ser autônoma, a própria microestação deve gerar a energia para seu consumo.

Como solução para esse problema a alimentação é feita com um sistema de células solares que gera energia durante o dia e armazena a energia excedente em uma bateria recarregável que supre a falta de energia à noite.

7.3.2. Gerenciador da rede

O gerenciador da rede é um software escrito em Linguagem Java, executando em um PC com comunicação compatível com a da microestação e conectado à Internet. Ele é responsável por fazer a configuração das microestações, coletar os dados das microestações, tratá-los e transferi-los para o banco de dados do sistema Web.

A conexão é feita pelo gerenciador da rede que determina com qual estação deseja comunicar-se e, então, estabelece uma conexão. Esse tipo de conexão fica transparente à microestação, para ela é uma conexão direta, ponto a ponto, entre a microestação e o gerenciador, independente da topologia das microestações, as rotas escolhidas, e possíveis microestações que por ventura atuem como repetidores para a conexão. Estabelecida a conexão, o gerenciador da rede faz o *download* dos dados ou também de outras configurações disponíveis, além de fazer o tratamento necessário nos dados obtidos e os enviar para o banco de dados.

Algoritmo

Os passos do algoritmo do gerenciador da rede são ilustrados no diagrama de atividades, mostrados na Figura 7.7.

Inicialmente é configurada a hora em que se fará a coleta dos dados das microestações. Em seguida, conecta-se à rede, dessa forma o gerenciador identifica a rede e também as microestações no alcance da rede. Assim que é estabelecida a conexão, torna-se possível fazer a configuração das microestações e a transferência dos dados. A configuração pode ser feita a qualquer momento, o gerenciador conecta-se a todas as microestações utilizando o endereço

de *broadcast* da rede, configura a hora, data e frequência de leitura das microestações e desconecta-se das mesmas.

A transferência dos dados é realizada na hora determinada anteriormente, o gerenciador conecta-se à primeira microestação, verifica se existem dados, caso existam, recebe-os, faz o tratamento necessário e os envia ao banco de dados. Caso não existam informações o gerenciador desconecta-se da microestação e repete o mesmo procedimento para todas as microestações identificadas.

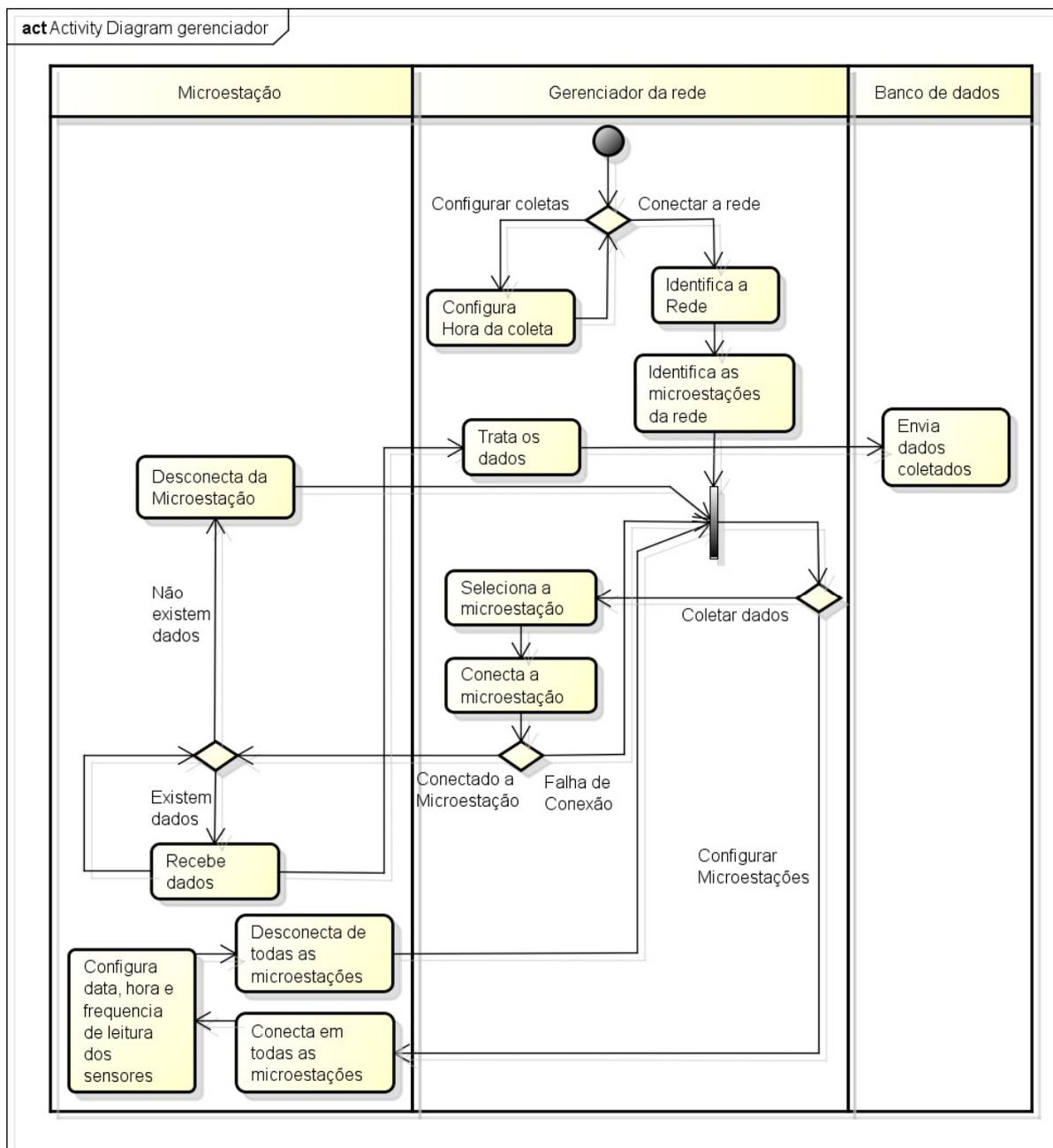


Figura 7.7 Diagrama de atividades do gerenciador da rede.

7.3.3. Coletor de dados manual

Em alguns casos a distância entre a plantação e o gerenciador da rede é maior que o alcance do dispositivo de comunicação sem fio de 1,6 Km, o que tornaria impossível, nestes casos, a implantação do sistema proposto.

Para tal situação foi desenvolvido um coletor de dados manual, que faz a integração da microestação agrometeorológica ao sistema Web, possibilitando a instalação da microestação em regiões distantes do gerenciador da rede.

O coletor de dados manual, assim como a microestação agrometeorológica, foi desenvolvido sob a plataforma *Arduino*. O código do sistema embarcado do coletor é escrito em linguagem C e compilado utilizando o AVR Studio 4, uma IDE gratuita para desenvolvimento de sistemas embarcados para microcontroladores Atmel e enviado para a placa por meio do *avrdude* responsável pela transferência de arquivos hexadecimais para o microcontrolador.

O coletor realiza todas as funções do gerenciador da rede, porém apenas em uma microestação por vez e através de conexão USART (*Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter*).

O *download* dos dados do coletor é realizado por meio de um software específico, desenvolvido exclusivamente para este propósito. Utilizando comunicação serial, o software descarrega os dados do coletor e cria um arquivo no formato XML entendível pelo sistema Web. No sistema Web existe a opção de enviar arquivo, que lê o arquivo no formato XML e grava as informações no banco de dados.

Shield

Para que o coletor de dados seja independente da versão da placa *Arduino* foi desenvolvido o *shield* coletor de dados. Nele estão presentes: um teclado matricial 4x4 para a seleção de opções e entrada de informação, *display* LCD para saída de resultados e informações ao usuário, cartão SD para armazenar os dados das microestações e interface serial para comunicação entre a microestação e o coletor e entre o coletor e o software específico. O esquema elétrico do coletor de dados manual é ilustrado na Figura 7.8.

Algoritmo

O algoritmo do coletor de dados manual realiza os seguintes passos contidos no diagrama de atividades, ilustrados na Figura 7.9.

Inicialmente deve-se conectá-lo à microestação agrometeorológica ou ao computador. Quando deseja-se conectar à microestação, o usuário escolhe a opção de se conectar à mesma. O coletor de dados tenta estabelecer a comunicação com a microestação. Caso não consiga, volta ao estado inicial, senão ele mostra três opções ao usuário: transferir dados, configurar microestação e desconectar. Quando selecionada a primeira opção, o coletor checa se existe informação de leitura de sensores na microestação. Caso haja ele recebe os dados e os salva em seu cartão SD, senão o coletor volta a mostrar as três opções anteriores ao usuário. Quando selecionada a segunda opção, o coletor envia à microestação novas informações de data, hora e frequência de leitura dos sensores. O coletor mostra novamente as três opções anteriores ao usuário. Caso seja selecionada a opção de desconectar, o coletor encerra a comunicação com a microestação e se desconecta.

Quando deseja-se conectar ao computador e fazendo uso do software específico para o coletor, o usuário deve escolher a opção de se conectar ao computador. O coletor estabelece a comunicação e chega ao estado em que mostra duas opções ao usuário: enviar dados e desconectar. Selecionando a opção de envio de dados, o coletor envia os dados coletados que estão armazenados em seu cartão SD ao software específico e os apaga deste cartão. O software específico gera um arquivo XML que, posteriormente, é enviado pelo sistema Web ao banco de dados. Selecionando a opção de desconectar, o coletor encerra a comunicação com o computador e se desconecta.

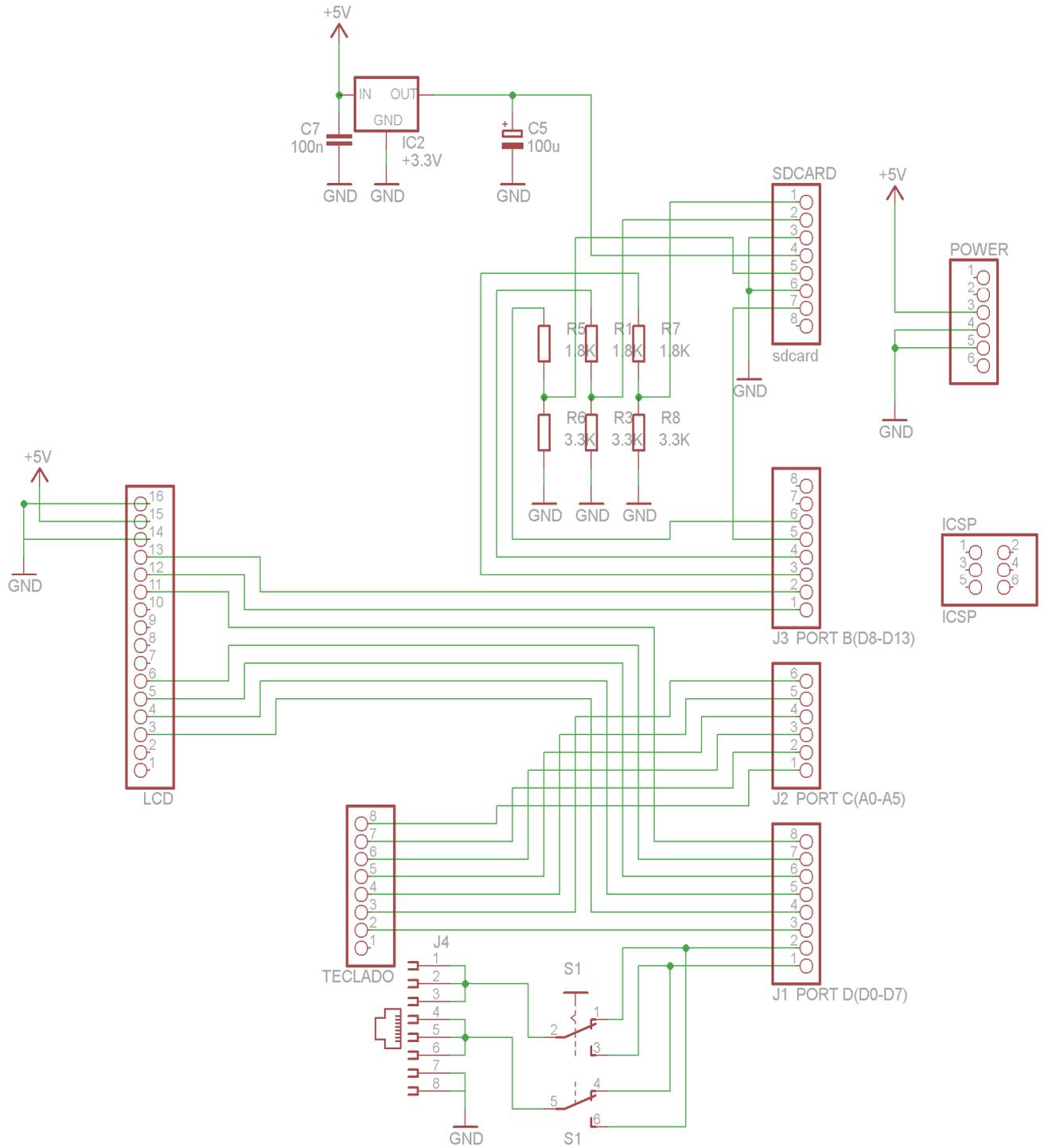
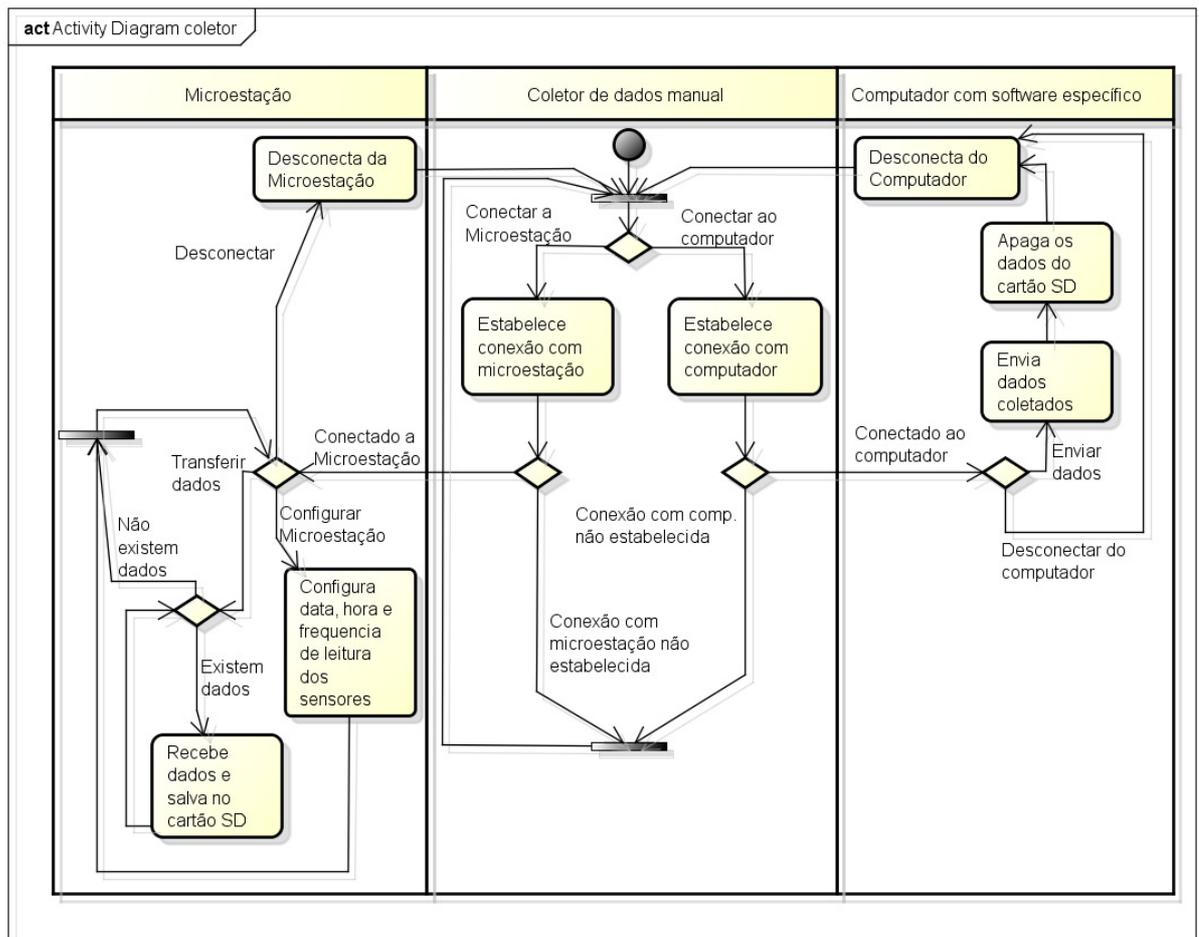


Figura 7.8 Esquema elétrico do shield do coletor de dados manual.



powered by astah

Figura 7.9 Diagrama de atividades do coletor de dados manual.

7.3.4. Sistema Web

O sistema Web é a principal interface entre todo o sistema de monitoramento e o usuário. Sua função fundamental é expor ao usuário do sistema, o agricultor, informações agrometeorológicas de sua plantação.

Um sistema complexo em níveis de acesso e usabilidade faz com que o usuário repudie o sistema, principalmente aqueles com pouco conhecimento de informática. O objetivo desta parte do projeto proposto é o desenvolvimento de um sistema com facilidade de uso e acesso, que seja aceito pelos agricultores e os ajude fornecendo subsídios para a melhoria do sistema produtivo.

Outro objetivo do projeto é o baixo custo do mesmo, possibilitando o seu uso por pequenos produtores. Para o cumprimento desta meta um pré-requisito é utilizar software

livre tanto para o desenvolvimento do sistema Web quanto para seu uso, portanto soluções que necessitem da compra de licenças devem ser evitadas.

O sistema Web fornece tabelas e gráficos referentes a informações retiradas dos sensores de uma microestação específica, em intervalos de tempo pré-selecionados. Gráficos relevantes podem ser salvos para uso futuro.

Foram implementadas no sistema Web, em linguagem PHP, funcionalidades como: gerenciar microestações determinando seu nome, local e quais sensores estão presentes; adicionar coletas manualmente para uso do coletor de dados manual; e consultar informações climáticas das microestações. Estas consultas ao banco de dados do sistema são apresentadas ao usuário na forma de gráficos e tabelas para cada microestação.

O banco de dados utilizado para guardar a informação das microestações, foi o MYSQL, pela sua popularidade, fácil integração com a linguagem PHP para o desenvolvimento do sistema Web e por ser um software livre com base na licença GPL. Além de tabelas como cadastro de usuários, estações e sensores, existe uma tabela principal que armazena os dados dos sensores. Esta tabela é organizada por meio dos campos: identificação da coleta, identificação da estação, valor do sensor, tipo do sensor e hora da coleta.

7.4. Resultados

Como já discutido neste trabalho, o projeto proposto tem como objetivo desenvolver um modelo de sistema computacional integrado para monitoramento vitícola de apoio à agricultura familiar, focado na viticultura, para estimular a cultivo de uva e atender a demanda por informações e tecnologias na área de fruticultura. O modelo usa microestações para a coleta de dados agrometeorológicos em campo e disponibiliza os dados em um banco de dados que oferece uma base de informações ao agricultor, que a partir destes conhecimentos oferecidos pelo sistema pode elaborar o planejamento adequado do manejo e cultivo da cultura da uva.

Para confirmar a eficácia do modelo proposto, este foi implementado e está operacional. Atualmente, o primeiro protótipo da microestação está operacional e um *shield* (Figura 7.10) foi desenvolvido para a placa *Arduino*, no qual são conectados os componentes como relógio, cartão SD, sensores e *XBee*⁴.

XBee é um módulo de comunicação sem fio baseado em *ZigBee*, que é uma nova tecnologia voltada para aplicações nas mais variadas áreas. Destinado a baixas taxas de

⁴ <http://www.digi.com/products/wireless/ZigBee-mesh/>

transmissão de dados e longas distâncias, consome pouca energia e é utilizada nos campos industrial, científico e médico. A tecnologia, padronizada pelo *IEEE 802.15.4*, tem se mostrado promissora para rede de sensores, monitoramento e controle (ERGEN, 2004). O módulo *XBee* também age como repetidor, estendendo a distância entre o gerenciador e a microestação.

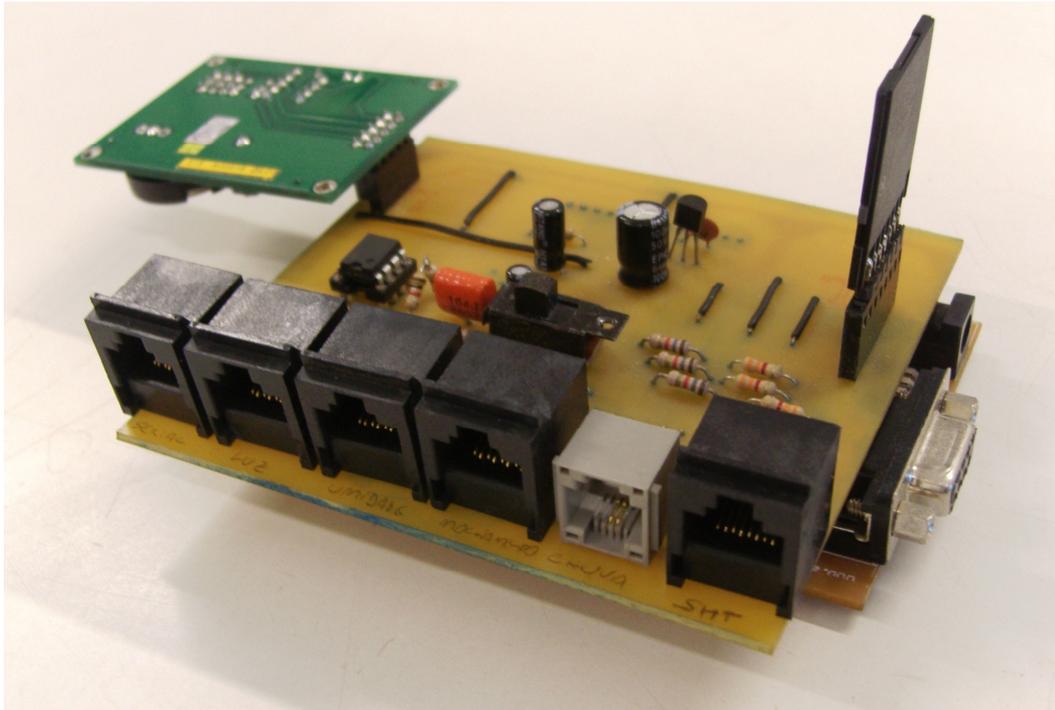


Figura 7.10 Shield conectado à placa Arduino - Protótipo da microestação.

Também está em funcionamento o protótipo do coletor de dados manual (Figura 7.11), utilizado para fazer a comunicação entre a microestação agrometeorológica e o sistema Web.

O software gerenciador da rede (Figura 7.12) foi implementado e também está operacional. Para seu funcionamento e integração com as microestações agrometeorológicas é necessário um módulo *XBee* conectado à interface serial do computador.

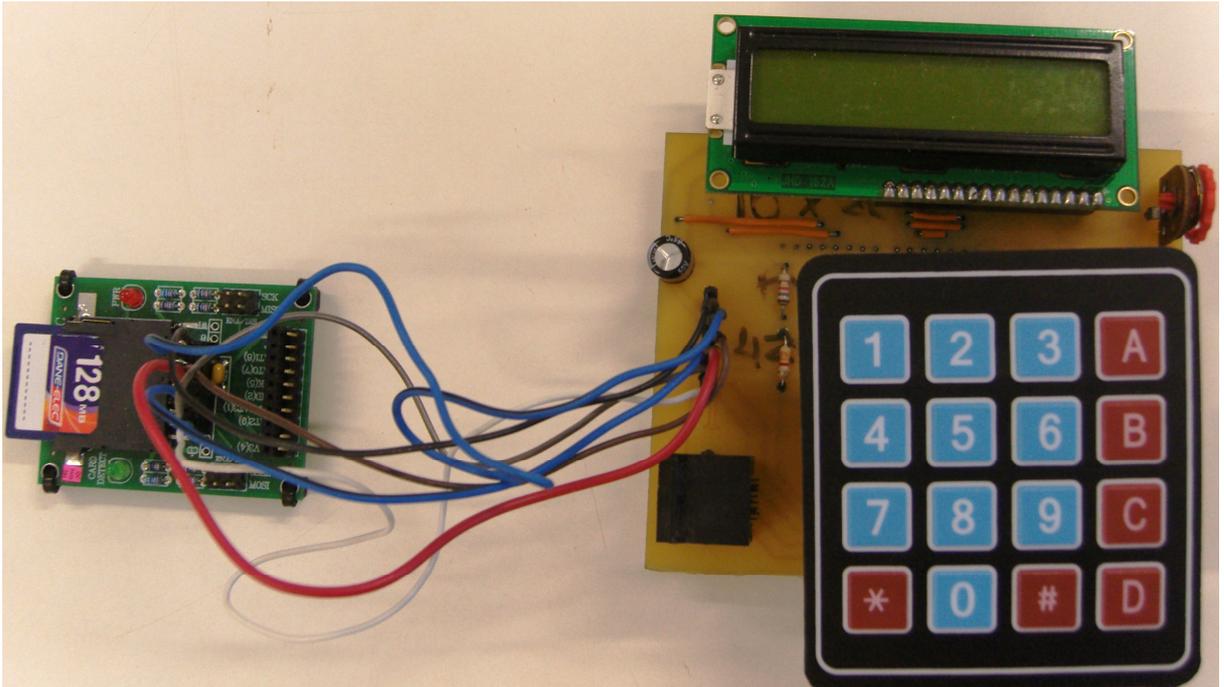


Figura 7.11 Foto do shield do coletor de dados manual

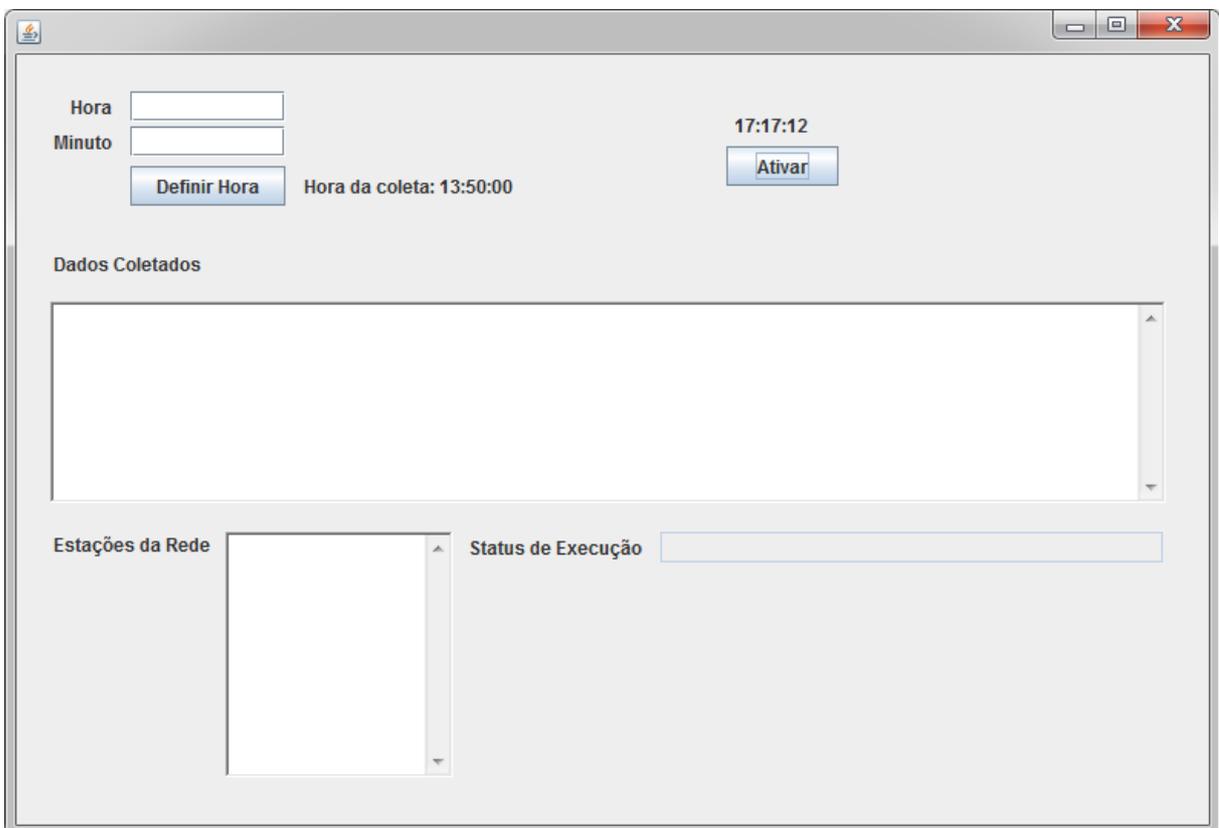


Figura 7.12 Tela do gerenciador de rede

No sistema Web, que está disponível pela URL [HTTP://www.din.uem.br/sav](http://www.din.uem.br/sav) (Figura 7.13), é possível consultar os dados por meio de tabelas e gráficos (Figura 7.14), salvar gráficos relevantes, renomear microestações e calibrar sensores.

SAV - Sistema de Automação de Vinícola
Universidade Estadual de Maringá - Departamento de Informática
GSE - Grupo de Sistemas Embarcados

Início Membros Sair

Gerar gráfico

Estação: estacao Sensor:
Temperatura
2010-10-05 15:15:06 2010-10-05 15:15:06
Gerar Gráfico

COLETAS

Adicionar coletas
Gerar gráfico
Listar gráficos
Gerar tabela

OUTROS

Gerenciar estações

GRUPO

GSE

Copyright Information | Put some Quick Links | And something else
Designed by : [Rambling Soul](#)

Figura 7.13 Tela de geração de gráficos do sistema Web.

Todos os elementos do modelo do sistema proposto foram implementados, desenvolvidos e testados, em laboratório, o que comprova o funcionamento do mesmo e valida a proposta deste projeto.

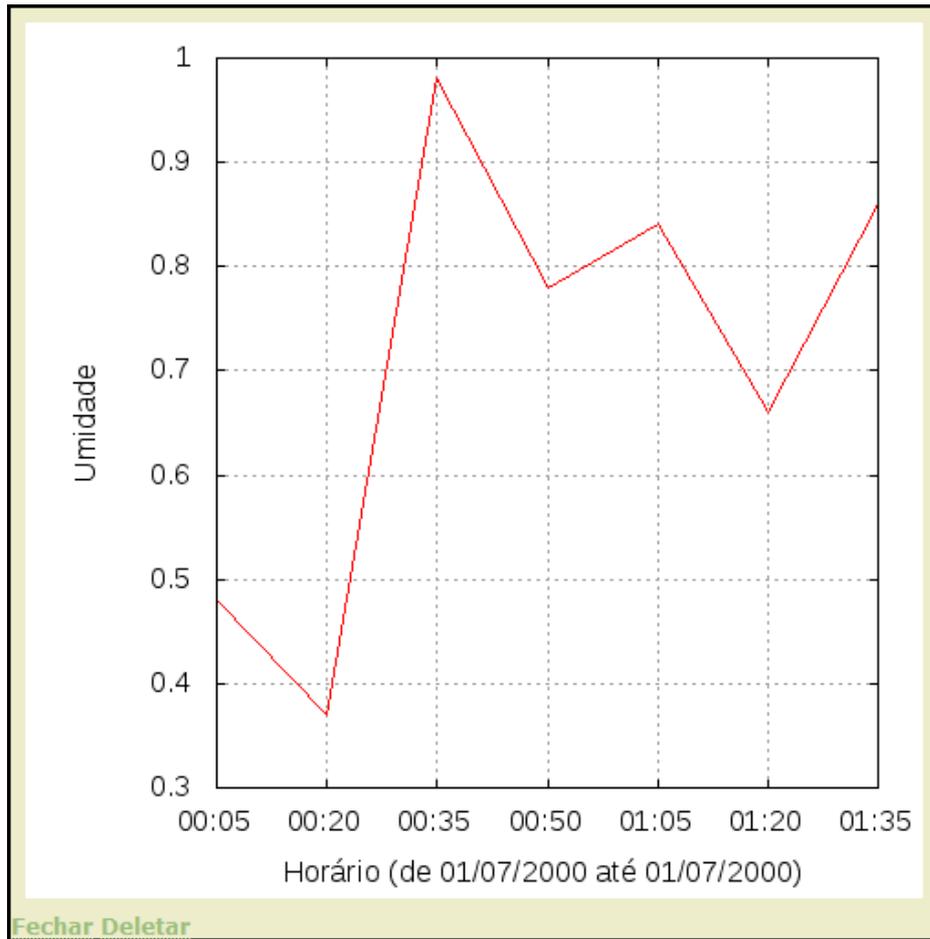


Figura 7.14 Exemplo de gráfico de umidade do ar.

A verificação e calibração dos sensores foram feitas instalando a microestação na cidade de Maringá e comparando os valores medidos com os valores registrados pelo Instituto Nacional de Meteorologia⁵ (INMET) para os sensores de temperatura (Gráfico 7.3), umidade relativa do ar (Gráfico 7.4), ponto de orvalho (Gráfico 7.5), pluviosidade (Gráfico 7.6) e luminosidade (Gráfico 7.7). Segundo dados climáticos do INMET, o nascer do sol foi às 8:45 horas e o pôr do sol às 22:15 horas utilizando como referência a hora no meridiano zero (*Coordinated Universal Time* ou UTC).

⁵ <http://www.inmet.gov.br/>

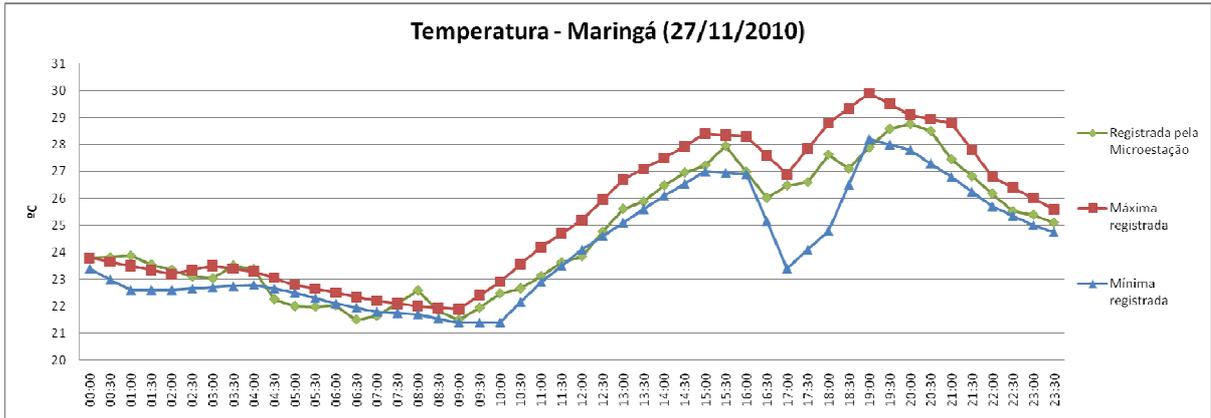


Gráfico 7.3 Gráfico de comparação entre valores de temperatura do ar medidos pela microestação e valores registrados pelo INMET.

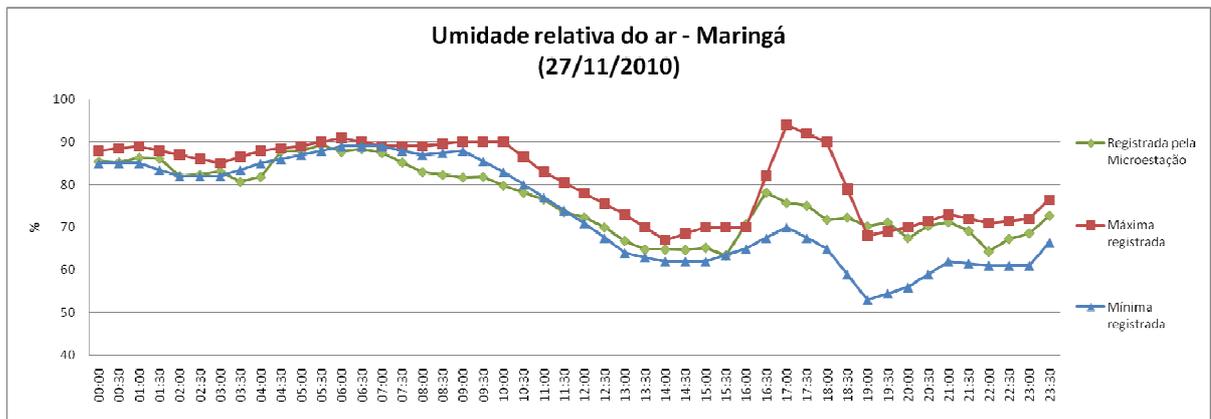


Gráfico 7.4 Gráfico de comparação entre valores de umidade relativa do ar medidos pela microestação e valores registrados pelo INMET.

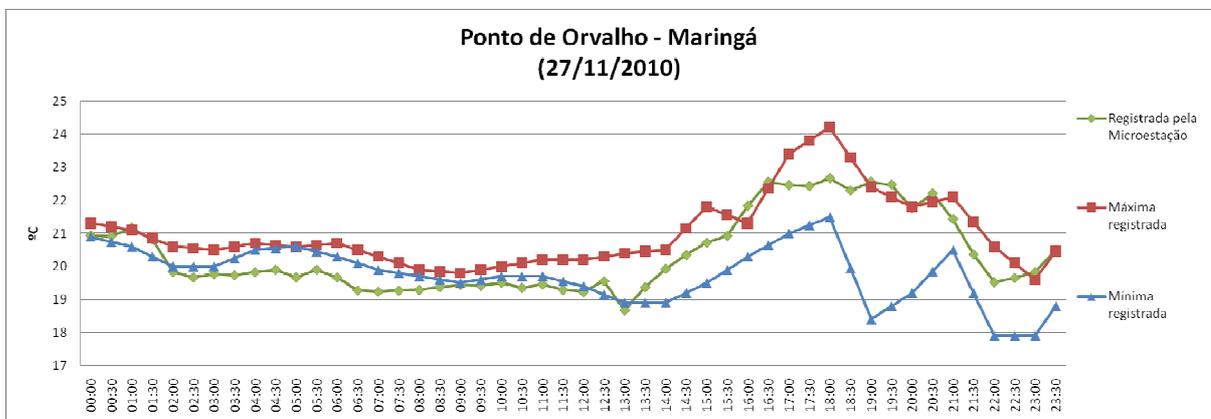


Gráfico 7.5 Gráfico de comparação entre valores de temperaturas de ponto de orvalho medidos pela microestação e valores registrados pelo INMET.

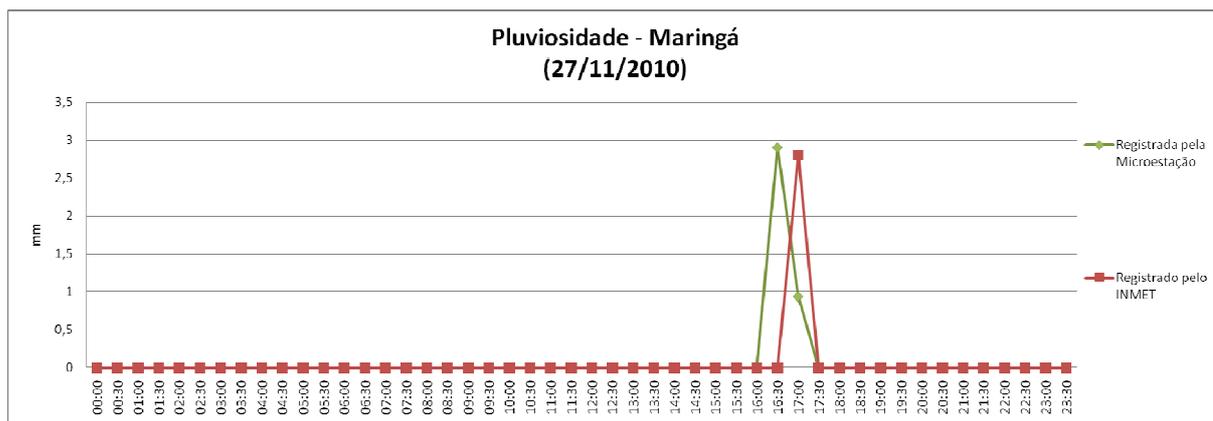


Gráfico 7.6 Gráfico de comparação entre valores de milímetros de chuva medidos pela microestação e valores registrados pelo INMET.

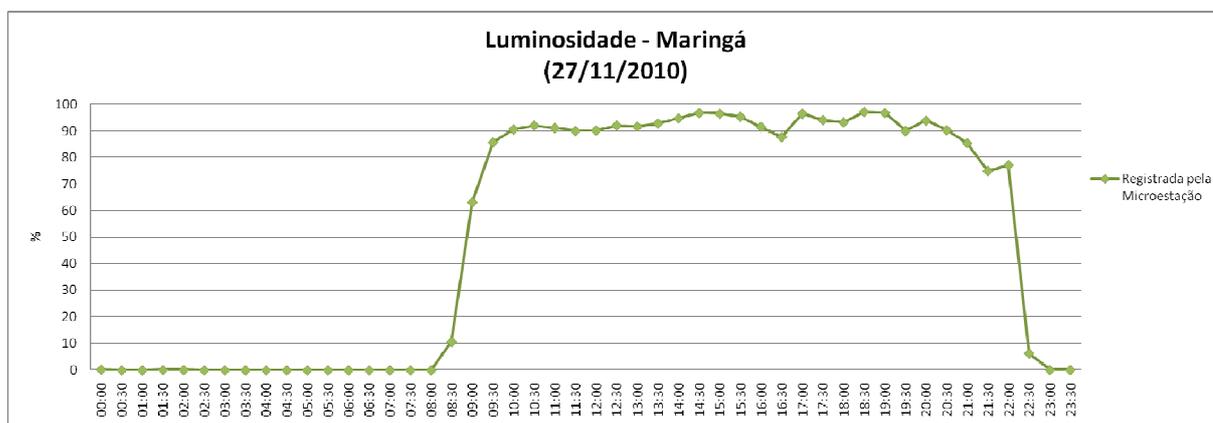


Gráfico 7.7 Gráfico de luminosidade registrado pela microestação.

O custo final da implementação do modelo de sistema computacional integrado de apoio à agricultura familiar, desconsiderando custos com o encapsulamento da microestação agrometeorológica e o coletor de dados manual foi de R\$ 3.103,00 para cada microestação agrometeorológica, R\$ 92,00 para o coletor de dados manual e R\$ 821,00 para o gerenciador da rede, totalizando R\$ 4.016,00. Este resultado mostra uma redução de preço da ordem de 83,9% em relação à estação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária⁶ (EMBRAPA).

⁶ <http://www.embrapa.br/embrapa/imprensa/noticias/2011/marco/4a-semana/unitins-instala-estacao-meteorologica-em-parceria-com-a-embrapa>

Conclusão e Trabalhos Futuros

Uma síntese das principais contribuições deste trabalho é discutida a seguir:

- No aspecto científico:
 - ✓ O projeto pode fornecer informações precisas sobre as condições favoráveis ao ataque de pragas e doenças, viabilizando o desenvolvimento de técnicas mais apuradas de combate a agentes nocivos à uva e a outras culturas. Além disso, o sistema de coleta viabiliza a implementação futura de redes de coletores de dados em campo para diversas culturas, bastando apenas efetuar as adaptações necessárias no software e nos sensores para atender as necessidades de cada cultura a ser investigada.
 - ✓ Não apenas para atender o monitoramento agrícola, o modelo proposto pode ser aplicado a qualquer tipo de monitoramento ambiental e fornecer dados precisos da região monitorada.
- No aspecto socioeconômico:
 - ✓ O desenvolvimento do projeto abre uma variedade de perspectivas de cooperação com a agroindústria no contexto de automação de processos produtivos com apoio de sistemas embarcados.
 - ✓ Com a viabilização do controle eficiente de produção da fruta será possível elevar a qualidade e a produtividade das propriedades, o que contribuirá para

uma melhor classificação do produto e futuramente a implementação da rastreabilidade e certificação da produção.

- ✓ Como consequência das contribuições advindas da redução de custos de produção em função do melhor planejamento de produção, da melhoria de renda, e da geração de postos de trabalho, espera-se uma melhoria na qualidade de vida dos agricultores.
- ✓ Englobando toda a região perimetral da cidade de Marialva, os dados coletados pelo sistema auxiliam o monitoramento meteorológico da cidade. Os dados coletados podem ser enviados ao Instituto Nacional de Meteorologia contribuindo para o monitoramento meteorológico do país.
- No aspecto ambiental:
 - ✓ Os resultados do projeto certamente podem fornecer contribuições significativas em termos de planejamento estratégico de produção das culturas propiciando redução do uso de defensivos agrícolas, água e minerais.

Dentre os trabalhos futuros há previsão para emprego de VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) atuando como gerenciador da rede em locais de difícil acesso e fora de alcance de sinal. Possibilitando também utilizá-lo para implementar um sistema de análise de fotos aéreas.

Um estudo pode ser desenvolvido a fim de melhorar o consumo de energia, aperfeiçoando o programa da microestação para ativar os sensores apenas no momento em que é feita a leitura.

A partir de uma grande quantidade de informação, é possível desenvolver um sistema de mineração de dados a fim de prever a qualidade da uva e a quantidade que será colhida, podendo garantir a venda do produto antes mesmo da colheita. Viabiliza-se também a previsão de possíveis desastres climáticos como tempestades e geadas. Enfim, o modelo proposto abre perspectivas de se explorar o nicho de monitoramento aplicado em diversas áreas com custos reduzidos.

Referências

- ADILSON AKASHI. Arduino Severino. 2007. Disponível em: <<http://Arduinotutorial.blogspot.com/>>. Acesso em: 06 de junho de 2010.
- AGRI-CIÊNCIA. i-Farm. 2007. Disponível em: <<http://www.i-Farm.pt/>>. Acesso em: 06 de junho de 2010.
- ARDUINO. Arduino. 2005. Disponível em: <<http://Arduino.cc/>>. Acesso em: 06 de junho de 2010.
- ATMEL CORPORATION. Datasheet ATMEGA328p. 2010. Disponível em: <http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/8025s.pdf>. Acesso em: 06 de junho de 2010.
- BANZI, M. *Getting Started with Arduino Publisher*. Sebastopol: O'Reilly Media/Make. December, 2008. 128 p.
- BRUCKNER, C. H.; PICANÇO, M. C. *Maracujá: tecnologia de produção, pós-colheita, agroindústria, mercado*. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2001. 472p.
- BURRELL, J.; BROOKE, T.; BECKWITH, R. Vineyard Computing: Sensor Networks in Agricultural Production. *IEEE PERVASIVE computing*. v. 3, n. 1, p. 38-45, jan./mar. 2004.
- CASTRO NETO, M. *i-Farm: a empresa agrícola inteligente*. Jornadas Técnicas, A IMPORTÂNCIA DA METEOROLOGIA NA AGRICULTURA. Centro Operativo e de Tecnologia de Regadio, Beja (Portugal), 28 Mar. 2008.
- CRAWFORD, C. *The Art of Interactive Design: A Euphonious and Illuminating Guide to Building Successful Software*. Sao Francisco: No Starch Press, December, 2002. 408p.
- DE STEFANI, F. *Sistema di monitoraggio ambientale tramite WSN*. 2008. Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Informatica - Università Degli Studi Di Pavia, Italia, 12/2008 .
- DESMARAIS, R.; BREUER, J. How to Select and Use the Right Temperature Sensor .*Sensors*. Janeiro 2001. Disponível em: <<http://archives.sensorsmag.com/articles/0101/24/index.htm>>. Acesso em: 20 de janeiro de 2011.

EMPRAPA UVA E VINHO. 2010. Sistema CCM Geovitícola. Disponível em: <<http://www.cnpuv.embrapa.br/tecnologias/ccm/>>. Acesso em: 30 de abril de 2010.

ERGEN, S. C. *IEEE 802.15.4 Summary*. Relatório Técnico. Advanced Technology Lab of National Semiconductor, Ago. 2004. Disponível em: <<http://www.sinemergen.com/ZigBee.pdf>>. Acesso em: 06 de junho de 2010.

FUHR, P.; KAGAN, H., Can Wireless Standards Work Together? *Sensors Magazine* Abr. 2006. Disponível em: <<http://www.sensormag.com/networking-communications/standards-protocols/can-wireless-standards-work-together-868>>. Acesso em: 06 de junho de 2010.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R., WALKER, J; *Fundamentos de Física 3: Eletromagnetismo*. 4ed. São Paulo: LTC. 2002

HISCOCKS, P.D. The Weather Station Project. Department of Electrical and Computer Engineering. Ryerson University. Toronto, Canada 1994. Disponível em: <www.syscompdesign.com/weather/weather-station-instruments.pdf>. Acesso em: 20 de janeiro de 2011.

HUGLIN, P. Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole. In : SYMPOSIUM INTERNATIONAL SUR L'ÉCOLOGIE DE LA VIGNE, 1, Constança, Romênia, 1978. Ministère de l'Agriculture et de l'Industrie Alimentaire, 1978. p.89-98.

IEEE COMPUTER SOCIETY. *Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks(LR-WPAN)*. Nova York (NY): IEEE, 2003. 323p.

LIBELIUM. Squidbee Data-Sheet. 2008. Disponível em: <<http://www.libelium.com/squidbee/upload/c/c1/SquidBeeDataSheet.pdf>>. Acesso em: 06 de junho de 2010.

LOUREIRO, A.; RUIZ, L.; NOGUEIRA, J.; MINI, R. Rede de Sensores Sem Fio. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO. Jornada de Atualização de Informática, p. 193-234, 2002.

MARWEDEL, P. *Embedded System Design*. 1ed. Springer. 2003. 241p.

MATESE, A. et al. A wireless sensor network for precision viticulture: The NAV system. *Computers and Electronics in Agriculture*. v. 69, n. 01, November 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169909001215>>. Acesso em: 20 de janeiro de 2011.

MAZIA, J. O. Diagnóstico da fruticultura no município de Marialva-PR. EMATER: Marialva, 1998. 28p.

MELLIS, D.; BANZI, M.; CUARTIELLES, D.; IGOE, T. Arduino: An open electronics prototyping platform. In: CHI 2007 CONFERENCE. alt.chi. 2007. San Jose (CA - EUA). 2007.

MELLO, L. M. R. Atuação do Brasil no Mercado Vitivinícola Mundial – Panorama 2007. Bento Gonçalves – Embrapa Uva e Vinho. Relatório Técnico. Disponível em:

<http://www.cnpuv.embrapa.br/publica/artigos/panorama2007_vitivinicola_mundial.pdf>. Acesso em: 21 de julho de 2010.

MELLO, L. M. R. Vitivinicultura brasileira: Panorama 2008. Bento Gonçalves – Embrapa Uva e Vinho. Relatório Técnico. Disponível em: <<http://www.cnpuv.embrapa.br/publica/artigos/vitbras2008.pdf>>. Acesso em: 21 de julho de 2010.

MELLO, L. M. R. Vitivinicultura brasileira: Panorama 2009. Bento Gonçalves – Embrapa Uva e Vinho. Relatório Técnico. Disponível em: <<http://www.cnpuv.embrapa.br/publica/artigos/prodvit2009vf.pdf>>. Acesso em: 21 de julho de 2010.

O'SULLIVAN, D.; IGOE, T.; *Physical Computing: Sensing and Controlling the Physical World with Computers*. Boston: Course Technology PTR. January 01, 2004. 494 p.

PRODUTORES de Iguatemi inauguram fábrica de polpa de frutas. *O Diário do Norte do Paraná*, Maringá, 12 nov. 2007. Seção de Economia (Agroindústria).

PIANI, A. Noroeste do Paraná em redes: referências para a agricultura familiar. Londrina: IAPAR/EMATER, 2001. 48p.

RIOU, C.; CARBONNEAU, A.; BECKER, N.; CALÓ, A.; COSTACURTA, A.; CASTRO, R.; PINTO, P. A.; CARNEIRO, L. C.; LOPES, C.; CLÍMACO, P.; PANAGIOTOU, M. M.; SOTÉZ, V.; BEAUMOND, H. C.; BURRIL, A.; MAES, J.; VOSSEN, P. Le déterminisme climatique de la maturation du raisin: Application au zonage de la teneur en sucre dans la Communauté Européenne. In: OFFICE DES PUBLICATIONS OFFICIELLES DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES. EUR 15863 FR/EN. Luxemburgo. 1994. 319p.

ROVETI, D. Choosing a humidity Sensor: A Review of Three Technologies. *Sensors Online*. Julho 2001. Disponível em: <<http://archives.sensorsmag.com/articles/0701/54/index.htm>>. Acesso em: 06 de fevereiro de 2011.

RUIZ, L. B. *MANÁ: Uma Arquitetura para o Gerenciamento de Redes de Sensores Sem Fio*. 2003. 214 f. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais. 2003.

TANNER, B. D. Automated weather stations. *Remote Sensing Reviews*, Abingdon, v. 5, n. 1, p. 73-98, 1990.

TONIETTO, J.; CARBONNEAU, A. A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 124, n. 1-2, p. 81-97, 2004.

TONIETTO, J.; CARBONNEAU, A. Análise mundial do clima das regiões vitícolas e de sua influência sobre a tipicidade dos vinhos: a posição da viticultura brasileira comparada a 100 regiões em 30 países. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE VITICULTURA E ENOLOGIA, 9., 7 a 10 de dezembro de 1999, Bento Gonçalves. *Anais*. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho/Jorge Tonietto e Celito C. Guerra, ed. 1999. p.75-90.

TONIETTO, J.; MANDELLI, F. Uvas Americanas e Híbridas para Processamento em Clima Temperado. Sistema de Produção 2, 2003. Disponível em <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Uva/UvaAmericanaHibridaClim>>

aTemperado/clima.htm >. Acesso em: 21 de julho de 2010.

TORRE NETO, A. *Estudo e implementação de um sistema de monitoramento remoto de variáveis edafo-ambientais*. 1995. 146 f. Tese de Doutorado - Instituto de Física e Química de São Carlos, USP. 1995.

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PAVIA. CERERE: a WSN for Agricultural and Environmental Control. 2008. Disponível em: <<http://netlab-mn.unipv.it/wsn/dokuwiki/projects/cerere>>. Acesso em: 06 de junho de 2010.

WARK, T. et al. Transforming Agriculture through Pervasive Wireless Sensor Networks. *IEEE PERVASIVE computing*. Vol. 6, N. 2, pp. 50-57, April-June 2007.

WASINGER, J. Build a Wireless Weather Station. *Circuit Cellar*. n. 136, November 2001. Disponível em: <<http://snailsnake.co.kr/DownLink/data-22/Wireless%20Weather%20Station.pdf>>. Acesso em: 28 de junho de 2010.

WEISER, M. The Computer for the 21st century. *Scientific American Magazine*, v. 265, n.3, pp. 94-104, September 1991.

WILSON, J. S. *Sensor Technology Handbook*. Elsevier. 2005. Disponível em: <http://www.knovel.com/web/portal/browse/display?_EXT_KNOVEL_DISPLAY_bookid=1659&VerticalID=0>. Acesso em: 08 de janeiro de 2011.

ZIGBEE ALLIANCE. ZigBee Alliance. 2007. Disponível em: <<http://www.ZigBee.org/>>. Acesso em: 06 de junho de 2010.

Anexo A

Tabela A.2: Caracterização das Redes de Sensores Sem Fio segundo a configuração.

Configuração		
Composição	Homogênea	Rede composta de nós que apresentam a mesma capacidade de hardware. Eventualmente os nós podem executar software diferente.
	Heterogênea	Rede composta por nós com diferentes capacidades de hardware.
Organização	Hierárquica	RSSF em que os nós estão organizados em grupos (<i>clusters</i>). Cada grupo terá um líder (<i>cluster-head</i>) que poderá ser eleito pelos nós comuns. Os grupos podem organizar hierarquias entre si.
	Plana	Rede em que os nós não estão organizados em grupos.
Mobilidade	Estacionária	Todos os nós sensores permanecem no local onde foram depositados durante todo o tempo de vida da rede.
	Móvel	Rede em que os nós sensores podem ser deslocados do local onde inicialmente foram depositados.
Densidade	Balanceda	Rede que apresenta uma concentração e distribuição de nós por unidade de área considerada ideal segundo a função objetivo da rede.
	Densa	Rede que apresenta uma alta concentração de nós por unidade de área.
	Esparsa	Rede que apresenta uma baixa concentração de nós por unidade de área.
Distribuição	Irregular	Rede que apresenta uma distribuição não uniforme de nós na área monitorada.
	Regular	Rede que apresenta uma distribuição uniforme de nós sobre a área monitorada.

Fonte: Ruiz (2003)

Tabela A.3: Caracterização das Redes de Sensores Sem Fio segundo o sensoriamento.

Sensoriamento		
Coleta	Periódica	Os nós sensores coletam dados sobre o(s) fenômeno(s) em intervalos regulares. Um exemplo são as aplicações que monitoram o canto dos pássaros. Os sensores farão a coleta durante o dia e permanecem desligados durante a noite.
	Contínua	Os nós sensores coletam os dados continuamente. Um exemplo são as aplicações de exploração interplanetária que coletam dados continuamente para a formação da base de dados para pesquisas.
	Reativa	Os nós sensores coletam dados quando ocorrem eventos de interesse ou quando solicitado pelo observador. Um exemplo são as aplicações que detectam presença de objetos na área monitorada.
	Tempo Real	Os nós sensores coletam a maior quantidade de dados possível no menor intervalo de tempo. Um exemplo são aplicações que envolvem risco para vidas humanas tais como aplicações em escombros ou áreas de desastres. Outro exemplo são as aplicações militares onde o dado coletado é importante na tomada de decisão e definição de estratégias.

Fonte: Ruiz (2003)

Tabela A.4: Caracterização das Redes de Sensores Sem Fio segundo a comunicação (Parte A).

Classificação segundo a Comunicação		
Disseminação	Programada	Os nós disseminam em intervalos regulares.
	Contínua	Os nós disseminam os dados continuamente
	Sob Demanda	Os nós disseminam os dados em resposta à consulta do observador e à ocorrência de eventos.
Tipo Conexão	Simétrica	Todas as conexões existentes entre os nós sensores, com exceção do nó sorvedouro têm o mesmo alcance.
	Assimétrica	As conexões entre os nós comuns têm alcance diferente.
Transmissão	Simplex	Os nós sensores possuem transceptor que permite apenas transmissão da informação.
	Half-duplex	Os nós sensores possuem transceptor que permite transmitir ou receber em um determinado instante.
	Full-duplex	Os nós sensores possuem transceptor que permite transmitir ou receber dados ao mesmo tempo.

Fonte: Ruiz (2003)

Tabela A.5: Caracterização das Redes de Sensores Sem Fio segundo a comunicação (Parte B).

Classificação segundo a Comunicação		
Alocação de Canal	Estática	Neste tipo de rede se existirem “n” nós, a largura de banda é dividida em “n” partes iguais na frequência (FDMA - <i>Frequency Division Multiple Access</i>), no tempo (TDMA - <i>Time Division Multiple Access</i>), no código (CDMA - <i>Code Division Multiple Access</i>), no espaço (SDMA - <i>Space Division Multiple Access</i>) ou ortogonal (OFDM - <i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>). A cada nó é atribuída uma parte privada da comunicação, minimizando interferência.
	Dinâmica	Neste tipo de rede não existe atribuição fixa de largura de banda. Os nós disputam o canal para comunicação dos dados.
Fluxo de Informação	<i>Flooding</i>	Neste tipo de rede, os nós sensores fazem <i>broadcast</i> de suas informações para seus vizinhos que fazem <i>broadcast</i> desses dados para outros até alcançar o ponto de acesso. Esta abordagem promove um alto <i>overhead</i> , mas está imune às mudanças dinâmicas de topologia e a alguns ataques de impedimento de serviço (DoS - <i>Denial of Service</i>).
	<i>Multicast</i>	Neste tipo de rede os nós formam grupos e usam o <i>multicast</i> para comunicação entre os membros do grupo.
	<i>Unicast</i>	Neste tipo de rede, os nós sensores podem se comunicar diretamente com o ponto de acesso usando protocolos de roteamento multi-saltos.
	<i>Gossiping</i>	Neste tipo de rede, os nós sensores selecionam os nós para os quais enviam os dados.
	<i>Bargaining</i>	Neste tipo de rede, os nós enviam os dados somente se o nó destino manifestar interesse, isto é, existe um processo de negociação.

Fonte: Ruiz (2003)

Tabela A.6: Caracterização das Redes de Sensores Sem Fio segundo o processamento.

Classificação segundo o Processamento		
Cooperação	Infra-estrutura	Os nós sensores executam procedimentos relacionados à infra-estrutura da rede como, por exemplo, algoritmos de controle de acesso ao meio, roteamento, eleição de líderes, descoberta de localização e criptografia.
	Localizada	Os nós sensores executam além dos procedimentos de infra-estrutura, algum tipo de processamento local básico como, por exemplo, tradução dos dados coletado pelos sensores baseado na calibração.
	Correlação	Os nós estão envolvidos em procedimentos de correlação de dados como fusão, supressão seletiva, contagem, compressão, multi-resolução e agregação.

Fonte: Ruiz (2003)