

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Nelson Roberto Lona

Lógica Fuzzy aplicada a Sistemas de
Controle de Edifícios Inteligentes

Dissertação apresentada para
obtenção de Título de Mestre pelo
Curso de Engenharia Mecânica do
Departamento de Mecânica da
Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Automação
Industrial e Robótica.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Octávio
Mattos dos Reis

Taubaté – SP
2006

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Nelson Roberto Lona

**Lógica Fuzzy aplicada a Sistemas de
Controle de Edifícios Inteligentes**

Dissertação apresentada para
obtenção de Título de Mestre pelo
Curso de Engenharia Mecânica do
Departamento de Mecânica da
Universidade de Taubaté.
Área de Concentração: Automação
Industrial e Robótica.
Orientador: Prof. Dr. Luiz Octávio
Mattos dos Reis

Data: 02 de fevereiro de 2006.

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Luiz Octávio Mattos dos Reis - Universidade de Taubaté.

Assinatura _____

Prof. Dr. João Sinohara da Silva - Universidade de Taubaté.

Assinatura _____

Prof. Dr. Leonardo Mesquita – Universidade Estadual Paulista.

Assinatura _____

Dedico este trabalho:

a Deus, que me deu tudo
de que precisei para realizá-lo;

aos meus pais Nelson (in memoriam)
e Maria do Carmo e às minhas irmãs,
que sempre me incentivaram e
apoiaram nos estudos;

em especial à minha amada
esposa Maria Lúcia (in memoriam),
e à minha querida filha Luandra,
pelo incentivo, paciência e
compreensão.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Giorgio Eugênio Oscare Giacaglia, Coordenador do Mestrado, pelo incentivo e pela paciência ao longo destes anos;

Ao Prof. Dr. Luiz Octávio Mattos dos Reis, meu orientador, que com inteligência e habilidade ajudou-me a realizar este trabalho;

Ao Prof. Dr. Garabed Kenchian, diretor do Centro Federal de Educação Tecnológica de São Paulo (CEFET-SP), pelo apoio e realização do convênio com a Universidade de Taubaté (UNITAU);

Ao Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, em especial ao Sr. Diretor Pedro Celestino, da Escola Técnica Estadual Getúlio Vargas, pelo apoio;

Agradeço em especial ao Prof. Engenheiro Eletricista Milton Barreiro Junior e ao Prof. Engenheiro Dimas Ramalho, colegas de Magistério, pelo apoio técnico.

A todos os colegas da turma 10 do Mestrado em Engenharia Mecânica da Unitau; turma do Centro Federal de Educação Tecnológica de São Paulo, que ao longo dos anos de 2004 e 2005, ajudaram a transformar esta empreitada em uma tarefa alegre, e gratificante;

À UNITAU, através de todos os professores Doutores e Mestres do Programa de Mestrado em Engenharia Mecânica, que durante este período tornaram-se para mim mais do que professores

Aos amigos do CEFET-SP e ETEGV que, embora não tenham sido citados, merecem uma justa homenagem e agradecimento pelo apoio e compreensão ao longo destes anos.

LONA, Nelson Roberto. Lógica Fuzzy aplicada a Sistemas de Controle de Edifícios Inteligentes 2006 # 103f. Dissertação (Mestrado, Engenharia Mecânica – Automação Industrial e Robótica) – Departamento de Mecânica, Universidade de Taubaté, Taubaté.

RESUMO

Este trabalho desenvolve um estudo para mostrar, através de um projeto básico de controlador fuzzy e de simulações, com programa dedicado, que tecnologicamente atenda a todas as necessidades fundamentais, como: economia, conforto e segurança nas atividades diárias dos seres humanos, seja no ambiente de trabalho, residências ou edifícios.

Agregando-se sistemas inteligentes de controle, as técnicas de captação de energia solar e programas de supervisão, obtêm-se os sistemas que praticamente independem do fornecimento contínuo da energia proveniente das empresas de geração e distribuição de energia.

Utilizando-se de um projeto com características específicas, combinadas com a busca de fabricantes de equipamentos disponíveis no mercado, propõe-se um projeto a ser aplicado em instalações residenciais. Para isso foram utilizadas redes de automação residenciais normalizadas, dotadas de sensores e atuadores comerciais, compatibilizando os sinais com os protocolos da rede mais adequada, por meio de um programa compatível com técnicas de lógica fuzzy para controle de água quente.

Os resultados finais e o desenvolvimento de uma metodologia que compatibiliza os sistemas inteligentes com a linha de sensores e atuadores disponíveis no mercado, bem como a utilização da energia solar, têm por objetivo reduzir o consumo de energia elétrica, além de aumentar a confiabilidade do sistema pela geração independente desta última.

Palavras-chave: Lógica Fuzzy. Energia Solar. Controle Inteligente.

ABSTRACT

This work develops study to show, through a basic project of controller fuzzy and of simulation, with dedicated program, that technologically takes care of to the basic necessities, as: economy, comfort and security in the daily activities of the human beings, either in the environment of work, residences or buildings.

Adding intelligent systems of control, the techniques of getting of energy and programs of supervision, get the systems that practically independent of the continuous supply of the energy proceeding from the companies of generation and distribution of energy.

Using itself of a project with characteristics you specify, combined with the search of available equipment manufacturers in the market, a project is considered to be applied in residential installations. For this normalized residential nets of automation had been used, endowed with sensors and commercial actuators, making compatible the signals with the protocols of the net, through of the compatible program (Fuzzy Logic) for control of hot water.

The final results and the development of a methodology that makes compatible the intelligent systems with the line of sensors and available actuators in the market, as well as through the use of the solar energy, having for objective to reduce the consumption of energy besides increasing the trustworthiness of the system for the independent generation of this last one.

Keywords: Fuzzy Logic. Solar energy. Intelligent control.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAPÍTULO 1 – ASPECTOS GERAIS E ABRANGÊNCIA DO TRABALHO

1.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	17
1.2 – ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	18
1.3 – REVISÃO DA LITERATURA.....	19

CAPÍTULO 2 – AUTOMAÇÃO EM EDIFÍCIOS OU CASAS RESIDENCIAIS

2.1 – O FUTURO AUTOMATIZADO.....	20
2.2 – TAREFAS AUTOMATIZADAS.....	21
2.3 – IMPACTOS NA NOSSA VIDA COTIDIANA.....	21
2.4 – HISTÓRIA DOS EDIFÍCIOS INTELIGENTES.....	22
2.5 – A REALIDADE DOS EDIFÍCIOS INTELIGENTES.....	22
2.6 – CONCEITOS DE “DOMÓTICA” E “IMMÓTICA”.....	23
2.7 – SISTEMAS INTEGRADOS.....	24
2.7.1 – SISTEMAS DE SEGURANÇA.....	25
2.7.1.1 – Segurança periférica.....	26
2.7.1.2 – Sistema de detecção de incêndios ou gás.....	26
2.7.1.3 – Circuito Fechado de TeleVisão (CFTV).....	27
2.7.1.4 – Controle de acessos.....	28
2.7.1.5 – Fornecimento de energia para luzes de emergência.....	28
2.7.2 - SISTEMA ENERGÉTICO OU SISTEMA DE ENERGIA.....	29
2.7.2.1 - Controle de iluminação.....	29
2.7.2.2 - Controle de aquecimento de água.....	30
2.7.3 - SISTEMA DE COMUNICAÇÃO.....	30
2.8 – IMPORTÂNCIA DA AUTOMATIZAÇÃO NOS SISTEMAS.....	30
2.9 – APLICAÇÃO PROPOSTA.....	31

CAPÍTULO 3 – ENERGIA SOLAR E COLETOR SOLAR SENSORES, ATUADORES E SINAIS PADRÕES

3.1 - CAPTAÇÃO DE ENERGIA ALTERNATIVA.....	32
3.1.1 - ENERGIA SOLAR.....	32
3.1.1.1 – Constante solar.....	32
3.1.1.2 – Insolação.....	32
3.1.1.3 – Disponibilidade da energia solar.....	33
3.1.1.4 – Aproveitamento da energia solar.....	33
3.1.2 – SISTEMA TÉRMICO OU SISTEMA TERMOSOLAR E SEUS ASPECTOS TÉCNICOS.....	33
3.1.2.1 – Aquecedor solar.....	34
3.1.2.2 – Troca de calor e efeito estufa.....	35
3.1.2.3 – Sistema de aquecimento.....	36
3.1.2.4 – Detalhamento da circulação da água.....	38
3.1.2.5 – Dimensionamento de um sistema de aquecimento solar.....	41
3.1.2.6 – Especificação dos coletores.....	42
3.1.2.7 – Descrição do estudo de caso neste trabalho.....	42
3.1.3 – SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	44

3.1.3.1 – Constituição da placa solar.....	44
3.1.3.2 – Armazenamento de energia.....	44
3.1.3.3 – Instalação.....	45
3.1.3.4 – Aplicação neste trabalho.....	46
3.2 – SENSORES E ATUADORES.....	46
3.2.1 – DEFINIÇÃO.....	46
3.2.2 – SENSORES ANALÓGICOS E DIGITAIS.....	47
3.2.3 – FUNCIONAMENTO BÁSICO DOS SENSORES.....	47
3.2.3.1 – Conceitos básicos de aquisição de dados.....	49
3.2.4 – SENSORES ATIVOS E PASSIVOS.....	51
3.2.5 – SINAIS DE TENSÃO ELÉTRICA.....	53
3.2.6 – SINAIS DE CORRENTE ELÉTRICA.....	55
3.2.7 – SENSORES TÉRMICOS.....	55
3.2.8 – SENSORES OPTICOS.....	56
3.2.9 – SENSORES INTELIGENTES.....	56
3.2.9.1 – Aspectos da digitalização dos sinais.....	57
3.2.9.2 – Resolução e taxa de amostragem.....	58
3.2.9.3 – Padrão para sensor inteligente.....	59
3.2.10 – ATUADORES.....	61
3.2.11 – SENSORES E ATUADORES UTILIZADOS NESTE TRABALHO.....	61

CAPÍTULO 4 – REDES E PROTOCOLOS

4.1 – HISTÓRIA DAS REDES DE DADOS E SISTEMAS VERSÁTEIS.....	63
4.2 – AMBIENTE DE AUTOMAÇÃO.....	63
4.3 – NÍVEIS DE UMA REDE.....	64
4.3.1 – REDE DE INFORMAÇÃO.....	64
4.3.2 – REDE DE CONTROLE.....	65
4.3.3 – REDES DE CAMPO.....	65
4.4 – HIERARQUIZAÇÃO DAS TECNOLOGIAS DE REDE.....	66
4.5 – NÍVEIS DA REDE INDUSTRIAL.....	66
4.6 – SISTEMA PROPRIETÁRIO.....	67
4.7 – SISTEMA ABERTO OU ARQUITETURA ABERTA.....	67
4.8 – ORGANIZAÇÕES INTERNACIONAIS DE PADRONIZAÇÃO.....	68
4.9 - PROTOCOLOS DE REDES.....	68
4.9.1 – PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO.....	69
4.9.2 – PROTOCOLO X10.....	71
4.10 – COMPARAÇÃO ENTRE REDES DE CAMPO.....	72
4.11 – TOPOLOGIA DE REDE.....	74
4.12 – REDES UTILIZADAS NA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL.....	74
4.12.1 – REDES DE COMUNICAÇÃO FIELDBUS.....	74
4.12.1.1 – Estrutura Fieldbus.....	76
4.12.1.2 – Características do padrão Fieldbus.....	77
4.12.2 – REDES DEVICENET.....	78
4.12.2.1 – Características do padrão DeviceNet.....	79
4.13 – CONCLUSÕES.....	80

CAPÍTULO 5 – PROCESSO DE CONTROLE ATRAVÉS DA LÓGICA FUZZY

5.1 – INTRODUÇÃO À LÓGICA FUZZY.....	82
5.2 – SISTEMAS DE CONTROLE INTELIGENTE ATRAVÉS DA LÓGICA FUZZY.....	82

5.3 – SISTEMA ESPECIALISTA FUZZY	85
5.4 – MODELAGEM DO CF PARA O RESERVATÓRIO TÉRMICO	85
5.4.1 – CONDIÇÕES INICIAIS DO PROJETO	85
5.4.2 – CONJUNTOS FUZZY DE ENTRADA E SAÍDA	89
5.4.3 – REGRAS PARA O CONTROLADOR FUZZY	90
5.4.4 – DIAGRAMA EM BLOCO DO CONTROLADOR FUZZY NO SIMULINK	91
5.5 – RESULTADOS OBTIDOS	92
5.5.1 – CONTROLADOR FUZZY	92
5.5.2 – SINAL NO SISTEMA DE AQUECIMENTO	93
5.6 – MÓDULO DE POTÊNCIA DO CONTROLADOR FUZZY	94
5.7 – DIAGRAMA FINAL DO SISTEMA PROPOSTO	95
5.8 – ANÁLISE ECONÔMICA	96
CONCLUSÕES	97
SUGESTÕES	98
– CONTROLADOR FUZZY PARA ILUMINAÇÃO	98
– CONTROLADOR FUZZY DESTINADO A UM SISTEMA INTEGRADO DE	99
REFERÊNCIAS	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Regiões e suas irradiações	34
Tabela 3.2 - Latitudes de algumas cidades brasileiras e a inclinação dos coletores	40
Tabela 3.3 - Volume de água quente de acordo com o consumo.....	41
Tabela 3.4 – Sensores associados aos sentidos humanos.....	47
Tabela 3.5 – Características técnicas.....	51
Tabela 3.6 – Material.....	51
Tabela 3.7 – Campos de aplicação	52
Tabela 3.8 – Mecanismo de conversão.....	52
Tabela 3.9 – Tipos de sensores.....	52
Tabela 3.10 – Tipo de estímulo	53
Tabela 3.11 – Meios de detecção	53
Tabela 3.12 – Digitalização dos sinais.....	57
Tabela 4.1 – Comparação entre tecnologias de redes.....	72
Tabela 4.2 – Informações básicas de redes.....	73
Tabela 5.1 – Ângulo de disparo X tempo em minuto para variar 1° C na água.....	87
Tabela 5.2 – Despesa para instalação do sistema.....	96
Tabela 5.3 – Consumo médio do prédio.....	96

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Estrutura de integração dos sistemas.....	24
Figura 3.1 – Esquema de construção de um coletor solar fechado.....	36
Figura 3.2 – Esquema de construção de um sistema de aquecimento por coletor solar	37
Figura 3.3 – Instalação através do sistema de termosifão.....	38
Figura 3.4 – Comparação de sistemas de termosifão.....	39
Figura 3.5 – Instalação do sistema de termosifão com circulação forçada/bombeado	40
Figura 3.6 – Foto de um painel fotovoltaico.....	46
Figura 3.7 – Esquema de um sistema de aquisição de dados.....	48
Figura 3.8 – Cadeia de medida (sensor inteligente)	56
Figura 3.9 – Amplitude dos sinais e suas faixas de entradas.....	58
Figura 3.10 – Resolução e taxa de amostragem.....	59
Figura 3.11 – Diagrama em blocos de um nó de transdutor (sensores e atuadores) inteligente e o local da interface digital P1451.2.....	60
Figura 3.12 – Cadeia de atuação (atuador inteligente)	61
Figura 4.1 – Níveis de uma rede.....	64
Figura 4.2 – Pirâmide hierárquica das redes.....	66
Figura 4.3 – Componentes básicos do sistema X10.....	71
Figura 4.4 – Redes Fieldbus	77
Figura 4.5 – Redes DeviceNet.....	79
Figura 5.1 – Sistema especialista fuzzy.....	85
Figura 5.2 – Sistema de aquecimento completo.....	86

Figura 5.3 – Gráfico da $R (\Omega) \times T (^{\circ} C)$	87
Figura 5.4 – Entrada e saída no controlador fuzzy.....	89
Figura 5.5 – Entrada do controlador fuzzy.....	90
Figura 5.6 – Detalhamento da entrada do controlador fuzzy.....	90
Figura 5.7 – Saída do controlador fuzzy.....	90
Figura 5.8 – Diagrama em bloco do sistema de aquecimento.....	91
Figura 5.9 – Gráfico de $P(t) \times E$	92
Figura 5.10 – Regras de entrada e saída.....	92
Figura 5.11 – Sinal do set-point indicado pelo “scope1” da Figura 5.8.....	94
Figura 5.12 – Sinal de erro indicado pelo “scope2” da Figura 5.8.....	94
Figura 5.13 – Sinal indicado pelo “scope3” da Figura 5.8.....	94
Figura 5.14 – Sinal indicado pelo “scope” da Figura 5.8.....	94
Figura 5.15 – Módulo do sistema de potência de aquecimento.....	95
Figura 5.16 – Diagrama simplificado do sistema completo.....	95
Figura 1 – Diagrama em bloco do sistema de iluminação.....	99
Figura 2 – Controlador Fuzzy com diversas entradas de controle.....	99

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- A/D - Analógico para Digital
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
- AFNOR - Association Française de Normatisation
- ANSI - American National Standards Institute
- ASCII - American Standard Code for Information Interchange
- AS-I - Actuador Sensor Interface
- AT – Atuador
- ATM - Asynchronous Transfer Mode
- BAS - Building Automation Systems
- BSI - British Standards Institute
- CAN - Controller Area Network
- CCITT – Consultative Committee for International Telephone and Telegraph
- CEBus - Consumer Electronic Bus
- CF – Controlador Fuzzy
- CFTV – Circuito Fechado de TeleVisão
- CIC – CeBus Industry Council
- CLP – Controlador Lógico Programável
- CRC – Cyclic Redundancy Check
- CS - Coletores Solares
- CSMA/CA - Carrier Sense Multiple Access, Collision Avoidance
- d.d.p. – Diferença de Potencial
- DIN – Deutscher Industrie Normen
- EIA - Electronic Industries Association
- EIB - European Installation Bus

EIBA - European Installation Bus Association

EPS – Enterprise Production Systems

ERP – Enterprise Resource Planning

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

HART – Highway Addressable Remote Transducer

HPNA – Home Phoneline Networking Alliance)

HVAC - Heating Ventilation and Air Conditioning

I/O – Input/Output

IEC – International Electric Committee

IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers

IETF - Internet Engineering Task Force

ISA – Industry Standard Architecture

ISO – International Standards Organization

ITU - International Telecommunications Union (antigo CCITT – Consultative
Committee for International Telephone and Telegraph)

LAN – Local Area Network

LP – Limited Partnership

MAC - Medium Access Control

mca – metro por coluna de água

MES – Manufacturing Execution System

NAHB – National Association of Home Builders

NB - Norma Brasileira

NBR – Norma Brasileira Registrada

OSI – Open Standard Interconnection

PC – Personal Computer

PCI - Peripheral Component Interconnect

PIMS – Plant Information Management System

PIR – Passive Infra Red

RFC - Request For Comment

RS – Recommended Standard

RT - Reservatório Térmico

RTD – Resistance Temperature Detector

SCADA - Supervisory Control and Data Acquisition

SDCD - Sistema Digital de Controle Distribuído

SI - Sensor Inteligente

SIF - Sistema de Inferência Fuzzy

SSCP - Sistemas de Supervisão e Controle Predial

TCP/IP - Transmission Control Protocol / Internet Protocol

TDT - Termostato Diferencial de Temperatura

TEDS - Transducer Electronic Datasheets

UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas

USB – Universal Serial Bus

WAN - Wide Area Network

Wh – Watts hora

WMO - World Meteorological Organization

CAPÍTULO 1 – ASPECTOS GERAIS E ABRANGÊNCIA DO TRABALHO

1.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Desde as últimas décadas do século 20 vem se observando uma forte crise no abastecimento de energia. As estratégias adotadas para resolver o problema mostraram-se não eficazes a longo prazo, assim como degradantes do meio ambiente, como foi o caso da utilização de energia nuclear. Isso sem falar do uso irresponsável dos recursos hídricos que, além do irreversível impacto ambiental causado pelo alagamento de imensas áreas, ainda agrava o problema de abastecimento de água potável, que é uma preocupação em todo planeta.

Este trabalho consiste num estudo de um sistema de automação residencial também chamado de sistema inteligente de controle, associado às técnicas de aproveitamento da energia solar térmica, as quais têm seus sistemas interligados através de redes de comunicação de dados e protocolos específicos para esta aplicação utilizando dispositivos inteligentes disponíveis no mercado que garantem a detecção e a atuação nos diversos controles, com o objetivo de integrar as várias aplicações, e agregar-maximizar seu desempenho, visando abranger cada vez mais funções que buscam a melhoria do nível de conforto em residências inteligentes. O ponto forte deste trabalho é mostrar que através de programa dedicado utilizando um raciocínio próximo a experiência humana pode-se obter um resultado mais confiável e economicamente mais viável em termos de consumo de energia. Para tal foi desenvolvido um sistema de controle fuzzy, e os resultados foram mostrados através de simulação.

1.2– ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Esta pesquisa está estruturada em cinco capítulos, nos quais os assuntos pertinentes a cada um serão abordados conforme descrito a seguir.

No capítulo 2 é feita uma breve introdução mostrando as vantagens da utilização dos sistemas automatizados no dia-a-dia de nossa sociedade, além da viabilidade econômica da utilização desses sistemas por uma parte significativa da população. São estudados ainda alguns sistemas integrados e proposta de aplicação.

O capítulo 3 divide-se em duas partes distintas. A primeira descreve o funcionamento dos coletores de energia solar pelos dois sistemas utilizados atualmente: o termosolar e o fotovoltaico, e na segunda são apresentados os diversos tipos de sensores e atuadores e seus sinais elétricos padrões.

A descrição detalhada de um ambiente de automação é o tema do capítulo 4, que mostra ainda as vantagens e desvantagens na aplicação de cada uma das redes utilizadas atualmente, em escala mundial, numa automação residencial em edifícios, seus padrões internacionais e protocolos.

O capítulo 5 sintetiza a aplicação da lógica fuzzy na automação residencial, simulando resultados por meio de programa dedicado – Matlab –, expandindo um controlador fuzzy genérico para um controlador de aquecimento de água, iluminação e previsão para futuros controles. Dentre as vantagens com relação à redução do consumo de energia, proporcionadas pela implementação do sistema que utiliza a lógica fuzzy ficaram comprovadas a economia e a viabilidade do uso.

Este trabalho se encerra com conclusão e sugestões.

1.3– REVISÃO DA LITERATURA

As últimas décadas do século passado marcaram um avanço tecnológico inimaginável, que vem proporcionando à humanidade um nível de conforto que num passado bem próximo não se ousava sequer sonhar.

Entretanto, as usinas hidroelétricas, que garantem esse conforto pela geração de energia elétrica, vêm mostrando sinais preocupantes de esgotamento e alteração do meio ambiente. Como fazer então para manter todas essas conquistas que o ser humano vem adquirindo ao longo dos tempos?

A resposta é a busca por fontes alternativas renováveis e limpas, pois a degradação ambiental também compromete muito a qualidade de vida que se pretende.

Partindo dos primeiros edifícios inteligentes, criados a partir da década de 1970, que apresentavam os sistemas HVAC (Heating Ventilation and Air Conditioning), sem integração entre si, e continuando pela década seguinte, já com os primeiros edifícios inteligentes, o estudo passa pelas redes prediais desenvolvidas nos anos 1990 e chega até os nossos dias, com a integração dos sistemas numa mesma topologia e infra-estrutura, tudo isso devido a avanços tecnológicos de redes e padronização pelas normas.

Não houve, neste trabalho a preocupação de pesquisar outros trabalhos que vêm sendo desenvolvidos na mesma área, o objetivo foi demonstrar a possibilidade de integração de tecnologia de que dispomos nos tempos atuais para a implementação de redes no campo da automação doméstica.

CAPÍTULO 2 – AUTOMAÇÃO EM EDIFÍCIOS OU CASAS RESIDENCIAIS

2.1 – O FUTURO AUTOMATIZADO

Para muita gente, idéias como computadores ou circuitos que cuidam do lar com eficiência soam como mera extravagância futurística.

Entretanto, ao se deparar com saguões de prédios que registram sua presença, iluminando o caminho, ou com portas de garagem que só se abrem quando reconhecem o dono, ou ainda com elevadores que saúdam o usuário com sua música predileta, não se pode deixar de reconhecer que muito do que a ficção científica projetava para os nossos dias nas décadas de 1950 a 1960 hoje é realidade.

Se ainda não podemos contar com carros voadores, nem morarmos numa estação espacial, e tampouco podemos escapar de um congestionamento por meio de teletransporte, por outro lado os robôs domésticos e os computadores inteligentes já são uma realidade (BOLZANI, C. A. M., 2004).

Deve-se admitir, entretanto, que o alto custo desses produtos ainda os torna inacessíveis à maioria da população. Mas a generalização do uso e o aumento da oferta vêm provocando progressiva queda nos preços, e a automação esta se tornando acessível a um número cada vez maior de usuários.

Mesmo no Brasil, onde uma expressiva parcela da população não dispõe de sequer de saneamento básico, a demanda por esses produtos vem aumentando de maneira significativa. O aumento da criminalidade e delinqüência nos últimos anos vem tornando a implementação de sistemas voltados para a segurança cada vez mais comum.

2.2 – TAREFAS AUTOMATIZADAS

Edifícios, em geral, automatizam o sistema de iluminação – que pode ser ligado e desligado pela percepção de presença humana ou pela iluminação externa (solar) –, o sistema de climatização, de elevadores, o circuito fechado de televisão, o controle de acesso e os sistemas de segurança patrimonial. Alguns controlam ainda a demanda de energia elétrica, a irrigação de jardins, a circulação em áreas sociais, como piscinas, salões e quadras, fazem o monitoramento de gases como dióxido de carbono e GLP e etc., e de dispositivos de detecção e controle de incêndio.

Com o controle dessas funções temos uma drástica redução do consumo de energia elétrica, pois todos os equipamentos são programados para entrar e sair de funcionamento de acordo com a necessidade do usuário.

2.3 – IMPACTOS NA VIDA COTIDIANA

É muito fácil se acostumar ao conforto e à praticidade. Controle remoto, forno de microondas, telefone celular, tudo isso era ficção até pouco tempo atrás, mas hoje parece impossível viver sem esses equipamentos.

E quanto às câmeras de segurança? Em se tratando de prédios públicos, pode-se dizer que elas são unanimidade. Entretanto sempre questionaremos o binômio segurança versus quebra de privacidade.

Nos dias de hoje, a comunicação entre as pessoas adquiriu uma importância enorme. Todos querem sistemas que se comuniquem entre si e com o mundo. O futuro caminha no sentido de se poder, cada vez mais, monitorar e comandar qualquer coisa a distância, inclusive a própria casa. Comandos por celular e via internet são os mais cotados, mas ondas de rádio também são uma boa opção (ROSÁRIO, J. M., 2004).

2.4 – HISTÓRIA DOS EDIFÍCIOS INTELIGENTES

O desenvolvimento dos sistemas de automação voltados para aplicações prediais não comerciais ocorreu após a generalização do uso de seus similares nas áreas industrial e comercial. Até o início da década de 1990, os sistemas de redes prediais destinados à transmissão de voz, dados e imagem utilizavam estruturas proprietárias, e seus projetos eram executados de forma independente do restante das instalações, o que prejudicava sua disseminação. A partir de então, a proposta de padronização, representada pelas normas internacionais, e os avanços nas tecnologias de redes propiciaram uma maior integração entre os diversos sistemas existentes sob uma mesma topologia e infra-estrutura de cabeamento.

Essa padronização constitui um suporte completo na elaboração de um projeto de automação, englobando os diversos dispositivos e acessórios. Com isso, os projetos que até então se destinavam apenas à telefonia ou aos sistemas de aquecimento e controle de energia passaram a observar os novos requisitos dos sistemas integrados de automação, de voz, dados e imagem (PINHEIRO, J. M. S., 2001).

2.5 – A REALIDADE DOS EDIFÍCIOS INTELIGENTES

Finalmente foi atingido um nível tecnológico em que a construção dos edifícios faz jus ao adjetivo que lhe é atribuído: “inteligente”. Poucos anos depois da fase de aparecimento dessa categoria de edifícios no mercado, surgiram kits para novos empreendimentos, que são os chamados módulos para aplicações específicas.

Atualmente uma segunda geração de edifícios inteligentes possibilita integração e separação dos sistemas com o auxílio das avançadas tecnologias

computacionais e de telecomunicações. A grande vantagem deste tipo de sistema é o suporte por uma base de dados sólida, o que proporciona custos reduzidos e capacidade de processar rapidamente uma quantidade vasta de informação. Novos programas vêm sendo criados para possibilitar adaptação às novas tecnologias que surgem a cada dia. O relacionamento e a interligação inteligente, certamente em uma escala urbana, são também uma manifestação da economia e das inovações tecnológicas. Embora estejam fisicamente isolados, os controles de sistemas individuais podem ser regulados por um computador central para otimizar os desempenhos individuais e em conjunto, o que caracteriza um edifício inteligente. Esta nova geração de edifícios está concentrada na sensibilização econômica, ou seja, na gestão de energia, flexibilidade e integração dos sistemas, para além da utilização de coletores solares e turbinas eólicas que permitam um potencial auto-suficiente.

2.6 – CONCEITOS “DOMÓTICA” E “IMMÓTICA”

Os fabricantes de sistemas para automação predial, também conhecido como BAS (*Building Automation Systems*), buscaram acompanhar a evolução tecnológica das redes de comunicação, ampliando a utilização de sistemas estruturados que favorecem a interoperabilidade entre os diversos sistemas, abandonando a prática de um sistema de cabeamento independente para cada tipo de aplicação. Essa integração de sistemas passou a ser conhecida pelo neologismos "domótica" e "immótica". A domótica descreve a integração de dispositivos eletrônicos, eletrodomésticos e sistemas de comunicações em uma habitação individual, enquanto a immótica trata dos sistemas relativos aos prédios comerciais e condomínios.

A immótica se distingue da domótica, não pela técnica empregada, mas pelo público a que se destina. Enquanto a domótica atende às necessidades da habitação individual, a immótica cuida dos recursos utilizados no edifício como um todo, objetivando a satisfação de uma estrutura empresarial.

Em qualquer um dos casos, o princípio básico é a integração dos sistemas em todos os equipamentos, interligados e operados através de uma rede doméstica. A infra-estrutura necessária para a automação é criada desde o início do projeto, ou seja, prevista nos orçamentos iniciais e incorporadas durante a construção (PINHEIRO, J. M. S., 2001).

2.7 – SISTEMAS INTEGRADOS

O conceito de domótica, assim como o da immótica, compreende as áreas de segurança, comunicação, energia e conforto de uma forma integrada, conforme se verifica na Figura 2.1.

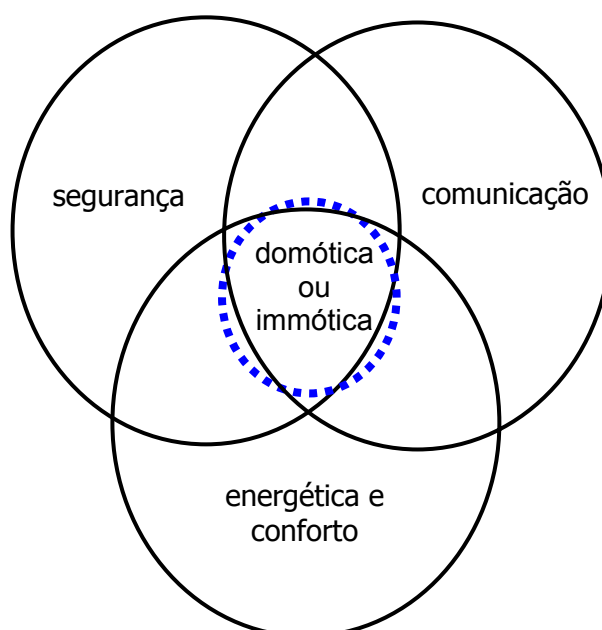


Figura 2.1 – Estrutura de integração dos sistemas

Sistema de segurança - contra intrusão e em nível técnico

- Segurança periférica;
- Detecção e alarme de incêndio ou gás;
- Circuito fechado de televisão;
- Controle de acesso;
- Fornecimento de energia para luzes de emergência.

Sistema energético - controle e racionalização de energia

- Controle de iluminação
- Controle de aquecimento de água

Sistema de comunicação - são consideradas as comunicações internas com o exterior, com o objetivo de integrá-las da forma mais eficiente e global.

2.7.1 – SISTEMAS DE SEGURANÇA

Inicialmente, os sistemas de segurança tinham apenas a finalidade de proteger as pessoas e propriedades contra intrusos. Desenvolvimentos posteriores capacitaram-nos à realização de outras tarefas de segurança, tais como detecção de incêndio, de presença de monóxido de carbono e outros perigos. Os sistemas de segurança mais avançados podem fazer mais do que proteger edifícios e pedir ajuda.

Numa rede de comunicações de dados, os mesmos sensores que detectam movimento, fogo ou líquidos podem ser utilizados para ativar um número variado de ações. Uma interface do sistema de segurança permite controlar a iluminação e outros sistemas no edifício. O sistema de segurança pode enviar sinais para ligar e

desligar a iluminação de acordo com que captam os detectores de movimento e ativar toda a programação de integração do sistema.

2.7.1.1 – Segurança periférica

Sempre que um detector (ou rede de detectores) de ocupação ou proximidade acusar uma alteração de estado fora do horário de funcionamento normal do edifício, esta situação configurará intrusão. Em consequência, a placa supervisora deverá desencadear; uma rotina de alta prioridade, de modo a informar o computador central da situação de alarme, podendo ainda ativar a iluminação do espaço onde ocorreu a intrusão, ou então essa situação de alarme será desativada pelo sistema ou por alguém encarregado, através de uma senha introduzida no sistema de segurança.

2.7.1.2 – Sistema de detecção de incêndios ou gás

O sistema de detecção de incêndios pode ser implementado com o auxílio de um computador e de detectores de fumaça, gás e sensores de temperatura. O sistema monitora o estado dos detectores distribuídos por todo o edifício. O edifício estará dividido por zonas supervisionadas pelos detectores. Perante uma situação de incêndio, quando um detector passa ao estado de ativado, o sistema do edifício tem de identificar imediatamente de qual se trata e qual a sua localização exata para poder informar os bombeiros. A ativação do sistema e dos mecanismos de alarmes convencionais é realizada, mas adicionalmente o controle inteligente do edifício ocupar-se-á de desligar todos os ventiladores do edifício, se houver, emitir uma mensagem digitalizada de alarme para todos os andares, informando as pessoas da situação e do estado do incêndio detectado, a localização e monitorização do

mesmo e também quais as saídas de emergência a ser utilizadas; hipoteticamente poder-se-ia digitalizar as imagens do fogo captadas pelas câmeras do circuito interno de vídeo e enviá-las por fax, com informação adicional para locais pré-definidos e imprimir planos detalhados do edifício onde o incêndio se estaria a propagar, para assim facilitar a ação dos bombeiros. Finalmente a iluminação de todo o edifício se acenderia com o mesmo fim.

Neste projeto, este sistema será simplificado, para que, nos caso de detecção incêndio ou vazamento de gás, seja ativado o sistema de mecanismo de alarmes convencionais em todos os andares, adicionado ao sistema inteligente do edifício desencadeando uma rotina de alta prioridade.

Serão instalados sensores de temperatura também nas garagens e em todos os locais onde estejam armazenados produtos facilmente inflamáveis além dos chuveiros automáticos que atuarão na extinção de incêndio.

2.7.1.3 – Circuito Fechado de TeleVisão (CFTV)

Os componentes básicos de um sistema de vigilância são as câmeras e os monitores. Este trabalho leva em conta somente o sistema em si e não as características técnicas dos diversos tipos de equipamentos que poderiam ser utilizados, assim como os locais de instalação e seus devidos cuidados.

Pode-se citar como exemplo um tipo de câmera simples, para uso externo, dotado de um detector de movimento. Essa câmera pode até mesmo emitir um som quando alguém se aproximar ou acionar a gravação de uma fita num videocassete.

Quanto aos monitores, deve haver uma integração entre o CFTV e o sistema de gravação de vídeo.

2.7.1.4 – Controle de acessos

Pode-se compreender como segurança física de um edifício o controle de acessos e a detecção de intrusão. O sistema utilizado para o controle de acessos pode ser um cartão de segurança, utilizando-se um simples cartão magnético, um cartão inteligente, um sensor de ocupação, voz, impressões digitais ou leitores de retina. Os últimos três ainda são muito dispendiosos e só são utilizados em instalações especiais. Todo o acesso ao edifício poderá ser controlado por portas automáticas consecutivas. O automatismo de acesso poderá ser feito utilizando-se duas portas consecutivas com um detector volumétrico entre elas, que automatiza a abertura ou o fechamento das portas. O controle terá de ter um tipo de permissão para abrir a primeira porta, que poderá ser do tipo de leitura de cartões magnéticos. Este sistema poderá ser complementado, consoante o grau de segurança que se queira dar ao edifício, com a ajuda do circuito interno de vídeo, que no momento da entrada de um indivíduo digitalizará sua imagem, enviando-a para o computador mestre, onde ela ficará armazenada juntamente com o código do cartão, data, hora, etc. Note-se que qualquer um destes sistemas poderá ser implementado dentro do edifício, de acordo com o grau de segurança pretendido em cada compartimento. Todos estes sistemas podem ser controlados pelo gestor de segurança através dos sistemas de gestão do edifício.

2.7.1.5 – Fornecimento de energia para luzes de emergência

Em qualquer edifício inteligente existirá um gerador de energia elétrica que atuará sempre em situações de emergência. Sua função será garantir o fornecimento de energia elétrica para os sistemas de segurança mínimos, tais como luzes de emergência, serviços de detecção de incêndio assim como todo o

equipamento ligado ao computador-mestre da gestão do edifício e equipamentos de áreas pré-determinadas.

2.7.2 – SISTEMA ENERGÉTICO OU SISTEMA DE ENERGIA

Tem por objetivo principal reduzir o consumo e/ou custos de eletricidade, mantendo o conforto e a segurança dos ocupantes do edifício. Algumas das estratégias para o controle e supervisão de energia incluem:

- Programação horária;
- Ligamento e desligamento otimizado de lâmpadas por meio de algoritmos de controle de iluminação. Podem ser baseados em ocupação, horário, nível de iluminação externa ou liga/desliga;
- Aquecimento de água para diversas aplicações através de outros recursos energéticos como coletor solar.

2.7.2.1 – Controle de iluminação

Parte da iluminação poderá ser administrada pelo sistema de gestão de energia. A iluminação pode ser automatizada através de programação de luminosidade com a ajuda de sensores de iluminância, ocupação ou detecção, integrados de maneira a fornecer informação às placas microcontroladoras e, conseqüentemente, ao computador mestre.

Desta forma, com o controle e automação da iluminação podemos obter diminuição do consumo energia na faixa entre 30% e 50%. As luzes acendem-se e apagam-se segundo horários previstos e programáveis, consoante a estação do ano, o tipo de compartimento, a previsão de horas de ocupação, etc. Terá de existir uma rede de iluminação manual, ou então terá de ser prevista a comutação do

sistema de automático para manual sempre que seja necessário que alguém permaneça no edifício além do horário previsto. Em modo automático, as luzes acendem-se à entrada de um indivíduo quando a iluminação não é suficiente. As luzes apagam-se de forma temporizada quando não detectam presença, sendo esta temporização programada a qualquer momento.

2.7.2.2 – Controle de aquecimento de água

A utilização de fontes de energia alternativas e de equipamentos de conversão de energia de elevado rendimento é uma das vias para um melhor aproveitamento dos recursos disponíveis. Estas possibilidades de aproveitamento energético são especialmente interessantes, devido ao fato de que as atividades concentram-se durante o dia, sendo muito reduzidas durante a noite. Isso sem se falar de suas diversas utilizações.

Em pesquisas feitas por companhias de força e luz dos estados brasileiros, constatou-se que o chuveiro elétrico responde por até 65% do consumo de energia elétrica de uma residência (TECNOSOL, 2005) e (ASTRO-SOL).

2.7.3 – SISTEMA DE COMUNICAÇÃO

Tem por missão interligar todos os elementos que constituem um edifício inteligente. A troca de informações processa-se em diferentes níveis, dependendo a dimensão da rede.

2.8 – IMPORTÂNCIA DA AUTOMATIZAÇÃO DOS SISTEMAS

As características fundamentais que devemos encontrar num sistema inteligente são:

- Capacidade para integrar todos os sistemas;
- Atuação em condições variadas, ligadas entre si;
- Facilidade na interligação com o utilizador;
- Noção temporal;
- Memória;
- Fácil reprogramação;
- Capacidade de autocorreção.

Em qualquer caso, a principal virtude destes controles está na nova concepção da gestão de sistemas, deixando o modelo eletromecânico convencional e adaptando um modelo puramente informático e computadorizado.

Os edifícios inteligentes, quando geridos corretamente, são de grande utilidades para seus proprietários e apresentam benefícios de custo, conforto, conveniência, segurança, concorrência, flexibilidade de utilização e melhoramento. O edifício inteligente ideal é aquele que interliga as soluções de acordo com as necessidades dos ocupantes.

2.9 –PROPOSTA DE APLICAÇÃO

O objetivo principal deste trabalho é a redução do consumo de energia elétrica por meio dos recursos tecnológicos existentes. Uma situação fictícia foi adotada, deixando de lado alguns sistemas de menor importância ou aplicabilidade, a fim de levar em conta também o investimento inicial, já que a proposta aqui é para um edifício residencial de padrão médio com 10 andares e 4 apartamentos por andar.

Serão utilizados os sistema de:

- Segurança periférica (alarme sonoro e/ou luminoso);
- Detecção de incêndio ou gás;
- Controle de acesso;
- Iluminação de emergência (corredores e locais públicos);
- Controle central de aquecimento de água – para todos os usuários.

CAPÍTULO 3 – ENERGIA SOLAR E COLETOR SOLAR

SENSORES, ATUADORES E SINAIS PADRÕES

3.1 – CAPTAÇÃO DE ENERGIA ALTERNATIVA

3.1.1 – ENERGIA SOLAR

O conceito de energia solar nada mais é que a aplicação direta das leis da física, presentes praticamente em todos os fenômenos naturais do universo.

3.1.1.1 – Constante solar

É o fluxo de energia por unidade de área, medida num plano normal à radiação solar, no nível das mais altas camadas da atmosfera. Dados recentes da WMO (World Meteorological Organization) indicam um valor médio de 1367 W/m^2 para a radiação extraterrestre. (ENERGIA SOLAR - PRINCÍPIOS E APLICAÇÕES, 2005)

3.1.1.2 – Insolação

É a quantidade de radiação proveniente do Sol que incide sobre uma superfície. Em janeiro, a Terra está mais próxima do Sol no hemisfério sul (solstício de verão); em julho, está mais longe (solstício de inverno). O eixo de inclinação da Terra nos indica as estações e a distribuição da radiação solar ao longo do ano.

Frente a esta realidade, seria irracional não buscar, por todos os meios tecnicamente, aproveitar esta fonte de energia limpa, inesgotável e gratuita.

A Terra recebe energia radiante do Sol a um regime de $173 \times 10^{15} \text{ W}$ (*);

(*) Área projetada da Terra = $(6,3 \times 10^6)^2 \times 3,14 = 124,63 \times 10^{12} \text{ m}^2$;

Constante solar = 1.367 W/m^2 ;

Energia recebida (condições ideais) = $124,63 \times 10^{12} \times 1.367 = 170,4 \times 10^{15} \text{ W}$

Energia recebida (condições reais) $\approx 124,63 \times 10^{12} \times 750 = 93,5 \times 10^{15} \text{ W}$

3.1.1.3 – Disponibilidade da energia solar

A intensidade de energia solar que chega a um determinado ponto do planeta pode ser medida, em dada época do ano, através da seguinte expressão:

$$I = I_0 \cos i$$

onde: I = intensidade da energia solar em W/m^2
 I_0 = constante solar ($1.367 W/m^2$)
 i = ângulo de declinação em grau

3.1.1.4 – Aproveitamento da energia solar

É um recurso que pode nos trazer diversas vantagens, entre elas o aquecimento de água e o controle do sobreaquecimento do globo terrestre. Pode também colaborar para o aumento de divisas do país, pela economia de GLP (Gás Liquefeito de Petróleo) e diesel, além de evitar a inundação de muitas áreas para a geração de energia elétrica e eliminar o consumo de lenha (ASTRO-SOL).

A energia solar aproveitável depende do tempo de insolação, em média de 6,5 a sete horas diárias na região centro-sul do Brasil, alcançando valores mais elevados na região nordeste. Pode-se dizer, pois, que o aquecimento solar útil se realiza durante cerca de 2.372 a 2.555 horas (365 dias x 7 horas), anualmente (MACINTYRE, A. D. J., 1996).

3.1.2 – SISTEMA TÉRMICO OU SISTEMA TERMOSOLAR E SEUS ASPECTOS TÉCNICOS

É fundamentado na absorção de energia radiante por uma superfície.

Podemos utilizar a energia solar térmica em: piscinas, chuveiros, indústrias, cozinhas, vestiários, preaquecimento de caldeiras entre outros.

É óbvio que depende do clima das diversas regiões: em regiões mais quentes certamente o ar-condicionado é o grande vilão. Algumas regiões alcançarão 65% de economia; outras, as mais quentes, poderão atingir até 80% de economia anual, na

geração de água quente (TECNOSOL, 2005) e (ASTRO-SOL).

Exemplo de algumas das regiões em que podemos obter melhores resultados:

Tabela 3.1 – Regiões e suas irradiações (ASTRO-SOL)

Cidade	Irradiação média anual
Porto Alegre	3755 (Kcal/m ² /dia)
São Paulo	3944 (Kcal/m ² /dia)
Belo Horizonte	4467 (Kcal/m ² /dia)
Brasília	4556 (Kcal/m ² /dia)
Recife	4608 (Kcal/m ² /dia)
Manaus	3918 (Kcal/m ² /dia)
Ribeirão Preto	4439 (Kcal/m ² /dia)

O que determina a eficiência de um sistema de aquecimento solar é a área de absorção dos raios solares (quanto maior for a área em m² do coletor solar, melhor será o resultado) e a capacidade de retenção de calor do reservatório térmico. Em termos práticos pode-se constatar que os fabricantes de coletores solares trabalham com área bem próximas mantendo um padrão, assim, para um aumento da eficiência é necessário alterar a quantidade de coletores.

3.1.2.1 – Aquecedor solar

É um equipamento utilizado para o aquecimento da água pelo calor do sol e seu armazenamento para uso posterior. É composto por placas de coletores solares, por meio dos quais ocorre o aquecimento da água pelos raios solares; e um reservatório térmico, onde é armazenada a água quente para ser utilizada posteriormente, tendo em vista que a maior demanda ocorre no período noturno, quando o sol não está mais presente.

3.1.2.2 – Troca de calor e efeito estufa

A radiação solar incide na face transparente do coletor, e parte da mesma atinge a chapa de alumínio pintada de preto que está no interior da caixa. Fixada à placa de alumínio está a tubulação de cobre, também pintada de preto. Pelo processo de condução, parte do aquecimento da placa é transmitida para a tubulação e para a água. A capacidade de aquecimento da placa metálica depende de sua área e espessura. A cor preta aumenta a absorção da energia solar, aquecendo a água mais rapidamente.

No fundo da caixa, coloca-se lã de vidro, um material isolante térmico que, assim como a cobertura de vidro, ajuda a diminuir a transferência de energia para o ambiente. O vidro, transparente à luz, provoca o efeito estufa e impede a saída da radiação infravermelha, retendo-a no interior do coletor, contribuindo ainda mais para aumentar a temperatura da água no interior da tubulação a valores próximos de 60° C a 70° C, podendo chegar a 80° C no verão. No inverno a temperatura fica em torno de 28° C.

Os coletores solares planos, empregados para aquecimento de água, podem ser classificados em dois grupos: fechados e abertos.

Os fechados são utilizados para promover o aquecimento de água em temperaturas mais elevadas, cerca de 60° C; os coletores abertos são recomendados para aquecimento de piscinas que operam a baixa temperatura, entre 28° C e 30° C.

Na Figura 3.1 é apresentado o esquema de construção de um coletor solar fechado, com identificação de suas partes.

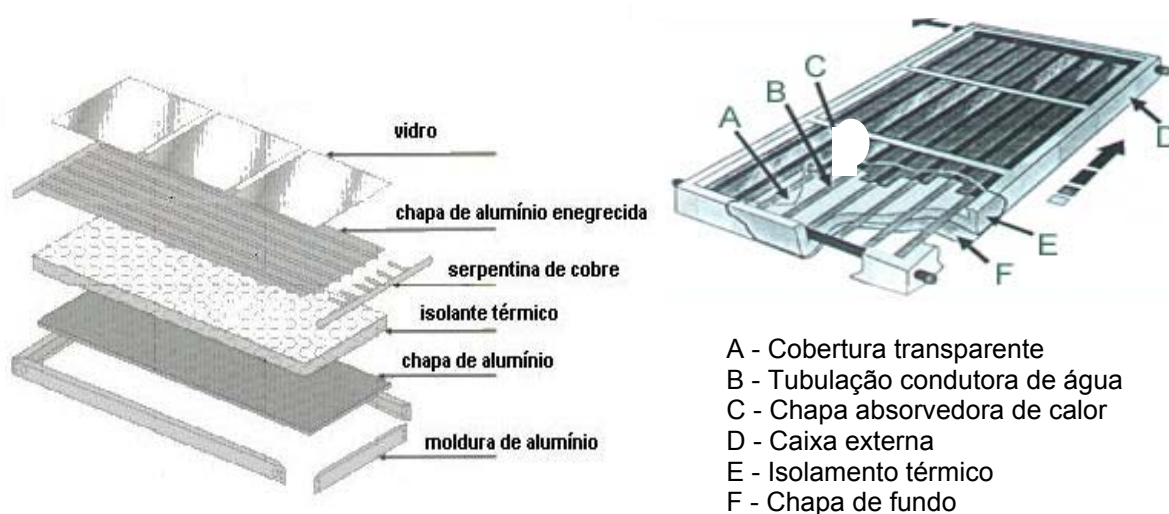


Figura 3.1 – Esquema de construção de um coletor solar fechado,
 cortesia de Astro-Sol aquecedores

Além da condução existem outros dois processos de transferência de energia por diferença de temperatura que são importantes para se determinar a eficiência do coletor solar: a irradiação e a convecção. A proporção dessas três parcelas de energia (absorvida, transmitida e refletida) em relação à quantidade total de energia incidente indica a eficiência do coletor. Quanto maior sua eficiência, maior a quantidade de energia que é transmitida para a água.

3.1.2.3 – Sistema de aquecimento

Uma vez aquecida a água contida na tubulação, torna-se menos densa e desloca-se para a parte superior do reservatório. Ao mesmo tempo, a água mais fria, na parte inferior do reservatório, se desloca para a tubulação, formando uma corrente de convecção térmica. A água quente, pronta para o consumo, sai pela parte superior do reservatório, e uma nova quantidade de água vinda da caixa d'água entra no aquecedor.

O boiler serve para armazenar água quente para consumo. Sua parte externa é feita de alumínio, e a interna de cobre ou aço inox. Em seu interior, a água quente se mistura com a fria, ficando a água quente sempre na parte superior. O boiler possui resistência elétrica para aquecer a água em dias em que não há luz solar suficiente e a temperatura esteja abaixo da mínima estabelecida pelo usuário, comandada por um termostato que pode atuar ligando e desligando a alimentação da resistência elétrica ou ter sua potência controlada de acordo com regras estabelecidas. Toda a parede interna do boiler é revestida de poliuretano expandido. Em dias com grande luminosidade, a água quente pode ficar armazenada por várias horas sem se precisar acionar a resistência elétrica.

A Figura 3.2 apresenta o esquema de construção de um sistema de aquecimento por coletor solar.

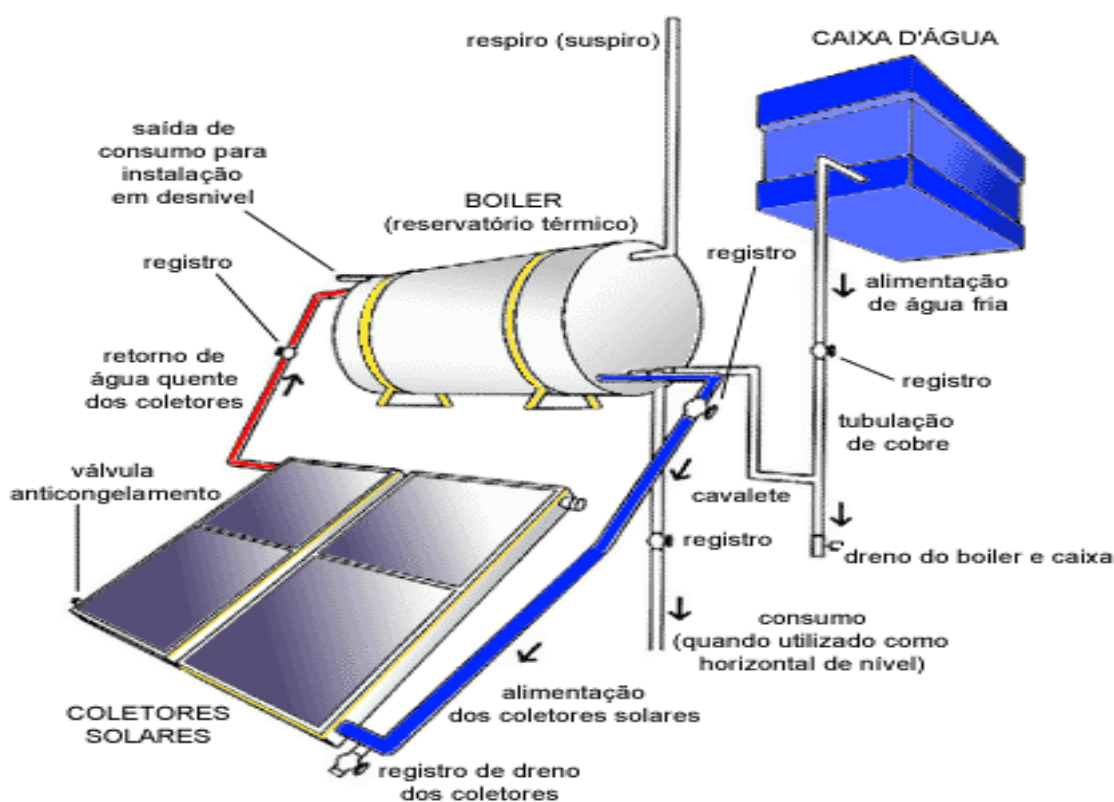


Figura 3.2 – Esquema de um sistema de aquecimento por coletor solar,

cortesia de Soletrol

Existem boilers de alta pressão e de baixa pressão. Os de baixa pressão trabalham com até cinco mca (metros por coluna de água) e os de alta pressão com até vinte mca. Os boilers podem ser de nível (colocado no mesmo nível da caixa fria) ou de desnível (abaixo da caixa fria). A escolha vai depender da altura da cumeeira do local de instalação.

O Brasil, situado em uma região tropical, conta com insolação bastante intensa durante o ano todo e possui os mais elevados índices mundiais de aproveitamento dessa fonte de energia.

3.1.2.4 – Detalhamento da circulação da água

A água pode circular pelos coletores por duas maneiras: natural (termossifão) ou forçada.

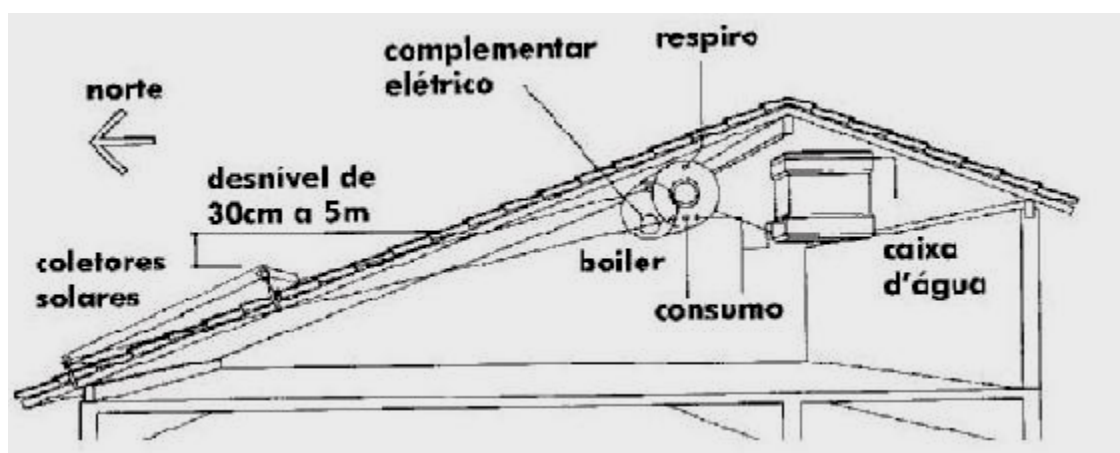
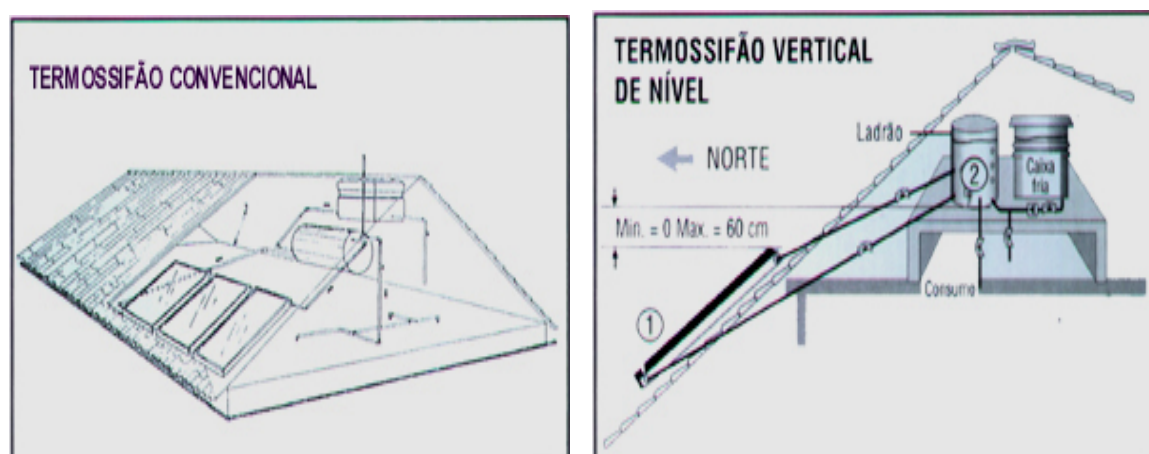


Figura 3.3 – Instalação através do sistema de termossifão, cortesia de André R. Quinteiros (QUINTEIROS, A. R., 2004)

Termossifão: a circulação ocorre devido à diferença de densidade entre a água fria (mais pesada) e a quente (mais leve). Sua vantagem é não precisar de energia elétrica para a movimentação da água. Para haver esse tipo de circulação, é necessário que as placas estejam no mínimo 30 cm mais baixas que a base do

boiler, como indica a Figura 3.3. A distância máxima entre o boiler e as placas tem de ser de cinco metros, caso contrário a circulação por termossifão pode não ocorrer.

A seguir é apresentado um esquema ilustrativo da instalação convencional e vertical de nível do sistema termossifão.



a)convencional

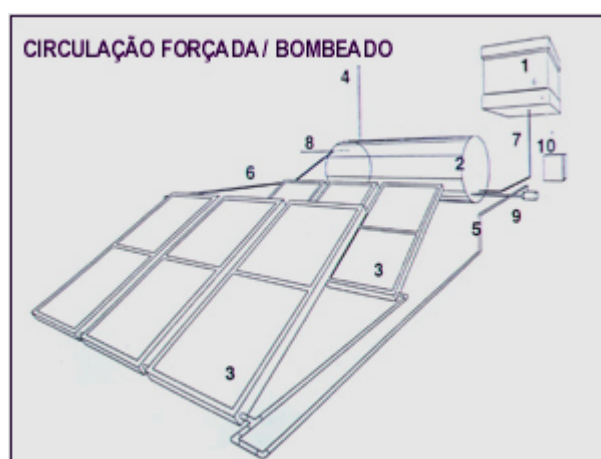
b) vertical de nível

Figura 3.4 – Comparação de sistemas de termossifão,
cortesia de Astro-Sol aquecedores

Forçada: nesse caso a circulação da água não ocorre sozinha e sim com o auxílio de uma microbomba instalada no circuito. As desvantagens nesse tipo de instalação é a dependência da eletricidade (110V ou 220V) e a possibilidade de ocorrerem problemas na microbomba.

O sistema de circulação forçada é aplicado sempre que não houver condição de colocar os coletores solares abaixo do boiler, ou se precisar sifonar os tubos que interligam os coletores solares ao boiler, ou ainda se quando estes tubos precisam percorrer distâncias superiores a cinco ou seis metros. É aplicado também em instalações de grande porte, sempre com a utilização de motobomba e Termostato

Diferencial de Temperatura (TDT), o qual tem por função ligar e desligar a motobomba sempre que a temperatura do coletor solar estiver mais aquecida que a temperatura da água no interior do boiler, como pode ser observado na Figura 3.5.



- 1 – Caixa d'água
- 2 – Boiler
- 3 – Coletor solar
- 4 – Respiro
- 5 – Descida p/ coletores
- 6 – Retorno dos coletores
- 7 – Alimentação de água fria
- 8 – Consumo de água quente
- 9 – Motobomba
- 10 – Termostado Diferencial de Temperatura (TDT)

Figura 3.5 – Instalação do sistema de termossifão com circulação forçada/bombeado, cortesia de Astro-Sol aquecedores

Tabela 3.2 - Latitudes de algumas cidades brasileiras e a inclinação dos coletores
(QUINTEIROS, A. R., 2004)

Cidade	Latitude (grau)	Inclinação (grau)	Cidade	Latitude (grau)	Inclinação (grau)
Belo Horizonte	20	30	Manaus*	2	12
Brasília	16	26	Natal*	6	16
Campo Grande	20	30	Porto Alegre	30	40
Cuiabá	16	26	Recife*	8	18
Curitiba	25	35	Rio de Janeiro	23	33
Florianópolis	28	38	Salvador	13	23
Fortaleza*	4	14	São Paulo	24	34

* Quando a inclinação for menor que 20° recomenda-se a instalação de um suporte,

pois a inclinação mínima é de 20° para garantir o fluxo adequado de água.

A face do coletor solar deve estar voltada primeiramente para o norte. Se isto não for possível, para o noroeste ou o nordeste. E, ainda, se for utilizada a face leste ou oeste do telhado, acrescentar mais 25% de área de coletor solar para compensar as perdas. A Tabela 3.2 apresenta os valores das latitudes e as inclinações por cidade para instalação do coletor solar, considerando latitude local de +10°.

3.1.2.5 – Dimensionamento de um sistema de aquecimento solar

A energia solar seria a grande solução do futuro, mas atualmente a tecnologia aplicada é restrita e o seu uso é aplicado no auxílio do aquecimento e geração de energia, sendo que sempre será necessário o uso da energia convencional (gás, elétrica, etc) para suprir as épocas chuvosas e de baixa insolação.

Tabela 3.3 – Volume de água quente de acordo com o consumo

(QUINTEIROS, A. R., 2004)

Componentes	consumo diário
ducha normal	40 litros por pessoa para banho de 10 minutos
Lavatório	5 litros por pessoa
Bidê	7 litros por pessoa
Cozinha	20 litros por pessoa
Lavanderia	20 litros por Kg de roupa seca
banheira simples	100 litros por banho
banheira dupla	200 litros por banho

O perfil de consumo varia muito conforme os hábitos pessoais e da região onde se encontra, em função dos índices solarimétricos do local. Em geral, podemos

considerar os valores de água quente conforme Tabela 3.3 (QUINTEIROS, A. R., 2004).

Isso considerando um padrão médio para o dimensionamento correto de um sistema de aquecimento solar e evitando a falta de água quente para o consumo ou ainda o superdimensionamento que encarece a instalação. Vamos levar em conta o volume de água de consumo, como indica a Tabela 3.3 (QUINTEIROS, A. R., 2004).

3.1.2.6 – Especificação dos coletores

Utiliza-se um coletor para cada cem litros de água quente (SOLETROL, 2004). No mercado existem vários tipos de coletores para diversas aplicações; as especificações em geral levam em conta a constituição, o isolamento térmico, a disposição de instalação, a pressão de trabalho, as dimensões gerais e peso.

3.1.2.7 – Descrição do estudo de caso neste trabalho

A aplicação proposta aqui é para um edifício residencial de dez andares com quatro apartamentos por andar, sendo que a estimativa de que a ocupação será de três pessoas por apartamento, portanto quarenta apartamentos ocupados, totalizando 120 usuários.

A NBR5626 (ABNT, 1998), que trata de instalações prediais de água fria, estabelece que o volume de água reservado para uso doméstico deve ser, no mínimo, o necessário para atender 24 horas de consumo normal do edifício, sem considerar o volume de água para combate a incêndio (ABNT, 1998).

Em virtude das deficiências no abastecimento público de água em praticamente todo o país, Creder (1995) recomenda que se adotem reservatórios

com capacidade “suficiente para uns dois dias de consumo” e que o reservatório inferior armazene 60%, e o superior 40% do consumo (SOUZA, A. S.,2005).

Para o dimensionamento do aquecedor solar na proposta anterior contendo água quente na cozinha, chuveiros (dois banheiros), lavatório e uma banheira de hidromassagem simples, segundo NBR5626, num prédio de padrão normal a estimativa é de duzentos litros de água por pessoa ao dia; assim, o cálculo do consumo total é dado pelo número de usuários no prédio multiplicado por duzentos litros de água por pessoa, totalizando 24 mil litros de água, ou seja, 24 m^3 de água fria consumida diariamente. Normalmente estima-se uma reserva de 50% do volume total, neste caso $24 \text{ m}^3 \times 1,5 = 36 \text{ m}^3$ sendo 60% equivalentes a $21,6 \text{ m}^3$ no reservatório inferior e 40% equivalentes a $14,4 \text{ m}^3$ volumes para água fria no reservatório superior sendo esses valores mínimos.

Esses dados também podem ser observados na Tabela 3.3 página 43, que servirá como referência apresentada neste trabalho.

A Norma NBR 7198/82 referente a instalações prediais de água quente e a ABNT – NB128 tabela-I, estima que são consumidos sessenta litros de água quente por dia por pessoa, logo temos $60 \text{ l/pessoa} \times 3 \text{ pessoas} \times 40 \text{ apartamentos} = 7,2 \text{ m}^3$ de água quente; trabalhando com a mesma reserva de 50% temos $7,2 \text{ m}^3 \times 1,5 = 10,8 \text{ m}^3$. No caso de um edifício de alto padrão, essa quantidade deve ser no mínimo o dobro.

A opção feita é de 10 reservatórios térmicos com capacidade para um metro cúbico de água aquecida cada um, contendo um sistema de aquecimento complementar elétrico no reservatório térmico (resistência elétrica de duplo circuito blindada e termostato), sua tensão de alimentação é de 220 V e potência de 6 KWatts, que será controlada pelo sistema implantado.

Pesquisas com diversos fabricantes de coletores solares e reservatórios térmicos revelam que para aquecer cem litros de água necessita-se um coletor solar de dimensões aproximadas de $1,7 \text{ m}^2$, o que totaliza cem coletores ocupando uma área de aproximadamente 170 m^2 para aquecer os dez metros cúbicos de água.

No caso de o aquecimento desejado ficar abaixo do obtido poderá ser complementado com resistência elétrica ou a gás. Nesse trabalho, será utilizada somente a energia elétrica.

3.1.3 – SISTEMA FOTOVOLTAICO

É a conversão direta da energia solar em energia elétrica, realizada por meio de painéis fotovoltaicos, cujo armazenamento é feito em grupos de baterias.

3.1.3.1 – Constituição da placa solar

Uma placa solar é formada por células fotovoltaicas de silício, que transformam a luz diretamente em eletricidade, é a “fotossíntese eletrônica”, sem qualquer desgaste de material e durabilidade praticamente ilimitada.

A placa solar funciona com tempo nublado ou chuvoso, sendo que a quantidade de energia elétrica produzida é proporcional à intensidade da luz que incide na placa solar. Desse modo, com céu claro e sol ou mormaço forte, a energia gerada será máxima, mas mesmo com céu nublado haverá geração de eletricidade; até mesmo com tempo chuvoso e pequena claridade existente irá produzir uma pequena quantidade de energia.

3.1.3.2 – Armazenamento de energia

A placa solar não acumula a energia produzida, devendo ser armazenada em baterias para uso posterior, como, por exemplo, para acender lâmpadas durante a

noite. Existem algumas aplicações em que o funcionamento sem baterias é perfeitamente aceitável. Uma bomba d'água, por exemplo, poderá funcionar adequadamente sem o uso de bateria, pois, nesse caso, a água bombeada nos períodos em que há sol pode ser armazenada numa caixa d'água e usada quando for necessária.

A quantidade de energia gerada por uma única placa solar é limitada. À medida que aumenta a demanda, torna-se necessário aumentar a quantidade de painéis solares do sistema assim para se determinar a quantidade de placas solares necessárias para cada aplicação, é preciso, portanto, conhecer quais os equipamentos que deverão ser alimentados, qual sua tensão de operação, quanto consome cada equipamento (em watts), tempo de uso diário estimado, seu consumo em Ampères com base nessas informações, pode se calcular o consumo total dos equipamentos em Watts-hora (Wh) ou em ampères-hora (Ah).

O uso de placa solar não é aconselhável para alimentar um chuveiro elétrico. É muito mais simples e econômico aquecer água usando diretamente um coletor térmico em vez de usar uma placa fotovoltaica para produzir eletricidade e depois transformar a eletricidade em calor.

3.1.3.3 – Instalação

A instalação de um sistema de energia solar é extremamente simples, podendo ser executada sem dificuldades pelo próprio usuário, seguindo as orientações fornecidas junto com o equipamento. Não requer, portanto, a contratação de um técnico especializado. A Figura 3.6 mostra um painel fotovoltaico instalado.

As placas solares são construídas com excelentes materiais, resistem a mais de 25 anos de exposição às mais diversas condições ambientais, com um mínimo de

cuidados e com uma incidência de defeitos desprezível.



Figura 3.6 - Foto de um painel fotovoltaico, cortesia de caderno digital de informação sobre energia, ambiente e desenvolvimento (ENERGIA, AMBIENTE E DESENVOLVIEMENTO, 1995)

3.1.3.4 – Aplicação neste trabalho

O sistema fotovoltaico pode fazer parte da sugestão para ampliação do estudo apresentado, servindo, por exemplo, para alimentar a própria resistência do aquecedor térmico além da iluminação de emergência, iluminação externa, estacionamento e sistemas de segurança.

3.2 – SENSORES E ATUADORES

3.2.1 – DEFINIÇÃO

Sensores são dispositivos que transforma uma grandeza física em um nível elétrico, podendo fornecer direta ou indiretamente um sinal que indica esta grandeza. Os transdutores são dispositivos capazes de transformar um tipo de sinal em outro tipo, com o objetivo de transformar uma forma de energia em outra.

Atuadores são dispositivos elétricos, eletrônicos ou mecânicos que efetuam os processos de geração de movimento linear, rotação ou passo, chave de

acionamento de válvulas, controle de geradores de sinais ópticos ou acústicos, acionador de relé ou chaves de alimentação. Os sinais de atuação são sempre digitais ou analógicos.

3.2.2 – SENSORES ANALÓGICOS E DIGITAIS

O sensor analógico produz um sinal de saída diretamente proporcional ao sinal de entrada, sendo contínuo na amplitude e no tempo. A maioria das variáveis físicas, tais como temperatura, pressão e aceleração, é contínua na natureza e torna-se mensurável com sensor analógico.

O sensor digital produz um sinal de saída que é uma representação digital do sinal de entrada, apresentando valores discretos de amplitude (medidos em instantes de tempo discretos). Um sensor digital deve fornecer níveis lógicos e saída compatíveis com o receptor digital.

A Tabela 3.4 apresenta sensores naturais, associados aos cinco sentidos.

Tabela 3.4 – Sensores associados aos sentidos humanos

Sentido	Tipo de sinal	Propriedade	Sensor	Dispositivo análogo
Visão	Radiante	Intensidade e comprimento de onda da luz	Bastonetes e cones da retina	Filme fotográfico, fotodiodo, fototransistor
Audição	Mecânico	Intensidade e freqüência do som	Caracol (cóclea) no canal auditivo interno	Microfone
Tato	Mecânico	Pressão, força	Nervos	Potenciômetro e LVDT detectores ópticos e sensores matriciais táteis
Olfato	Químico	Odores	Papilas olfativas no nariz	Nariz eletrônico

3.2.3 – FUNCIONAMENTO BÁSICO DOS SENSORES

Um sensor nunca funciona por si só, faz sempre parte de um sistema mais

abrangente de aquisição de dados, que pode incorporar outros detectores, dispositivos de condicionamento (amplificadores, filtros, conversores A/D), processadores de sinal, dispositivos de memória, registradores de dados e atuadores diversos. A Figura 3.7 ilustra o esquema básico de aquisição de dados.

Os sistemas de aquisição de dados são normalmente simples, limitam-se aos sensores e interfaces, que podem dispor de diversos canais, quer analógicos, quer digitais, e permitem a ligação simultânea de vários tipos de sensores; alguns dispõem de geradores de frequência e amplificadores de potência incorporados. Existem igualmente no mercado sistemas em que os sensores se ligam ao computador por meio de uma porta USB (Universal Serial Bus).

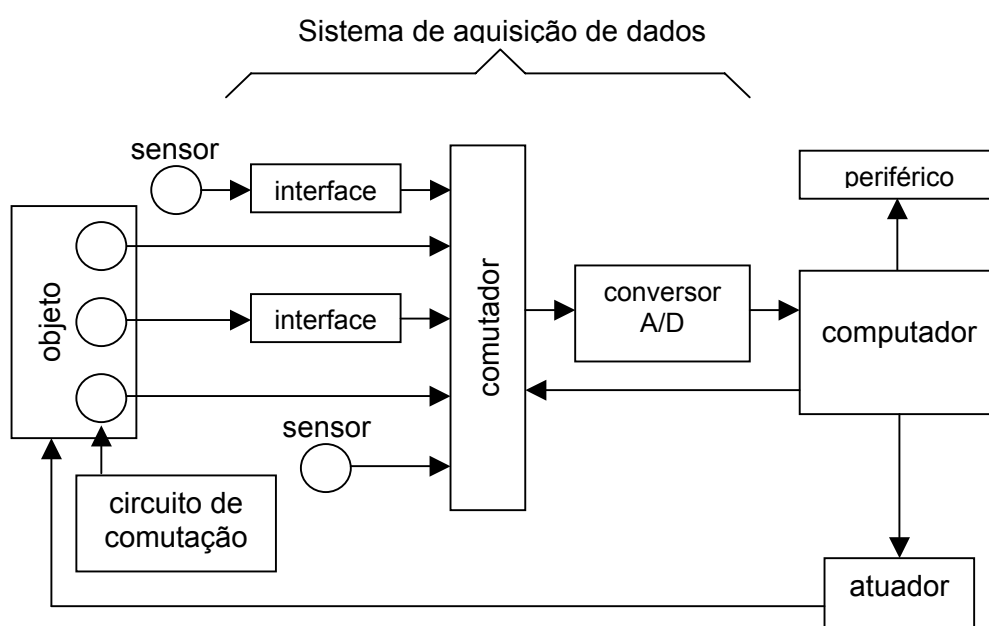


Figura 3.7 – Esquema de um sistema de aquisição de dados

Em alguns casos, os sensores podem ser ligados diretamente a um dispositivo periférico, como por exemplo, os sensores de passagem *light-gates*, de radiação, de tensão e os termopares.

Existe uma enorme variedade de sensores com diferentes funções. O seu funcionamento baseia-se em princípios físicos igualmente variados que em alguns casos são simples, em outros podem ser muito complexos. Mas a sua abordagem não faz parte dos objetivos deste trabalho. Maiores esclarecimentos podem ser encontrados nas referências (FRADEN, J., 1996), (GARDNER, J.W., 1994) e (WEBER, L. J., McLean, D. L., 1975).

3.2.3.1 – Conceitos básicos de aquisição de dados

A Figura 3.7 mostra um sistema de aquisição de dados básico composto por quatro partes básicas:

- Sensores e transdutores;
- Condicionador de sinais ou comutador;
- Conversor A/D e controles associados;
- Programa.

Os sensores e transdutores são os elementos que captam variações físicas e convertem-nas em sinais e impulsos elétricos.

Os condicionadores de sinais são circuitos eletrônicos que promovem a adequação dos sinais analógicos para a conversão digital. Os principais subcomponentes dos condicionadores são os amplificadores, filtros e isoladores. Através dos amplificadores, o sinal analógico é amplificado para ajustar-se à faixa de entrada do conversor A/D; e, quando necessário, o amplificador responsabiliza-se também pela alimentação dos sensores. Os filtros reduzem os ruídos do sinal analógico, ou seja, diminuem eventuais interferências que podem ser originadas por diversas fontes: radiofrequência, rede elétrica, aterramento, etc. Os isoladores, quando presentes, têm a função de proteger os outros módulos contra eventuais

sobrecargas de tensão e corrente, as quais podem causar danos irreversíveis aos circuitos eletrônicos digitais.

O conversor A/D (análogo para digital) é o elemento responsável por traduzir uma grandeza elétrica numa representação numérica adequada ao tratamento digital do sinal obtido. Para tanto é necessário que o sinal proveniente do condicionador respeite algumas condições:

- O sinal não deve ultrapassar a faixa de entrada do conversor A/D.
- A taxa de variação do sinal deve respeitar a taxa de amostragem da aquisição.
- O sinal deve ser adequado à faixa de entrada do A/D, sinais muito pequenos não permitem uma boa resolução na conversão digital.

Após a conversão para digital é necessário que esta informação chegue ao computador. Temos inúmeras formas para isto:

- Comunicação serial RS (RS-232, RS-422, RS-485, etc);
- Comunicação USB;
- Comunicação através da porta paralela (usada normalmente pela impressora). A porta paralela está caindo em desuso, sendo substituída gradualmente pelo USB;
- Conexão ao soquete de barramento interno do computador. Existem diversos padrões de barramento, sendo na linha PC com arquitetura Intel os mais importantes os soquetes ISA e PCI.
- Comunicação em rede Ethernet. A rede Ethernet é uma tecnologia consolidada que apresenta inúmeras vantagens para a aquisição de dados. Podem-se utilizar os muitos avanços desta tecnologia em um

sistema de aquisição de dados, tais como a capacidade de conexão a longa distância seja por fio ou rádio *wireless*, LAN ou fibra óptica;

Os programas de aquisição de dados são responsáveis pelo controle do sistema e armazenam os sinais captados na forma de arquivos que podem ser consultados posteriormente. Estes programas possibilitam a visualização e edição dos dados obtidos, bem como a geração de relatórios e outras documentações impressas.

3.2.4 – SENSORES ATIVOS OU PASSIVOS

Os sensores passivos geram diretamente um sinal elétrico como resposta a um estímulo externo, sem necessidade de uma fonte de alimentação adicional. Exemplos: um termopar e um sensor piezoeletrico.

Os sensores ativos necessitam de uma fonte de alimentação externa e/ou um sinal de excitação devido aos circuitos elétricos. Este sinal é modificado para produzir, então, o sinal de saída.

Os sensores podem ser classificados de acordo com critérios diversificados, como apresentado os mais importantes nas Tabelas 3.5,3.6,3.7,3.8, 3.9, 3.10 e 3.11.

Tabela 3.5 – Características Técnicas (SOUSA, A. S. e, Carvalho, P. S., 2004), (ALMEIDA, G., 1997), (FRADEN, J., 1996) e (WHITE, R. M., 1975)

Sensibilidade ou resolução	Estabilidade (a curto e longo prazo)	Tempo de resposta
Linearidade de resposta	Características de sobrecarga	Erro de histerese
Custo, dimensões, peso	Condições ambientais permitidas	Vida operacional
Banda morta	Gama de medida	Seletividade
Formato de saída	Outras	

Tabela 3.6 – Material (SOUSA, A. S. e, Carvalho, P. S., 2004), (ALMEIDA, G., 1997), (FRADEN, J., 1996) e (WHITE, R. M., 1975)

Inorgânico	Semicondutor	Isolador
Substância biológica	Condutor	Outros
Orgânico	Líquido, gás ou plasma	

Tabela 3.7 – Campos de aplicação (SOUSA, A. S. e, Carvalho, P. S., 2004),
(ALMEIDA, G., 1997), (FRADEN, J., 1996) e (WHITE, R. M., 1975)

Doméstico, eletrodomésticos	Saúde, medicina	Agricultura
Engenharia civil, construção	Energia, potência	Manufatura
Distribuição, comércio, finanças	Medição científica	Marinha
Transporte (excluindo automóvel)	Recreação, brinquedos	Militar
Ambiente, meteorologia, segurança	Automóvel	Outros
Informação, telecomunicações	Espaço	

Tabela 3.8 – Mecanismo de conversão (SOUSA, A. S. e, Carvalho, P. S., 2004),
(ALMEIDA, G., 1997), (FRADEN, J., 1996) e (WHITE, R. M., 1975)

Físico	Químico	Biológico
Termelétrico	Transformação química	Transformação bioquímica
Fotoelétrico	Transformação física	Transformação física
Fotomagnético	Processo eletroquímico	Efeito em cobaia
Magnetoelétrico	Espectroscopia	Espectroscopia
Elastomagnético	Outros	Outros
Termoelástico		
Eletroelástico		
Termomagnético		
Termoóptico		
Fotoelástico		
Outros		

Tabela 3.9 – Tipos de sensores (SOUSA, A. S. e, Carvalho, P. S., 2004),
(ALMEIDA, G., 1997), (FRADEN, J., 1996) e (WHITE, R. M., 1975)

Acústicos	Criogênicos	Capacitância	Carga e Força	Calor
Condutividade	Corrente Elétrica	Efeito Hall	Fibra Óptica	Fotoelétricos
Fluxo	Gás	Imagem	Indutivos	Infravermelhos
Inclinação	Intrínseco	Luminescência	Laser	Luminoso
Magnético	Meteorológicos	Microondas	Movimento	Nível
Oxigênio	Óptico	Par	PH	Posição
Piezelétricos	Proximidade	Pressão	Radiofrequência	Raios Ultravioletas
Sonora	Temperatura	Turbidez	Umidade	Ultrassônico
Vácuo	Velocidade	Vibração	Vento	

Tabela 3.10 – Tipo de estímulo (SOUSA, A. S. e, Carvalho, P. S., 2004), (ALMEIDA, G., 1997), (FRADEN, J., 1996) e (WHITE, R. M., 1975)

<p>Acústico</p> <p>Amplitude de onda, fase Espectro Velocidade de onda Outros</p>	<p>Elétrico</p> <p>Carga, corrente Potencial, d.d.p. Campo elétrico (amplitude, fase) Condutividade Permissividade Outros</p>	<p>Mecânico</p> <p>Posição (linear, angular) Aceleração Força Tensão, pressão Deformação Massa, densidade Momento, torque Velocidade de fluxo, taxa de transporte de massa Forma, rugosidade Dureza Viscosidade Cristalinidade. Integridade estrutural Outros</p>
<p>Biológico</p> <p>Biomassa (tipos, concentrações) Outros</p>	<p>Magnético</p> <p>Campo magnético (amplitude, fase) Fluxo magnético Permeabilidade Outros</p>	<p>Radiante</p> <p>Tipo Energia Intensidade Outros</p>
<p>Químico</p> <p>Componentes (identidades) Outros</p>	<p>Óptico</p> <p>Amplitude de onda, fase Velocidade de onda Índice de refração Emissividade, refletância Outros</p>	<p>Térmico</p> <p>Temperatura Fluxo Capacidade térmica mássica Condutividade térmica Outros</p>

Tabela 3.11 – Meios de detecção (SOUSA, A. S. e, Carvalho, P. S., 2004), (ALMEIDA, G., 1997), (FRADEN, J., 1996) e (WHITE, R. M., 1975)

Biológico	Elétrico, magnético ou onda	Radiatividade, radiação
Químico	Calor, temperatura	Outros
Eletromagnética	Deslocamento ou onda mecânica	

3.2.5 – SINAIS DE TENSÃO ELÉTRICA

Os sensores geralmente fornecem sinais de tensão. Existem três aspectos característicos a considerar: a amplitude, a frequência e a duração.

- Amplitude: Se o sinal for menor que alguns mV, será preciso amplificá-lo. Se for maior que a gama máxima do *hardware* de entrada analógica (tipicamente ± 10 V), será necessário diminuir o sinal num divisor de tensão. A amplitude relaciona-se com a sensibilidade (resolução) do *hardware*.
- Frequência: Na aquisição de dados, é preciso conhecer a frequência mais elevada que se quer medir; esta componente de frequência no sinal de entrada condiciona o número de vezes (por unidade de tempo) que deve ser a taxa de amostragem. Se existem várias entradas e um só sistema de entrada analógica disponível, então a taxa de amostragem efetiva depende proporcionalmente do número de entradas. As altas frequências podem apresentar-se como ruído, geralmente eliminado por filtragem antes de o sinal ser digitalizado (quantizado).
- Duração: O tempo durante o qual o sinal é amostrado condiciona os recursos de memória, quando os dados adquiridos são armazenados na memória ou num arquivo do disco. O formato em que estes são guardados também afeta a quantidade de espaço (memória) a usar. Por exemplo: dados guardados em formato ASCII necessitam de mais espaço que dados no formato binário.

Uma desvantagem da sinalização por tensão é a possibilidade de que a tensão no indicador (voltímetro) seja menor do que a tensão na fonte do sinal, devido à resistência da linha. Esta pequena tensão ao longo do comprimento do condutor constitui um erro de medida do transmissor ao indicador. (Sinais elétricos - Norma DIN 19226).

3.2.6 – SINAIS DE CORRENTE ELÉTRICA

A corrente elétrica é muitas vezes usada para transmitir sinais em ambientes ruidosos, sendo menos afetada por este ruído. A gama dinâmica dos sinais de corrente é geralmente de 4-20 mA ou 0-20 mA. Um sinal de 4-20 mA permite que, mesmo que o sinal apresente o valor mínimo, uma corrente detectável possa existir, caso contrário, deve-se suspeitar de uma má ligação dos fios.

Antes de serem convertidos por um conversor A/D, os sinais de corrente são geralmente transformados em sinais de tensão, através de uma resistência. Esta resistência deverá ser de grande precisão, na ordem de 0,03% ou 0,01%, dependendo da resolução do *hardware*. Para sinais de 4-20 mA, uma resistência de 250 Ω fornece, pela lei de Ohm, uma tensão de 1 V a 5 V.

A seguir são apresentados alguns valores padrões de sinais de saída e suas resistências externas:

- 0...5 Vcc (Resistência externa 250 Ohms)
- 1...5 Vcc (Resistência externa 250 Ohms)
- 0...10 Vcc (Resistência externa 500 Ohms)
- 2...10 Vcc (Resistência externa 500 Ohms)
- 0...5 mAcc (Resistência externa 2400 Ohms)
- 1...5 mAcc (Resistência externa 2400 Ohms)
- 2...10 mAcc (Resistência externa 1200 Ohms)
- 0...20 mAcc (Resistência externa 600 Ohms)
- 4...20 mAcc (Resistência externa 600 Ohms)

3.2.7 – SENSORES TÉRMICOS

O sensores térmicos para medida de temperatura podem ser resistivos

(RTD - Resistance Temperature Detector ou Termistores) ou termopares.

3.2.8 – SENSORES ÓPTICOS

São um tipo especial de detector de radiação que responde a esta radiação no intervalo que compreende desde o infravermelho até o ultravioleta. Com relação ao princípio de operação, os detectores podem ser divididos em vários grupos, segundo o princípio de operação.

3.2.9 – SENSORES INTELIGENTES

Um “sensor inteligente” pode ser visto como a combinação de sensores convencionais, na unidade de processamento de sinais e no método de extração de suas características, bem como algoritmos de aprendizado e métodos de representação do conhecimento, integrados em um sistema mais complexo (BYRNE, G., 1995) (DU, R.; ELBESTAWI, M. A. e WU, S. M., 1995), como apresentado na Figura 3.8.

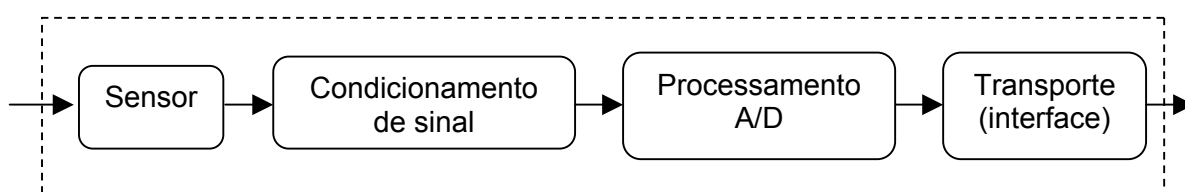


Figura 3.8 – Cadeia de medida (sensor inteligente)

A inteligência destes sistemas é implementada por meio de técnicas de redes neurais, lógica fuzzy, algoritmos genéticos, sistemas especialistas e árvores de decisões. Esses sistemas seguem o padrão IEEE 1451, usado para sensores inteligentes, e são utilizados por fabricantes de transdutores e desenvolvedores de aplicação no suporte para controles de rede diferentes.

3.2.9.1 – Aspectos da digitalização dos sinais

A faixa de utilização do conversor A/D está localizada entre os limites de saturação e subutilização, sendo este último limite não recomendado. Durante o processo de conversão dos sinais analógicos para a forma digital podem ocorrer alguns problemas capazes de prejudicar a leitura.

Tabela 3.12 – Digitalização dos sinais

Característica	Descrição	Exemplos para conversor de 12 bits	Exemplos para conversor de 16 bits
Resolução do conversor A/D	Níveis ou passos de conversão dentro dos quais os valores analógicos são classificados no seu equivalente digital	12 bits: 4.096 níveis	16 bits: 65.536 níveis
Faixa de entrada	Intervalo de variação do sinal em que se realiza a conversão analógico-digital	-10 V a +10 V (exemplo)	-2 V a +2 V (exemplo)
Resolução de entrada	Percentual da menor unidade da faixa de entrada	0,02%	0,0015%
Valores máximos admissíveis de entrada	Valores de entrada superiores à faixa de aceitação pelo A/D que segundo o fabricante não causam dano elétrico ao conversor	-25 V a +25 V (exemplo)	-25 V a +25 V (exemplo)
Tempo de conversão do A/D	Tempo mínimo requerido pelo conversor A/D para gerar uma saída digital válida equivalente a uma dada entrada analógica	25 ms (exemplo)	50 ms (exemplo)
Taxa de conversão do A/D	Velocidade com a qual o sistema consegue converter os sinais analógicos em digitais	40 Khz (exemplo)	20 Khz (exemplo)

Um dos problemas mais comuns é a saturação da leitura do sinal. Esse problema ocorre quando a amplitude de um sinal ultrapassa os limites da faixa de

entrada do conversor A/D. Nessa situação, o valor resultante da conversão é o valor que o sinal teria se fosse igual ao limite ultrapassado, conforme se observa na primeira situação ilustrada a seguir. Na Tabela 3.12 são mostradas as características da digitalização dos sinais.

Por exemplo, se um sinal varia até +6 V, numa faixa de entrada de -5 V a +5 V, os trechos do sinal maiores que +5 V seriam convertidos como se o sinal fosse +5 V nesse trecho. O detalhamento para os diversos níveis é mostrado na Figura 3.9.

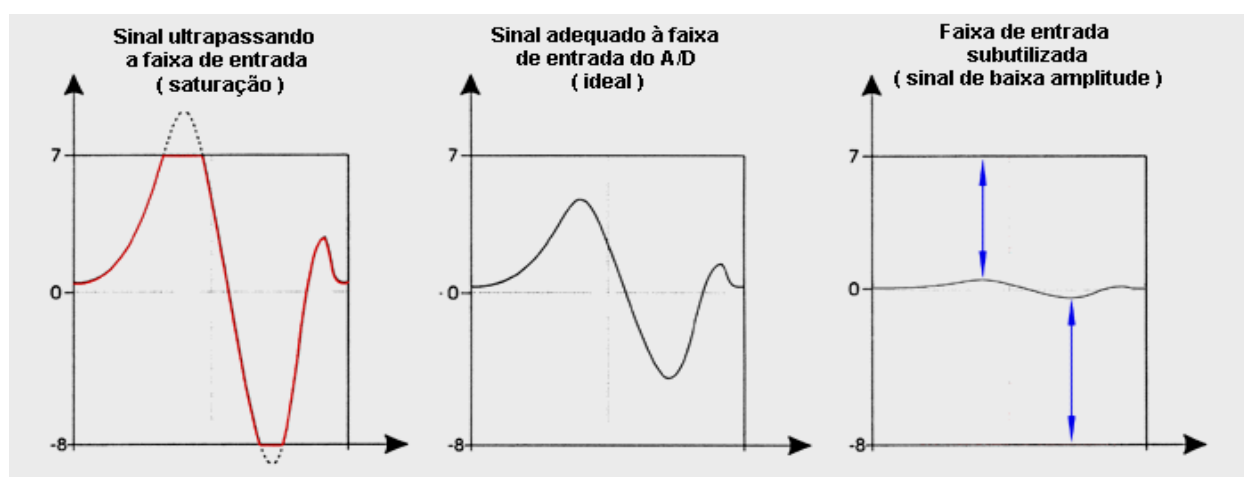


Figura 3.9 – Amplitude dos sinais e suas faixas de entrada

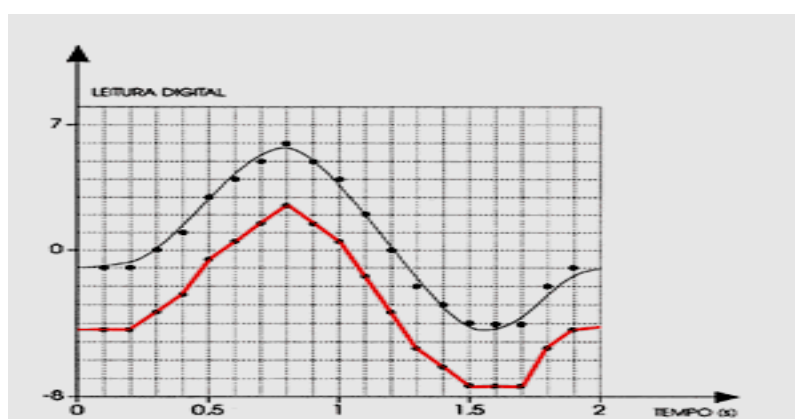
Por outro lado, a subutilização da faixa de entrada diminui a resolução com que o sinal será convertido. Isso ocorre quando, por exemplo, a variação de interesse do sinal é de -2 V a 2 V numa faixa de entrada de -10 V a +10 V.

Neste exemplo o sinal será digitalizado com apenas 20% dos níveis do A/D; os outros 80% dos níveis do A/D ficarão subutilizados.

3.2.9.2 – Resolução e taxa de amostragem

Na Figura 3.10, a linha escura representa um sinal analógico; os pontos

representam as amostras desse sinal obtido com uma taxa de amostragem de 10 Hz (dez amostras por segundo) e com um conversor A/D com resolução de 4 bits (16 níveis). A linha vermelha é uma representação do sinal original observando apenas os pontos amostrados; se essa representação final do sinal original não for suficientemente precisa para as finalidades da aquisição, será necessário aumentar a qualidade ou a quantidade de informação obtida. Isso pode ser feito de duas formas pela troca do conversor A/D por outro com maior resolução (número de bits) ou pelo aumento da taxa de amostragem.



Faixa de entrada ± 5 V
 Resolução de A/D 4 bits ($2^4 = 16$ níveis)
 Taxa de amostragem 10 Hz (10 amostras por segundo)

Figura 3.10 – Resolução e taxa de amostragem

Os conversores A/D mais utilizados são de 12 bits e apresentam resolução de 4.096 níveis, ou seja, cada nível corresponde a aproximadamente 0,02% da faixa de entrada do A/D. Conversores de 16 bits (65.536 níveis) possuem resolução 16 vezes maior que os conversores de 12 bits.

3.2.9.3 – Padrão para sensor inteligente

Um novo padrão para sensores, proposto pela IEEE 1451.4, reduz o tempo e

os desafios associados à configuração de sensores. Este padrão determina um método universal para tornar os sensores *plug-and-play* (conectar e executar) similares ao funcionamento de dispositivos USB, os quais são reconhecidos pelos computadores. IEEE 1451.4 define um mecanismo para adicionar características autodetectáveis através de sinais analógicos. Esta interface mista combina o sinal tradicional dos sensores com um link serial de sinais digitais de baixo custo para acessar os TEDS – *Transducer Electronic Data Sheet* – embarcados nos sensores. Para estender os benefícios gerados pelos sensores *plug-and-play* com relação aos sensores analógicos tradicionais, os TEDS virtuais fornecem os mesmos em formato de arquivo eletrônico.

Com os TEDS, os sensores se autoidentificam e se descrevem fornecendo seus parâmetros para o sistema ao qual estão conectados com especificações técnicas sobre alcance, precisão, linearidade e requisitos do sinal.

Doze fabricantes de sensores concordaram em adotar o padrão de sensor inteligente desenvolvido pela National Instruments e proposto pelo IEEE. O novo padrão foi denominado IEEE 1451.4, e as empresas que o apóiam são Celesco, Endevco, Kistler, Lebow, Macro Sensors, Measurement Specialties, PCB Piezotronics, Sensotec, Transducer, Techniques, Watlow, Weed Instrument e Wilcoxon. Além, é claro, da National Instruments.

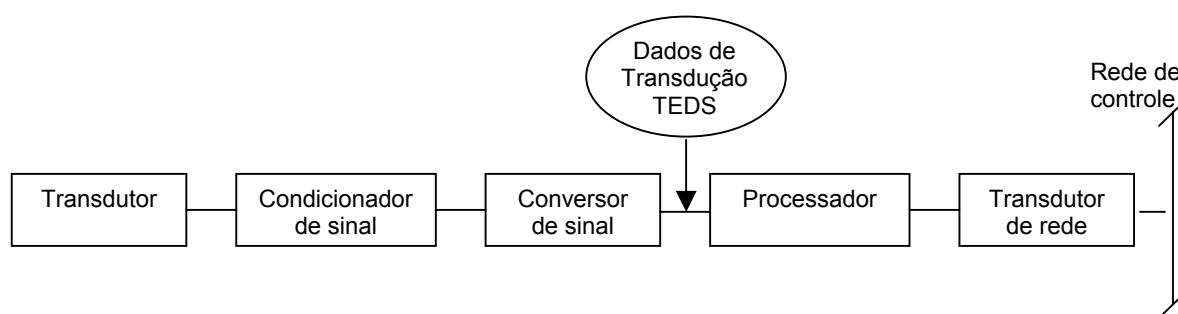


Figura 3.11 – Diagrama em blocos de um nó de transdutor (sensores e atuadores) inteligente e o local da interface digital P1451.2 (LOPEZ, R. A., 2001)

O sensor IEEE 1451.4 funcionará como um periférico autodetectável – *plug-and-play* – de computadores. Ao ser encaixado no circuito o sistema automaticamente fará seu reconhecimento e configuração, através de programas específicos desenvolvidos pelos seus fabricantes.

3.2.10 – ATUADORES Inteligentes

Há microprocessadores acoplados em seus circuitos com capacidade similar à dos computadores pessoais. São esses microprocessadores que controlam dezenas de funções dos detectores e que coordenam diversas partes quando necessário. A Figura 3.12 mostra sua estrutura interna.

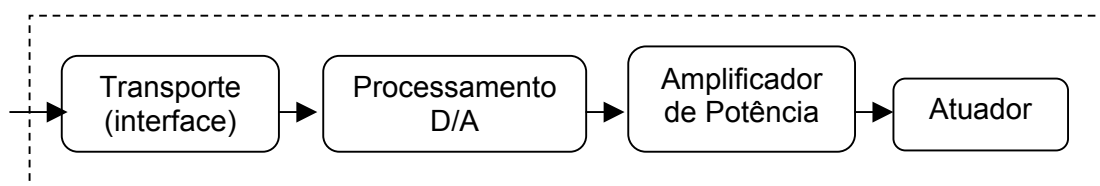


Figura 3.12 – Cadeia de atuação (atuador inteligente)

3.2.11 – SENSORES E ATUADORES UTILIZADOS NESTE TRABALHO

Neste trabalho serão utilizados sensores de temperatura, de intrusão, de acesso, de iluminância, ocupação ou detecção, de inundação em superfícies; e detectores de presença, de fumaça, gás, de incêndios, de proximidade e de movimento.

Sensores Temperatura - Fornecem a medida instantânea da temperatura ambiente, podendo ser alimentados pela rede de comunicação.

Detectores de fumaça - devem fornecer uma informação digital da presença de fumaça numa zona mínima de 80 m². Devem operar entre 0° C e 50° C e entre 10% e 93% de umidade relativa.

Detectores de gás - fornecem informação digital da possível presença de gás (butano ou propano) numa zona mínima de 15 m².

Detectores de proximidade – são utilizados para fornecer informação digital da presença de qualquer objeto ou indivíduo.

Sirene auto-alimentada - deverá ser instalada no exterior dos edifícios, em local que permita a fácil propagação sonora, de forma a poder fornecer um sinal sonoro e visual sempre que se verifique uma situação de alarme fora do horário normal de funcionamento dos mesmos.

Detectores de movimento - Existem dois tipos de detectores de movimento. Os mais comuns são os PIR (Infravermelhos Passivos). Os sensores infravermelhos detectam o movimento de fontes de calor, tais como o corpo humano. Outro tipo de sensor de movimento, designado por “sensor de microondas”, trabalha como um radar. Este tipo de sensor emite sinais de frequências de rádio, que detectam o movimento através dos sinais que refletem nos objetos e retornam ao sensor. Os infravermelhos podem ser falsamente obstruídos por outras fontes de calor, sendo mais sensíveis à detecção de movimento. Os sensores sônicos podem detectar movimentos falsos, sendo mais sensíveis na detecção de movimentos lineares em relação a ele. Conseqüentemente, muitos dos produtos fabricados incluem as duas tecnologias, sendo mais confiáveis nesse caso.

CAPÍTULO 4 – REDES E PROTOCOLOS

4.1 – HISTÓRIA DAS REDES DE DADOS E SISTEMAS VERSÁTEIS

Redes de dados e sistemas versáteis são as duas tecnologias que prometem revolucionar os ambientes domésticos e edifícios em geral. A história das redes de edifícios e habitações vêm desde 1978, quando companhias tais como Leviton e X10 Corp começaram a desenvolver uma série de produtos. Os microprocessadores tornam-se versáteis em numerosas aplicações na domótica, desde máquinas de lavar a sistemas de aquecimento. Sistemas de automatização de edifícios e aplicações como o X10 Smart Home, que será descrito mais adiante, foram instalados em aproximadamente quatro milhões de edifícios no ano de 1996.

4.2 – AMBIENTE DE AUTOMAÇÃO

Nos ambientes atuais de automação, as novas tecnologias são implementadas porque oferecem uma maior eficácia e reduzem os custos do ciclo de vida.

Os três elementos principais de uma arquitetura de automação são:

Controlar – leitura de dados a partir de sensores e outros dispositivos ou instrumentos, de executar de forma lógica, e de distribuir os comandos de saída para dispositivos de atuação.

Reunir dados – visualização ou análise informação que pode envolver orientação, cálculos matemáticos e adição de dados a uma base de dados ou uma série de outras ações de tratamento de dados.

Configurar dispositivos - “personalização” dos dispositivos, tais como interfaces de operador, autômatos de movimento e sensores. Isto acontece durante o arranque do sistema mas também pode precisar de modificar as configurações

durante o tempo de execução.

4.3 – NÍVEIS DE UMA REDE

A Figura 4.1 apresenta os níveis de informação, de controle e de dispositivos de uma rede de comunicação de dados.

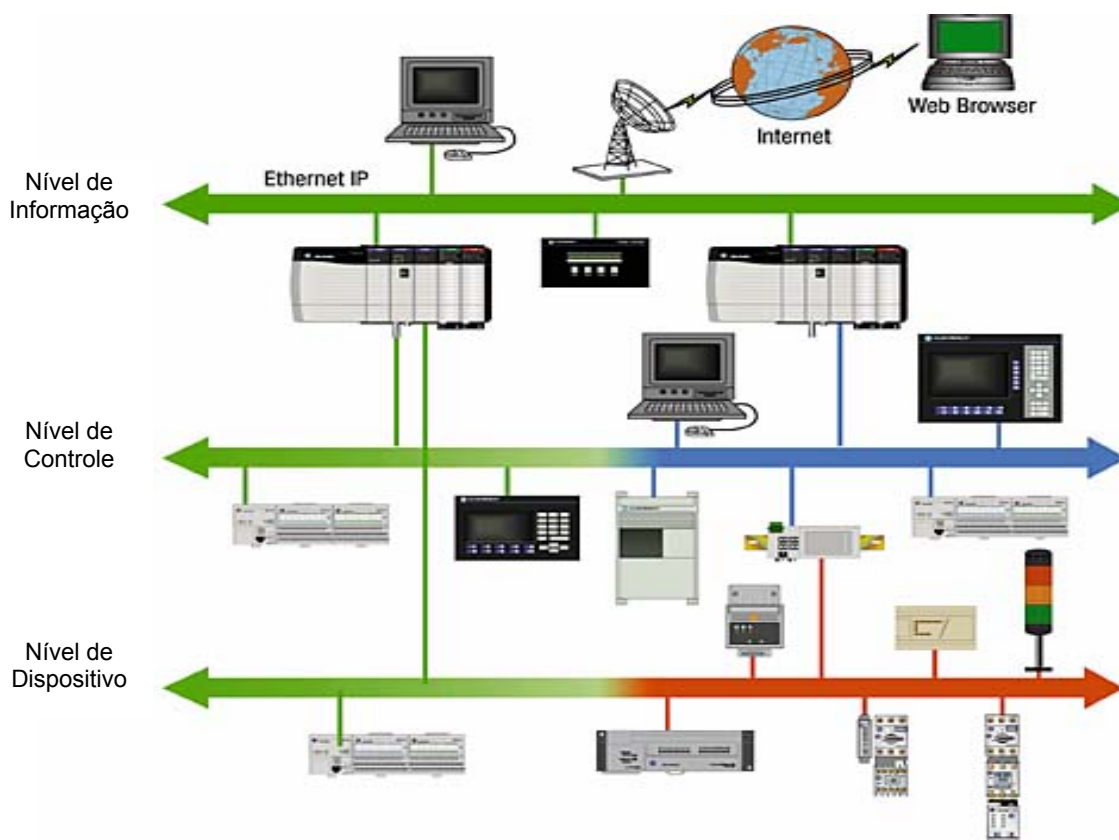


Figura 4.1 – Níveis de uma rede, cortesia de Automation Today.

4.3.1 – REDE DE INFORMAÇÃO

O nível mais alto dentro de uma arquitetura é representado pela rede de informação. Em grandes corporações é natural que se escolha uma rede principal de grande capacidade para interligação dos sistemas de ERP (*Enterprise Resource Planning* – Planejamento de Recursos de Empreendimento), *Supply Chain* (gerenciamento da cadeia de suprimentos), e EPS (*Enterprise Production Systems* –

Sistemas de Produção Empreendimento). Esta pode ser representada pela rede ATM, GigaEthernet ou mesmo por uma Ethernet 100-BaseT, utilizando-se como meio de transmissão cabo par trançado.

4.3.2 – REDE DE CONTROLE

Interliga os sistemas industriais de nível 2 ou sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) aos sistemas de nível 1 representados por CLP e remotas de aquisição de dados. Também alguns equipamentos de nível 3 como sistemas PIMS (Plant Information Management System) e MES (Manufacturing Execution System), podem estar ligados a este barramento.

As estações clientes comunicam-se com seus servidores através da rede de informação; as estações servidores, através da rede de controle, comunicam-se com os CLP.

Do ponto de vista de segurança, é interessante isolar o tráfego de controle do tráfego de informação por equipamentos de rede. Hoje o equipamento mais utilizado para este fim é o switch Ethernet e o padrão mais utilizado é o 100Base-T, além de evitar os problemas de divisão de banda, típico da arquitetura barramento, o *switch* segmenta a rede, e assegurar a criação de novas redes.

4.3.3 – REDES DE CAMPO

Este tipo de rede atende pelo nome genérico de barramento de campo ou Fieldbus. A rede digital de instrumentos e sensores é dividida em três tipos diferentes: redes de sensores, redes de dispositivos e redes de instrumentação.

Redes de sensores ou SensorBus - são apropriadas para interligar sensores e atuadores discretos tais como chaves limites *limit switches*, contadores, desviadores,

etc. Exemplos de rede SensorBus: ASI da Siemens, Seriplex, CAN e LonWorks.

Redes de dispositivos ou DeviceBus - são capazes de interligar dispositivos mais genéricos como CLP, outras remotas de aquisição de dados e controle, conversores AC/DC, relés de medição inteligentes, etc. Exemplos: Profibus-DP, DeviceNet, Interbus-S, SDS, LonWorks, CAN, ControlNet, ModbusPlus.

Redes de instrumentação ou Fieldbus - concebidas para integrar instrumentos analógicos ao ambiente industrial, como transmissores de vazão, pressão, temperatura, válvulas de controle, etc. Exemplos: IECSP50-H1, HART, WorldFIP, Profibus-PA.

4.4 – HIERARQUIZAÇÃO DAS TECNOLOGIAS DE REDE

A Figura 4.2 mostra a pirâmide hierárquica das redes de comunicações de dados.

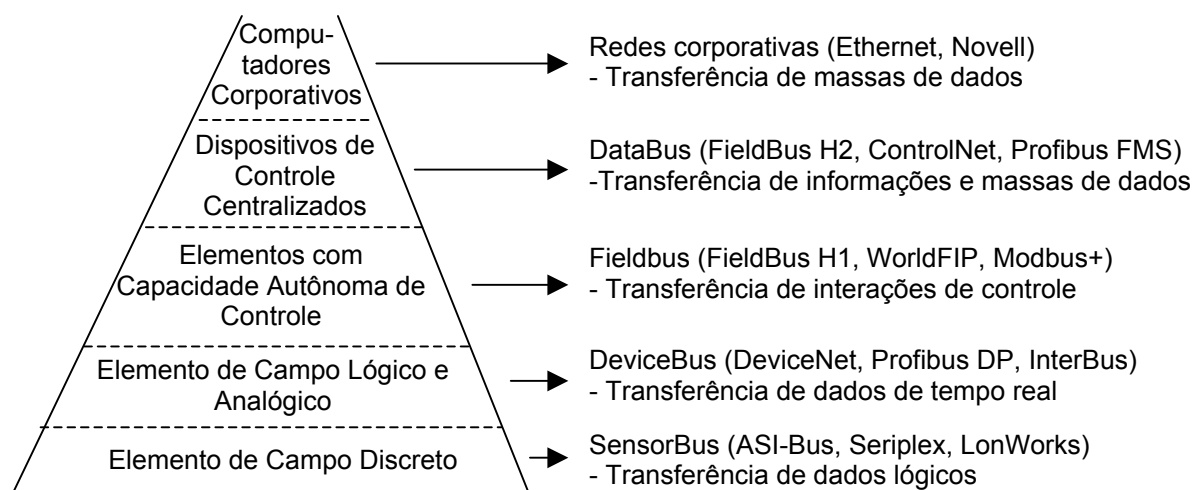


Figura 4.2 – Pirâmide hierárquica das redes

4.5 – NÍVEIS DA REDE INDUSTRIAL

O número de níveis depende do tamanho do processo e da própria indústria ou local de aplicação. Basicamente podem ser de quatro níveis.

- Nível de gestão é o mais nível elevado e se encarrega de integrar os níveis seguintes em uma estrutura. São as máquinas conectadas neste nível de estações de trabalho que fazem a supervisão dos processos. A rede utilizada é do tipo LAN - Local Area Network ou WAN - Wide Area Network.
- Nível de controle é o que faz o enlace e o controle dos processos (controle e programação). A rede é do tipo LAN.
- Nível de Campo é o que faz a integração de pequenos automatismos (CLP, multiplexadores de I/O, controladores PID, etc) dentro de sub redes chamadas de “ilhas”. No nível mais alto desta rede, estão um ou mais controles atuando como mestres de redes ou controladores periféricos. Neste nível se aplica o fieldbus.
- Nível de I/O (entrada / saída) é o nível mais próximo do processo controlado. Aí estão os sensores e atuadores encarregados de manejar o processo produtivo e tornar as medidas necessárias para a correta automação e supervisão.

4.6 – SISTEMA PROPRIETÁRIO

Os desenvolvedores de sistemas Fieldbus sempre mantêm o melhor desempenho para seus próprios produtos, ou seja, um dispositivo do fabricante **A** pode trabalhar com um sistema do fabricante **B**, mas o seu melhor desempenho ocorre dentro do sistema **A**; o inverso também é verdadeiro.

A solução para sistemas proprietários é o uso de *gateway*, que permite a plena interação dos diversos dispositivos e sistemas mantendo “oculta” a arquitetura.

4.7 – SISTEMA ABERTO OU ARQUITETURA ABERTA

O IEEE define arquitetura aberta como uma especificação de serviços que providencia a estrutura de interconexão e define a interface de interação entre

componentes. Um sistema de arquitetura aberta deve possuir: operacionalidade, portabilidade, escalabilidade e intercambialidade.

Os padrões podem ser:

De jure: definido por organismo reconhecido por lei (norma).

De facto: padrões aceitos sem imposição legal obtidos através de RFC (Request For Comment) – forum.

4.8 – ORGANIZAÇÕES INTERNACIONAIS DE PADRONIZAÇÃO

ISO - International Organization for Standardization (membros: **ANSI** (American National Standards Institute), **BSI** (British Standards Institute), **AFNOR** (Association Française de Normatisation), **DIN** (Deutsches Institut für Normung), **ABNT** (Associação Brasileira de Normas Técnicas), etc.);

ITU: International Telecommunications Union (antigo **CCITT** – Consultative Committee for International Telephone and Telegraph);

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers;

IETF: Internet Engineering Task Force.

4.9 – PROTOCOLOS DE REDES

A comunicação entre dispositivos de uma rede tem uma série de normas a serem seguidas; elas variam de rede para rede. A parte do sistema operacional da rede encarregada de estabelecer estas normas são os chamados “protocolos”. Existem vários tipos de protocolos, que podem ser proprietários ou abertos eles devem ser padronizados para que redes diferentes possam se comunicar.

Protocolo de comunicação é um elemento essencial na configuração do SSCP (Sistemas de Supervisão e Controle Predial), devido ao volume de dados

transferido de um ponto a outro e à possibilidade de os controladores distribuídos terem informações interdependentes. Os elos de comunicação podem usar o protocolo de núcleo ou de ponto a ponto. Sistemas mais antigos utilizavam quase que na totalidade os protocolos núcleo, já que a inteligência do sistema e o processamento dos dados residiam no equipamento central. Atualmente, a maioria dos SSCP usa protocolos ponto a ponto em nível de gerenciamento e divide o elo de comunicação de forma equânime entre todos os controladores.

4.9.1 – PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO

Os protocolos são essenciais para a comunicação entre os dispositivos de rede e são formados por conjunto de regras, os protocolos de comunicação continuam seu caminho em busca do aprimoramento: maior interoperabilidade e eficiência. Muitos protocolos aparecem e, por se desenvolverem constantemente e evoluírem, competem entre si para conseguir um lugar de destaque por sua eficiência e domínio do mercado. O protocolo X10, por exemplo, é o mais conhecido e deve ter sido o primeiro a lidar com inteligência de edifícios, pois lidera o mercado americano há vinte anos. Os protocolos que hoje surgem têm dificuldades em conter todos os requisitos necessários para satisfazer os sonhos futuristas. Os proprietários pretendem conservação de energia, monitorização, grande largura de banda nas redes de dados, segurança e tempo real.

Para a escolha do melhor protocolo não basta conhecer o processo, é necessário saber até que ponto determinado protocolo será eficiente para aquilo que dele se deseja, é preciso deixar claras as expectativas e qual a probabilidade que o protocolo “x” tem de atendê-las; portanto diversos fatores devem ser levados em conta, como;

- Analisar aplicação somente depois de escolher o protocolo, pois existem protocolos desenvolvidos especificamente para determinados tipos de aplicação; se forem utilizados em outras, perderão desempenho e funcionalidade.
- Levar em conta as diferenças entre protocolos abertos e protocolos mundiais – IEC – International Electric Committee. Hoje, nem todos os protocolos abertos são mundiais. Um dos destaques nessa questão é o DeviceNet. Segundo pesquisas realizadas, embora seja um protocolo aberto, ainda não é reconhecido como mundial. Já o Profibus DP, além de aberto, é também um protocolo mundial.

Existe ainda o Fieldbus Foundation, que é o Profibus aberto e mundial. Já o Profibus PA é um protocolo aberto, e não mundial. Esse tipo de parâmetro é importante para que se possa gerar uma especificação.

Por causa das diferenças que existem entre os tipos de requisitos, ainda não existe a possibilidade de criação de um protocolo universal.

O protocolo mais antigo é o HART – Highway Addressable Remote Transducer – protocolo aberto. Na seqüência vem o Profibus DP e o Fieldbus Foundation – finalmente padronizado a partir de 2000. Hoje, o HART já possui versões bem adiantadas, com revisões de inversão.

Quanto à longevidade dos protocolos, acredita-se que vão continuar existindo tanto usuários de HART quanto de Fieldbus. Um bom exemplo disso é que todos os fabricantes vendem mais instrumentos HART do que Fieldbus, embora seja crescente a venda do protocolo Fieldbus (LOPEZ, R. A., 2001).

4.9.2 – PROTOCOLO X10

É um protocolo de comunicação para aplicações elétricas de controle remoto. É próprio para comunicação entre transmissores e receptores X10, através de condutores padrões. Os transmissores enviam comandos tais como *turn on*, *turn off* ou *dim*, precedidos pela identificação da unidade receptora a ser controlada. Esses comandos são enviados para todos os pontos pertencentes à rede de comunicações do edifício. Cada receptor está relacionado com uma identificação de unidade e só reage aos comandos que lhe são endereçados.

O mais simples tipo de controle de iluminação requer pouco mais que módulos ligados em tomadas simples de parede. Normalmente chamado de “sistema powerline”, ou X-10 (denominação comercial), utiliza a própria rede elétrica existente para acionar os pontos de iluminação e tomadas. Estes módulos têm duas formas básicas: uma tomada especial que substitui as tomadas convencionais ou um módulo externo que é conectado às tomadas (no caso de abajures, por exemplo).

A seguir é apresentada, na Figura 4.3, uma aplicação básica do sistema X-10.

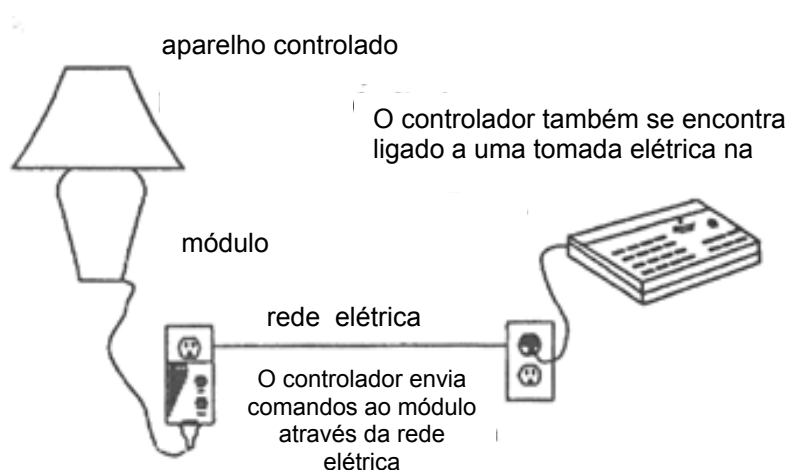


Figura 4.3 – Componentes básicos do sistema X10

Estes módulos recebem um endereço digital que será utilizado pelos controladores para identificá-los quando emitir um sinal a ele dirigido. Os

controladores têm uma gama maior de estilos, podendo variar de interruptores simples até teclados mais completos (de parede ou consoles de mesa). Cada botão deste console pode ligar/desligar e aumentar/diminuir a intensidade do sinal dirigido aos vários módulos e tomadas.

4.10 – COMPARAÇÃO ENTRE REDES DE CAMPO

Tabela 4.1 – Comparação entre Tecnologias de Rede

Características físicas					
Rede	Topologia	Meio físico	Número máximo de dispositivos	Distância máxima	Velocidade da rede
AS-i	Barramento, anel, árvore de estrela	cabo de dois fios	31 escravos (32 nós)	100 m 300 m com repetidores ou extensores	167 Kbps
CAN	Barramento	2 fios	64 nós	500 m - 125 Kbps 40 m - 1Mbps	1 Mbps
CEBus	Flexível	par trançado Coaxial/Elétrica	32 nós (61.000)	depende da velocidade	610 bps até 1,25Mbps
DeviceNet	Linha Tronco com ramificações	par trançado para sinal e potência	64 nós	500 m-125 Kbps 100 m- 500 Kbps 250 m - 48 nós (6 m comp. max.)	500 Kbps
EIB	Estrela/ árvore/anel	2 fios/rede par trançado	256 nós	depende da velocidade	1.200 / 2.400 / 9.600 bps
Fieldbus Foundation	Multissessão com dispositivos alimentados pelo barramento	par trançado	240 segmento, 65000 segmentos	1900 m a 31,25 Kbps 500 m a 2,5 Mbps	31,25 Kbps 1 Mbps 5 Mbps
InterBus	Segmentada com derivação em T	par trançado, fibra e anel	256 nós	400 m segmento 12,8 Km total	500 Kbps full duplex
LonWorks	Barramento, anel, loop estrela	par trançado, fibra, linha de alimentação	32000 nós/domínio	2000 m a 78Kbps	1,25 Mbps full duplex
Profibus	Linha, estrela e Anel	par trançado ou fibra	127 nós	24 Km fibra	DP até 12Mbps PA 31,25 Kbps
Smart House	Estrela	coaxial/rede elétrica	30 nós	depende da velocidade	50 Kbps 9.600 bps

A Tabela 4.1 apresenta algumas tecnologias de redes residenciais e suas diversas topologias (barramento, estrela, anel, árvore), vários meios físicos (com dois, quatro, oito fios; cabos coaxiais; fibras óticas); no caso de redes em que o número máximo de dispositivos é inferior ao desejado, utilizam-se sub-redes. A Tabela 4.2 trás informações básicas das redes.

Tabela 4.2 – Informações básicas de redes

Informações básicas					
Rede	Desenvolvedor da tecnologia	Ano de introdução	Padrão (norma)	Abertura	Site
AS-I	AS-I Consortium	1964	Submetido ao IEC (EN50295)	1 chip fornecido Documentação pública	www.as-interface.com
CAN	Allen-Bradley		CIA (CAN in Automatio) ISO11898 ISO11519	6 fornecedores, chips 100 + produtos Chips	www.can-cia.org
CEBus	EIA/CIC	1984	EIA-600	diversos	www.cebus.org
DeviceNet	Allen-Bradley	1992	ISSO 11896 & 11519	6 fornecedores Chip 500 + produtos	www.odva.org
EIB	União Européia (EIBA)	1996	Tecnologia CSMA/CA	+150 países	www.konmex.org
Fieldbus Foundation	Fieldbus Foundation	DP-1994 PA -1995	ISA SP50/IEC TC85 (especificação aberta)	Chips de vários fornecedores	www.Fieldbus.org
InterBus	Phoenix Contact	Outubro/1993	DIN 19256 (EN50253)	Chips de mais de 400 fornecedores	www.interbusclub.com
LonWorks	Echelon Corp.	1991-1996	ASHRAE do BACnet	Documentação do protocolo pública	www.echelon.com
Profibus	PTD/Siemens	1995	DIN 19245 part 3/4	Produtos mais de 150 fornecedores	www.profibus.com
Smart House	Smart House LC	1986	NAHB	diversos	www.smarthouse.com

4.11 – TOPOLOGIA DE REDE

Pode ser física, que é a estrutura física completa do meio de transmissão e pode ser: barramento, anel, estrela e árvore; ou uma topologia lógica ou elétrica, que descreve a maneira como a rede transmite informações de um nó para outro nó seguinte. Na topologia de barramento lógico, cada vez que um nó na rede tem dados para um outro nó, ele o transmite para a rede inteira. Cada um dos nós pega os dados e verifica se é o destino pretendido, capturando-os em caso afirmativo. Se não for, passa adiante na rede.

Nas topologias lógicas de barramento, todos os sinais são recebidos por todos os dispositivos. Nas topologias de anel, cada dispositivo recebe apenas os sinais que foram especificamente enviados a ele.

4.12 – REDES UTILIZADAS NA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL

São diversas as aplicações das redes de comunicação de dados dentro da área automotiva: automação comercial, industrial, de pesquisa e residencial. Na área residencial podemos citar: ASI-Bus, CAN, CEBus, DeviceNet, EIB, Fieldbus Foundation, InterBus, Lonworks, Profibus PA, Smart House e Ethernet. Neste trabalho serão apresentadas duas delas como sugestão de utilização, devido à facilidade de sua utilização: a Fieldbus, devido à existência de empresas nacionais que fazem parte desta associação; e a DeviceNet, devido ao fato de seu número de ponto ser elevado e possuir sensores para uma grande variedade de aplicações, atendendo às necessidades do mercado.

4.12.1 – REDES DE COMUNICAÇÃO FIELDBUS

Diversos padrões para sistemas Fieldbus têm sido desenvolvidos nos últimos

anos. São redes de alta velocidade projetadas especificamente para aplicações em sistemas de controle. Algumas destas redes especificam requisitos para aplicação em sistemas de segurança intrínseca, alimentação elétrica via barramento e sistemas com redundância tripla. O sistema de controle envolve a transferência de informações ponto a ponto.

Sua capacidade de comunicação é rápida e confiável entre dispositivos, e o uso de mecanismos padronizados é, hoje em dia, fator indispensável no conceito de produtividade industrial. Visando a atender este objetivo, as Fieldbus ou redes de comunicação de campo, como também podem ser chamadas, estão sendo largamente utilizadas tanto por indústrias de processo e manufatura como por prédios e sistemas logísticos. São vários os benefícios que podem ser apresentados com a utilização desta tecnologia, como:

- Redução significativa da quantidade de cabos, calhas e espaços utilizados para a comunicação; a informação é transferida em um caminho seqüencial serial, com duas ou três linhas e pode cobrir distâncias maiores que em outros tipos;
- Redução da quantidade de equipamento auxiliar. Se mais de um nó da rede estiver livre para trocar dados com outros nós (é o caso de terminais conectados via RS232), o acesso ao barramento deve ser determinado por regras específicas;
- Capacidade de um monitoramento mais efetivo do sistema;
- Integração entre vários fornecedores de soluções;
- Possibilidade de trocas de informações entre os diferentes níveis hierárquicos – máquina, planta, empresa e até mesmo países;
- Maior velocidade nos tempos de comando e respostas dos dispositivos.

- Conectividade com os mais diversos tipos de protocolos disponíveis no mercado, sendo eles: Profibus, DeviceNet, Interbus, CanOpen, FIPIO, AS-Interface, entre outros.

A Fieldbus tem como padrão internacional oito famílias de redes tipo nome comercial (mesmo que ANS/ISA S50.01), ControlNet, Profibus, P-NET, Fieldbus Foundation HSE, SwiftNet, WorldFIP e Interbus.

4.12.1.1 – Estrutura Fieldbus

A rede industrial Fieldbus é uma rede de comunicação digital que substitui os sinais analógicos 4 - 20 mA; além de digital e bidirecional com barramento serial, é usada para dispositivos como controladores, transdutores, atuadores e sensores.

Constitui-se de padrões de comunicação nos níveis físicos de enlace e de comunicação, estabelecidos no modelo OSI: conexões físicas, protocolo de acesso e de enlace e aplicações.

Camada física: é a camada 1, que compreende as especificações de hardware (mecânicos, elétricos, físicos), todas documentadas em padrões internacionais. É responsável pela transmissão de bits através do meio de transmissão, estabelece os níveis de sinal que representam 0 e 1, define a duração do bit, padroniza os conectores de rede, sua unidade de dados é o bit.

Camada de enlace: é responsável pelo acesso lógico ao ambiente físico, como transmissão e reconhecimento de erros. Transforma um canal não-confiável – a rede física – em um canal confiável, detecta erros ocorridos no meio físico e, em alguns casos, corrige-os, controla o acesso ao meio de transmissão, define limites dos fragmentos de dados – os quadros –, faz controle de fluxo, evitando que os *buffers* do receptor sejam esgotados por um transmissor veloz, cria sobre o meio

físico diferentes serviços de enlace, como o serviço sem conexão com/sem reconhecimento e a unidade de dados, que é o quadro.

Camada de aplicação: é representada pelo usuário final. Os serviços podem ser de correio, transferência de arquivos, etc. Oferece os meios para que aplicações utilizem a rede de comunicação, define serviços genéricos que servem de suporte para a construção de aplicações, como por exemplo o suporte para transferência de arquivos, os serviços de diretório (nomes) e de troca de mensagens, o protocolo de terminal virtual etc. Obedece às normas IEC e sua aplicação no controle de processo segue norma DIN 66201.

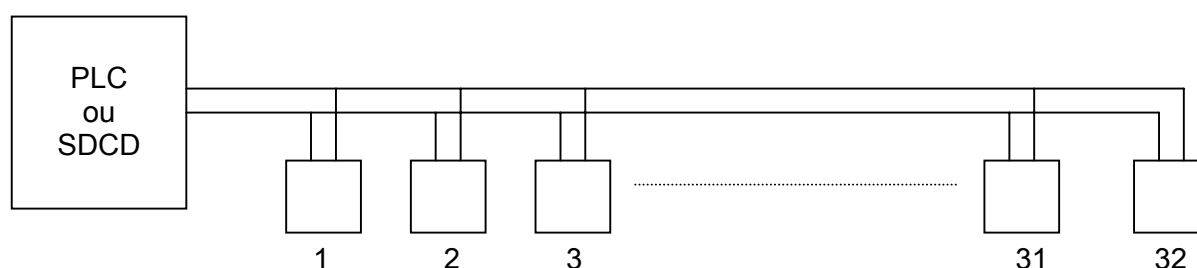


Figura 4.4 – Redes Fieldbus

4.12.1.2 – Características do padrão Fieldbus

- Protocolo aberto controlado pela Fieldbus Foundation;
- Capacidade de transporte de grandezas digitais e analógicas;
- Interação de controle direto no campo;
- Característica determinística (velocidade = 31,25 Kbps);
- Transferência de informações para controle centralizado ou não (ponto a ponto);
- Conector tipo industrial, D9 e D25;
- Distância máxima dos derivadores de nós de 10 m possibilitando 16 bytes.

4.12.2 – REDES DEVICENET

A DeviceNet é baseada no sistema CAN (Controller Area Network – circuito integrado CAN), usando o padrão de identificação de 11 bits. A especificação e o protocolo são abertos. Os fabricantes de *hardware* e desenvolvedores de *software* devem ser licenciados por Open DeviceNet Vendor Association Inc. – ODVA. (LOPEZ, R. A., 2001)

A DeviceNet é uma rede de comunicação de baixo nível, projetada para conectar dispositivos de chão-de-fábrica, como os sensores fotoelétricos, sensores de proximidade indutivos, partidas de motor, inversores, válvulas de distribuição e interfaces de operação sem a interface através do sistema de entrada/saída. Ela aumenta a quantidade e a taxa de fluxo de informações dos dispositivos de chão-de-fábrica para controlar sistemas, e possui potencial para reduzir substancialmente os custos da fiação. Até 64 nós inteligentes podem ser conectados em uma rede DeviceNet. A habilidade de retirar e substituir dispositivos da rede, enquanto a alimentação é aplicada sem uma ferramenta de programação, é uma vantagem da rede DeviceNet.

A rede DeviceNet consiste de um sistema de cabeamento que fornece comunicação e alimentação para os nós. A Rockwell Automation oferece um número de produtos do meio para as necessidades de comunicação e conexão de dispositivos.

Os dois principais propósitos do DeviceNet são: transporte de informação controle orientado associado com dispositivos sensores e atuadores; e transporte de outras informações utilizadas indiretamente pelo sistema controlado.

O protocolo aberto CAN define uma metodologia de Controle de Acesso a Mídia (MAC – Medium Access Control) e fornece Controle Redundante Cíclica

(CRC - Cyclic Redundancy Check), detecção de péssimas estruturas, detecção de erros e outros mecanismos de proteção.

4.12.2.1 – Características do padrão DeviceNet

- Tipo barramento mestre/escravos, 64 nós, 64 bits bidirecional;
- Topologia tronco com ramificações linear;
- Até 500 m de tronco em cabo direto (na menor velocidade – 125 Kbps);
- Derivações com até seis metros e totalizando até 156 metros;
- Meio de transmissão par trançado com blindagem – alimentação elétrica e sinal de processo no mesmo cabo de rede. Duplo par trançado com blindagem independentes (Belden 3082A/F e 3084A/F);
- Baseada no modelo CAN produtor/consumidor;
- Protocolo aberto controlado pela O.D.V.A;
- Capacidade de transporte de grandezas digitais e analógicas;
- Característica não determinística mas com possibilidade de determinação de freqüências mínimas de acesso.
- Transferência de informações para controle centralizado ou não (ponto a ponto).

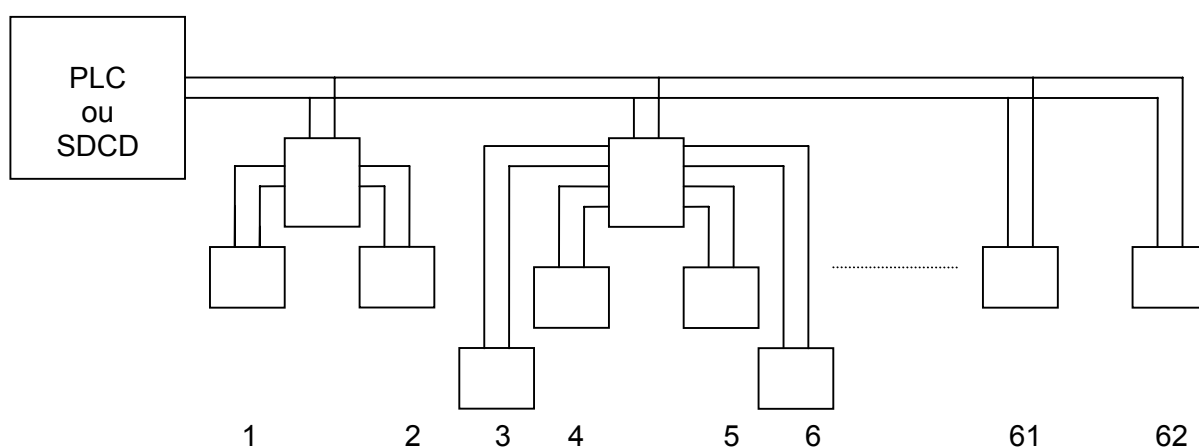


Figura 4.5 – Redes DeviceNet

4.13 – CONCLUSÕES

Apesar de muitas empresas do setor de telecomunicações, automação, computadores e microprocessadores estarem se organizando em fóruns e associações, com o objetivo de estabelecer uma tecnologia de redes e protocolos, a fim de suprir as necessidades do uso doméstico num padrão mundial, ainda não há uma padronização podendo ser utilizado qualquer um dos diversos padrões citados neste capítulo (BOLZANI, C. A. M., 2004).

Várias são as propostas, como: permitir o compartilhamento da rede de acesso, e a utilização de múltiplos equipamentos; apresentar facilidade e simplicidade no gerenciamento; isolar o tráfego interno da residência da rede de acesso, oferecer suporte a diferentes protocolos de nível superior, permitir o acesso a diferentes provedores de serviços; e implementar diferentes classes de qualidade de serviço.

A rede doméstica pode ser baseada no sistema telefônico ou em sistemas de distribuição de energia elétrica, na segunda opção o custo do investimento é maior.

Na Rede pelo sistema telefônico usa-se o cabeamento de par trançado convencional, para ligar vários dispositivos pela casa; ela está baseada em tecnologia de especificação HPNA (Home PNA – Home Phoneline Networking Alliance), que utiliza o meio físico para a implementação de redes domésticas sem a necessidade de instalação de novos cabos dentro das paredes e, ainda, o seu controle de acesso suporta outros padrões de rede, especialmente o TCP/IP (BOLZANI, C. A. M., 2004).

Cabe observar que, na escolha desta opção, deve-se ter alguns cuidados no desenvolvimento e obedecer às técnicas, o que não será tratado neste trabalho.

O Sistema Distribuído de Energia Elétrica constitui-se de redes conhecidas como “powerline”, por usarem a transmissão de dados no mesmo meio físico da distribuição de energia elétrica, permitindo a implementação de vários serviços sem a necessidade de quebra de paredes para a colocação de novos cabeamentos. Porém, requer uma série de cuidados especiais devido às variações imprevisíveis do nível de impedância, atenuação do sinal e incidência de ruídos.

Existem grandes problemas técnicos que se encontram nas redes baseadas em sistemas distribuídos de energia elétrica nas passagens de sinais de alta frequência, o que não ocorre com cabos blindados UTP-5 utilizados nas rede Ethernet.

Neste trabalho será adotado o seguinte critério na rede de comunicação: controle de aquecimento de água, iluminação e segurança. O conceito de redes em automação residencial é conectar todos esses sistemas e dispositivos juntos em uma rede a fim de que eles possam ser controlados com uma interface comum e interagir entre si.

Para que esses dispositivos comuniquem-se entre si, deve-se ter uma conexão por fio ou outro meio *wireless*. Como cada sistema tem diferentes necessidades de velocidade e volume de informação, dependendo das aplicações, diferentes meios de comunicação podem ser necessários.

CAPÍTULO 5 – PROCESSO DE CONTROLE ATRAVÉS DA LÓGICA FUZZY

5.1 – INTRODUÇÃO À LÓGICA FUZZY

O conceito de conjunto fuzzy foi introduzido em 1965 por Lofti A. Zadeh, da Universidade da Califórnia, em Berkeley. Pode-se definir lógica fuzzy, também chamada de “lógica nebulosa” ou “lógica difusa”, como sendo uma ferramenta capaz de capturar informações vagas, imprecisas e qualitativas, em geral descritas em uma linguagem natural, e convertê-las para um formato numérico de fácil manipulação por computadores (SHAW, I. S. e SIMÕES, M. G., 2004). Esta serviria como meio de se efetuar a modelagem da incerteza natural da linguagem (L.ZADEH, 1978). De acordo com as idéias de Zadeh, melhor que considerar a teoria fuzzy como uma teoria simples, deve-se generalizar toda a teoria específica de uma forma discreta para uma forma “fuzzy” contínua (LÓGICA FUZZY, 2005).

Devido a esta propriedade e à capacidade de realizar inferências, a lógica fuzzy tem encontrado grandes aplicações nas áreas de: sistemas especialistas; computação com palavras; raciocínio aproximado; linguagem natural; controle de processos; robótica; modelamento de sistemas parcialmente abertos; reconhecimento de padrões; processos de tomada de decisão.

5.2 – SISTEMAS DE CONTROLE INTELIGENTE ATRAVÉS DA LÓGICA FUZZY

Um sistema inteligente fuzzy pode ser representado através de funções de pertinência fuzzy e de regras para raciocinar sobre os dados. As regras em um sistema inteligente fuzzy podem ser representadas no formato a seguir:

Se x é POUCO POSITIVO e y é ZERO então z é POSITIVO GRANDE

Onde x e y são variáveis de entrada do sistema a ser controlado, e z é a variável de saída. No exemplo de representação das regras fuzzy, o grau da função de pertinência fuzzy da variável de entrada x é pouco positivo; e o grau da função de pertinência da variável y é zero. Para estas duas condições de entrada, o estado de saída z assume o grau positivo grande. Os antecedentes, ou seja, as regras de premissa definem o grau em que a regra é aplicada; enquanto que a conclusão, ou as regras conseqüentes, atribui a função de pertinência a cada uma das variáveis de saída. Grande parte das ferramentas utilizadas para trabalhar com sistemas inteligentes fuzzy, permite mais de uma conclusão por regra. O conjunto de regras nesses sistemas que utilizam esta técnica de controle é denominado “base de conhecimento”.

O objetivo do controle é gerenciar o comportamento de um sistema alterando uma ou mais de suas saídas e, como conseqüência, refletindo na entrada, de acordo com uma regra ou um conjunto de regras que modelam seu comportamento durante a operação.

A teoria de controle clássica usa um modelo matemático para determinar uma relação que transforme o estado desejado (de referência) e o estado observado (medido) do sistema, alterando suas entradas de tal forma que modifique seu estado futuro.

Um controlador fuzzy possui algumas vantagens em relação aos sistemas de controle convencionais, como o fato de serem construídos a partir da experiência humana e serem facilmente aplicáveis em plantas em que os modelos são extremamente complexos; portanto não necessitam de modelos matemáticos, na maioria dos casos. Podem ser utilizados em conjuntos com sistemas de controle convencionais constituindo um sistema híbrido.

Sistemas de controle que utilizam a lógica fuzzy são compostos basicamente por três etapas: conversão das variáveis de entrada e saída em uma representação, o que se conhece como “conjuntos fuzzy” e denomina-se “fuzificação”; estabelecimento das regras que relacionarão as variáveis de entrada e saída, regras estas obtidas pelo conhecimento e pela experiência humanos, o que se denomina “base de regras”; e a denominada defuzificação, que efetua a conversão dos conjuntos fuzzy em um número que representa o estado da saída do sistema para uma determinada condição (FRANCESCHETTI, N.N., GODOY S. L.O.M., 1999).

5.3 – SISTEMA ESPECIALISTA FUZZY

A Figura 5.1 ilustra em forma de blocos a disposição de um controlador fuzzy. Os sinais de entrada são obtidos da planta através de sensores ou transdutores que, através do tratamento adequado do sinal analógico, alimentam o bloco de fuzificação (fuzzy sets) do controlador fuzzy. Pela base de conhecimento armazenada por meio de um conjunto de regras, as decisões são tomadas e devolvidas ao sistema ainda em linguagem fuzzy. O bloco de defuzificação efetua a conversão das informações para o formato analógico, que é disponibilizado na saída do controlador, a fim de que seja efetuada a mudança de estado.

Dentre os diversos controles que serão utilizados no edifício inteligente, há circuitos liga/desliga e circuitos especialistas para controles específicos. Neste trabalho, a ênfase é para um controle da temperatura da água num reservatório térmico, já que o consumo de energia é elevado nos circuitos que utilizam resistência elétrica para aquecimento, podendo ser empregados circuitos similares para controle de iluminação no corredor do prédio, recepção, garagem e outros.

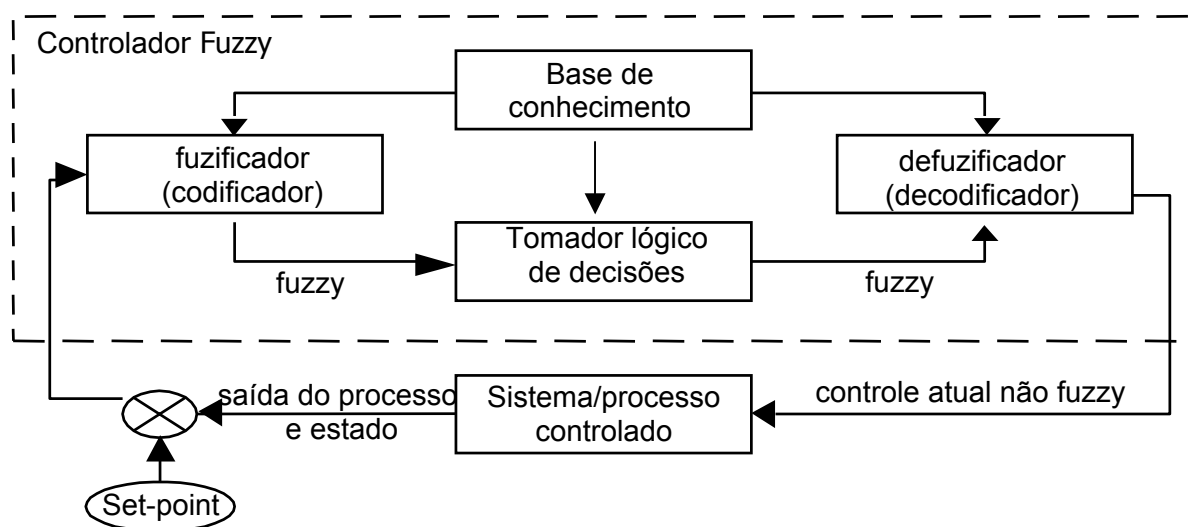


Figura 5.1 – Sistema especialista fuzzy

5.4 – MODELAGEM DO CF PARA O RESERVATÓRIO TÉRMICO

5.4.1 – CONDIÇÕES INICIAIS DO PROJETO

Observando-se a Tabela 3.1 da página 34, tem-se que a incidência solar em São Paulo é de 3.944 Kcal/m²/dia. A área aproximada dos coletores solares adotados para este trabalho é de 1,7 m² cada. Estima-se uma ocupação de 120 usuários num edifício, com consumo total de 10 m³ de água quente ao dia, divididos em dez reservatórios térmicos – representados na Figura 5.2 como RT1, RT2... RT10. Sabendo-se que cada reservatório pode conter 1 m³ de água quente, conforme orientação dos fabricantes, chegou-se a um total de cem coletores solares, cobrindo uma área total de 170 m² (conforme desenvolvido no capítulo 3–página 43).

Este sistema é constituído de dez conjuntos, sendo que cada um deles contém um Reservatório Térmico (RT) e dez placas de Coletores Solares (CS). E em cada reservatório térmico há uma resistência elétrica auxiliar cuja potência adotada é de 6 KW alimentada com até 220 V_{AC}.

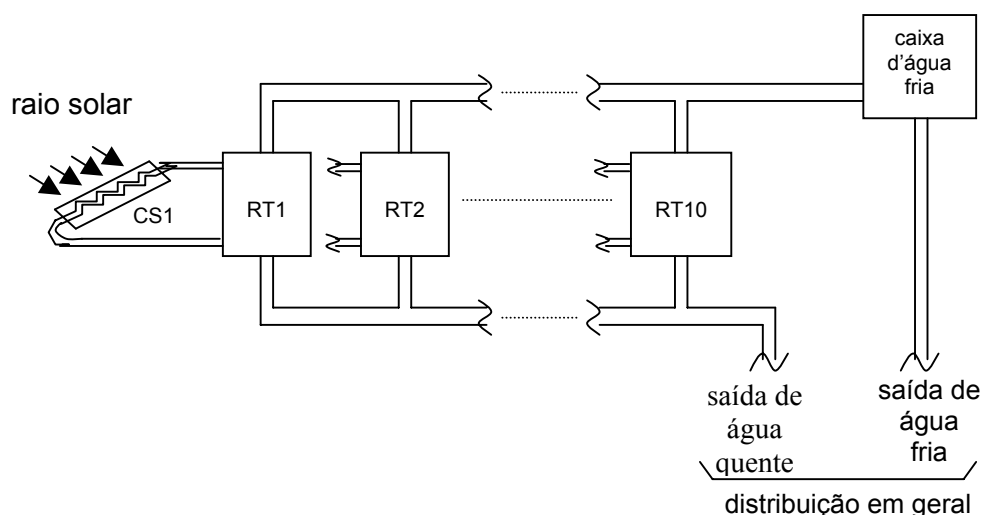


Figura 5.2 – Sistema de aquecimento completo

Para uma irradiação média anual de $3.944 \text{ Kcal/m}^2/\text{dia}$, os dez coletores absorvem nos seus 17 m^2 de área um total de um conjunto 78 KWh por dia logo, os dez conjuntos do sistema totalizam em um mês a irradiação máxima 23.400 KWh/mês .

É estimado um consumo médio para uso geral, no sudeste, numa família de três pessoas, algo em torno de 250 KWh/mês . No caso em questão, como são quarenta famílias, o consumo total estimado é de 10.000 KWh/mês , portanto o dimensionamento está além do previsto.

No caso de a irradiação ser insuficiente para atender as condições mínimas, de forma a não atingir a temperatura mínima ajustada numa referência determinada pelo usuário – *set-point* –, esta será corrigida pelo controlador fuzzy desenvolvido, conforme regras definidas, sendo que a sua saída alimentará um módulo de potência que, por sua vez, atuará ajustando seus valores de alimentação no resistor de aquecimento auxiliar. Na Tabela 5.1 – apresentam-se alguns valores de referência do ângulo de disparo do triac, da Potência e da Tensão correspondente para uma variação de temperatura de um grau Celsius - 1° C e o tempo em minutos,

obtidos em função da determinação da saída.

Tabela 5.1 – Ângulo de disparo X tempo em minuto para variar 1° C na água

Ângulo (° C)	potência P(W)	Tensão Vef(V)	tempo em minuto para $\Delta\theta = 1^\circ\text{C}$	ângulo (° C)	potência P(W)	tensão Vef(V)	tempo em minuto para $\Delta\theta = 1^\circ\text{C}$
0	5996,0	220,0	11,6	105,0	2021,0	127,7	34,5
15	5973,7	219,6	11,7	120,0	1170,8	97,2	59,6
30	5823,7	216,8	12,0	135,0	542,1	66,1	128,7
45	5452,4	209,8	12,8	150,0	169,2	37,0	412,3
60	4825,2	197,3	14,5	165,0	18,2	12,1	3837,7
75	3976,1	179,1	17,5	180,0	0	0	α

À proporção que a temperatura aumenta, varia a resistência ôhmica do fio de liga níquel e cromo conhecida como “nicromo”. A Figura 5.3 mostra a variação da resistência com a temperatura. Neste trabalho a variação de temperatura é de 0° C a 80° C e, neste caso, o fator para a determinação da resistência pode ser considerado desprezível.

Apesar de a isolamento térmica do reservatório ser apropriada à das tubulações, a fim de manter a temperatura por longo tempo, observa-se perda de calor no reservatório, o que não será levado em conta devido ao sistema automático de controle e à possibilidade da correção de um referencial de controle – set-point.

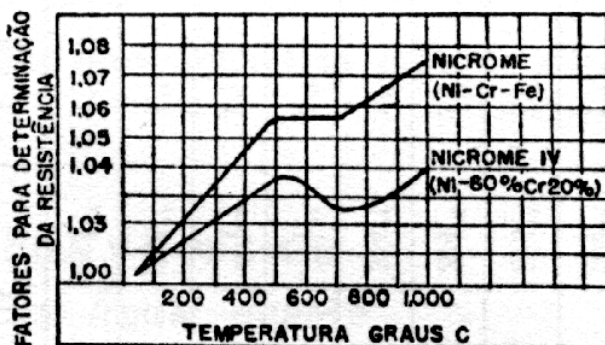


Figura 5.3 – Gráfico da R (Ω) x T (° C) (CREDER, H., 1995)

Equação de energia igualada a equação fundamental da calorimetria:

$$P \cdot \Delta t = m \cdot c \cdot (t_f - t_i) \cdot 4,186 \quad (5.1)$$

sendo;

- P - potência da resistência elétrica do reservatório térmico (W);
- Δt - variação do tempo (s);
- m - massa do reservatório térmico, no caso esta sendo considerada 1 m^3
= 1.000.000 (g);
- c - calor específico da água líquida igual a $1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$;
- t_f - temperatura final do reservatório térmico ($^\circ\text{C}$);
- t_i - temperatura inicial do reservatório térmico ($^\circ\text{C}$);
- 4,186 - constante de conversão de caloria para Joule.

Cálculo para variação de temperatura de 1°C ($\Delta\theta = 1^\circ\text{C}$) aplicado na equação anterior para $m = 1 \text{ m}^3$, potência máxima do resistor auxiliar de $P_{\text{max}} = 6 \text{ KW}$, temos que a variação do tempo é de 11,6 minutos. Os demais valores são mostrados na Tabela 5.1, sendo ainda observado que, para variações na temperatura, o tempo será inversamente proporcional, já que não estão sendo levadas em conta as variáveis de perdas no processo devido ao volume grande de água.

Equação do sistema do reservatório térmico é dada por:

$$\eta \cdot P \cdot \Delta t = m \cdot c \cdot (t_f - t_i) \cdot 4,186 = m \cdot c \cdot \Delta\theta \cdot 4,186 \quad (5.2)$$

sendo;

- η - uma constante que representa todas as perdas do sistema;
- $\Delta\theta$ - variação de temperatura no reservatório térmico;

$$P(t) = \frac{m.c.4,186}{\eta} \cdot \frac{d\theta}{dt} = K \cdot \frac{d\theta}{dt} \quad (5.3)$$

para $t_f > t_i \Rightarrow \Delta\theta > 0$ portanto $Q > 0$ (ganha calor)

5.4.2 – CONJUNTOS FUZZY DE ENTRADA E SAÍDA

A sistemática proposta para o desenvolvimento de um controlador fuzzy é que o primeiro passo a ser realizado é a fuzificação das variáveis de entrada e saída. Inúmeros são os tipos de funções de pertinência que podem ser utilizadas. Mas neste trabalho optou-se por uma combinação das funções do tipo triangular e trapezoidal, devido à sua facilidade de geração e excelente precisão nos resultados, além de estarem disponíveis para pronta utilização no ambiente do Matlab; foram definidas como variáveis de entrada E (erro) e saída P(t) (potência). Utilizando uma linguagem própria de lógica fuzzy, são estabelecidos os conjuntos fuzzy para cada variável. Foram utilizados sete conjuntos fuzzy rotulados, conforme indicado nas Figuras 5.4, 5.5, 5.6 e 5.7.

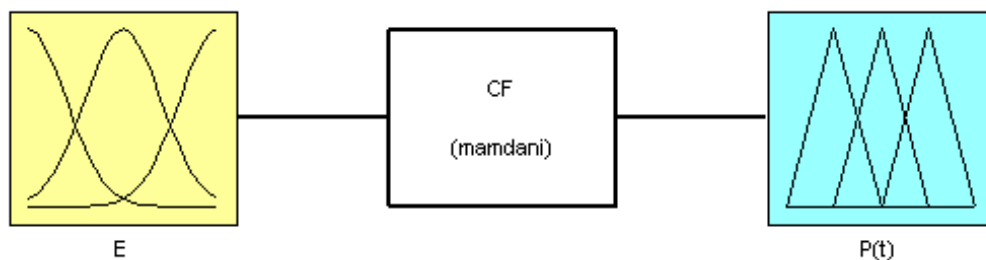


Figura 5.4 – Entrada e saída no controlador fuzzy

O detalhamento da Figura 5.5 é feito através da Figura 5.6, onde podem ser melhor observadas as indicações centrais da entrada dos valores de temperatura do reservatório térmico.

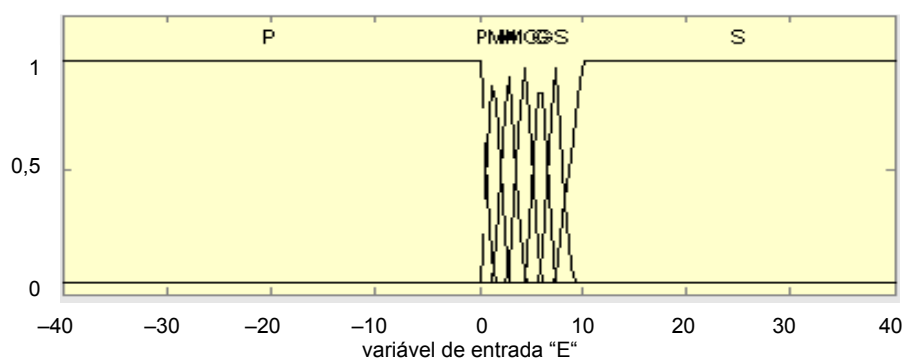


Figura 5.5 – Entrada do controlador fuzzy

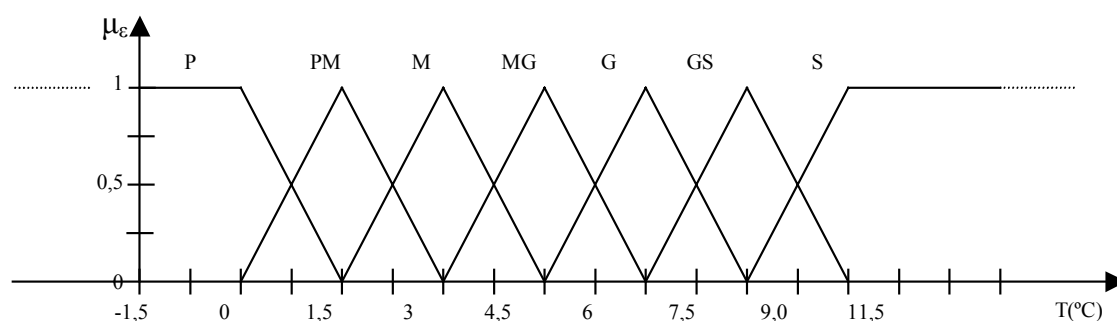
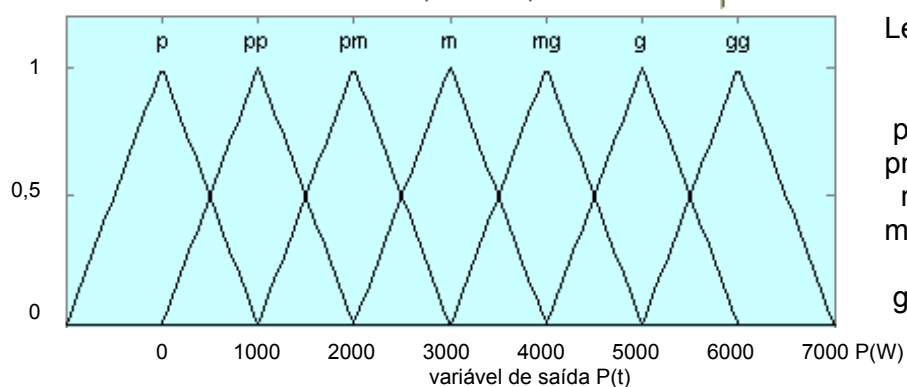


Figura 5.6 – detalhamento da entrada do controlador fuzzy

Legenda da Figura 5.6: P – erro pequeno; PM – erro pequeno médio; M – erro médio; MG – erro médio grande; G – erro grande; GS – erro grande super e S – erro super.



Legenda da Figura 5.7:

p – muito pequeno
pp – pequeno
pm – pequeno médio
m – médio
mg – médio grande
g – grande
gg – grande grande

Figura 5.7 – Saída do controlador fuzzy

5.4.3 – REGRAS PARA O CONTROLADOR FUZZY

Definição das regras e dos subconjuntos de entrada e saída. Neste trabalho foi utilizado o Sistema de Inferência Fuzzy (SIF) de Mamdani (Ross, 1995). Foi

adotado um número reduzido de variáveis lingüísticas e, portanto, de regras, e assim foram obtidas as seguintes regras:

- | | |
|---|--|
| 1. If (E is P) then ($P(t)$ is p) | 5. If (E is G) then ($P(t)$ is mg) |
| 2. If (E is PM) then ($P(t)$ is pp) | 6. If (E is GS) then ($P(t)$ is g) |
| 3. If (E is M) then ($P(t)$ is pm) | 7. If (E is S) then ($P(t)$ is gg) |
| 4. If (E is MG) then ($P(t)$ is m) | |

5.4.4 – DIAGRAMA EM BLOCO DO CONTROLADOR FUZZY NO SIMULINK

Devido à facilidade na implementação dos controladores, será utilizado o programa Matlab no desenvolvimento do controlador; este contém um pacote de simulação alternativo, com as suas várias caixas de ferramentas computacionais, entre as quais a da lógica fuzzy, que também se apresenta no formato gráfico (Manual Fuzzy logic toolbox do MATLAB, 2000). Os comandos e funções disponíveis por esta caixa de ferramenta são integrados e podem ser implementados no ambiente *simulink* do Matlab (HANSELMAN, D. & LITTLEFIELD, 2003) e (MATSUMOTO, E. Y., 2003). Na Figura 5.8 é apresentado o diagrama montado no simulink que representa o sistema de aquecimento.

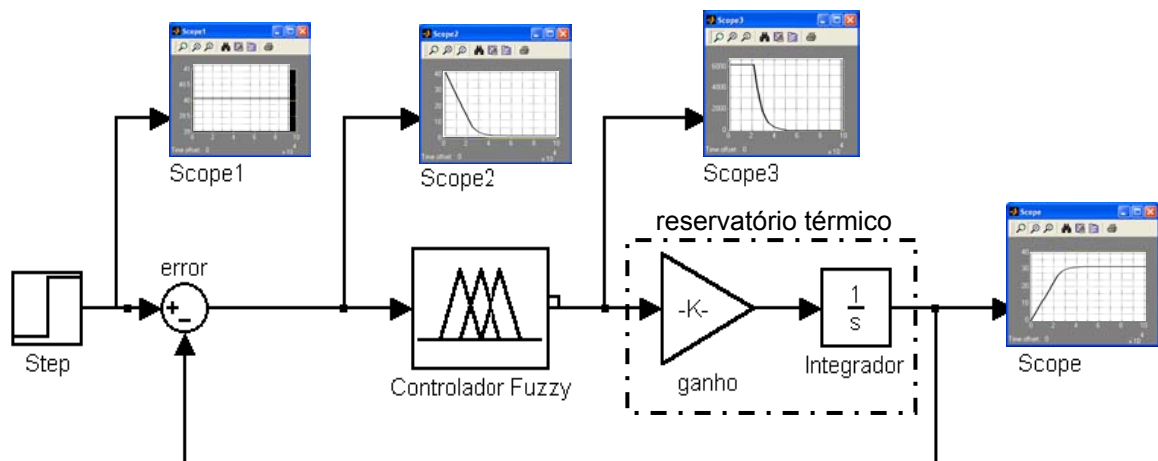


Figura 5.8 – Diagrama em bloco do sistema de aquecimento

5.5 – RESULTADOS OBTIDOS

5.5.1 – CONTROLADOR FUZZY

A Figura 5.9 mostra o gráfico da função $P(t) \times E$ (potência x erro), resultados obtidos do Controlador Fuzzy projetado e simulado no Matlab.

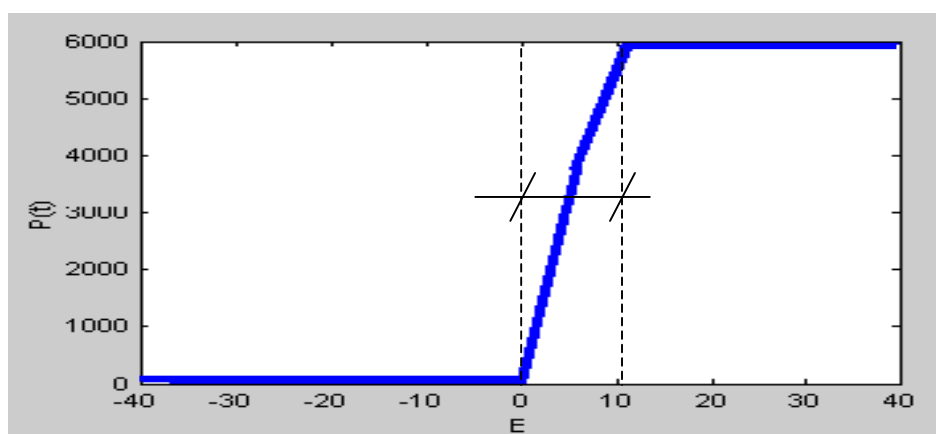


Figura 5.9 – gráfico de $P(t) \times E$

A Figura 5.10 mostra as regras de entrada e saída de forma gráfica.

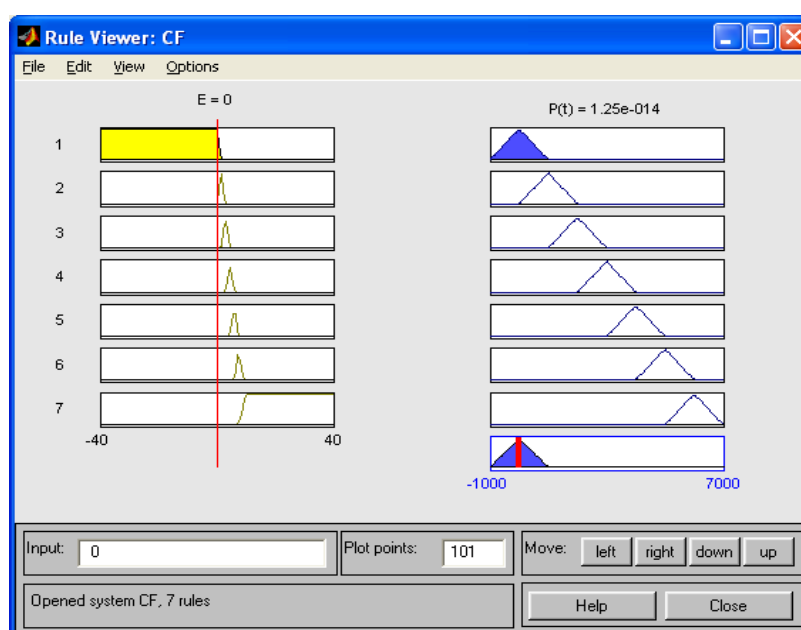


Figura 5.10 – Regras de entrada e saída

Para valores negativos do erro, que corresponde a temperaturas acima do valor de set-point, definido pelo usuário, a alimentação do resistor auxiliar será igual a zero, que corresponde a um consumo de potência igual a zero. Dentro da faixa de erro de até 10° C, haverá uma variação da potência conforme regra, e acima deste erro a potência será máxima no resistor, a fim de que a diferença diminua o mais rápido possível.

5.5.2 – SINAL NO SISTEMA DE AQUECIMENTO

A seguir serão apresentadas formas de onda obtidas nos diversos pontos do Diagrama em blocos do sistema de aquecimento apresentado na Figura 5.8, onde foi adotado o tempo de varredura para indicação nos gráficos, de 100.000 segundos, com o objetivo de observar o seu comportamento ao longo de um tempo maior. Na Figura 5.11 – Sinal do set-point indicado pelo “scope1” da Figura 5.8; a Figura 5.12 – Sinal de erro indicado pelo “scope2” da Figura 5.8; a Figura 5.13 – Sinal de saída para o módulo de potência indicado pelo “scope3” da Figura 5.8 e Figura 5.14 – Temperatura da água no reservatório térmico pelo “scope” da Figura 5.8.

Analisando os gráficos, pode-se observar que a Figura 5.11 corresponde ao valor de set-point escolhido pelo usuário, no caso 40° C, que é mantido constante. Já no reservatório térmico – boiler – está sendo adotado temperatura inicial de 0° C, a fim de se observar seu comportamento até atingir o valor de set-point, como pode ser verificado na Figura 5.14. O tempo é de aproximadamente 750 minutos para uma variação de 40° C.

Deve-se ainda observar que o valor da potência não é mantido constante, já que se tem estabelecido para variações inferiores a 10° C um ajuste no ângulo de fase, através das regras, atuando no gate do triac e assim na potência do resistor de

responsável pelo aquecimento da água. A Figura 5.12 mostra o comportamento da diferença entre o set-point e a temperatura no reservatório, ou seja, o erro existente e a Figura 5.13 mostra o comportamento da potência no resistor devido à variação do ângulo de fase no triac.

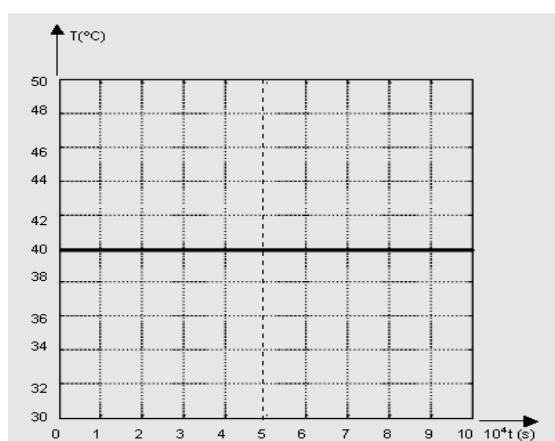


Figura 5.11

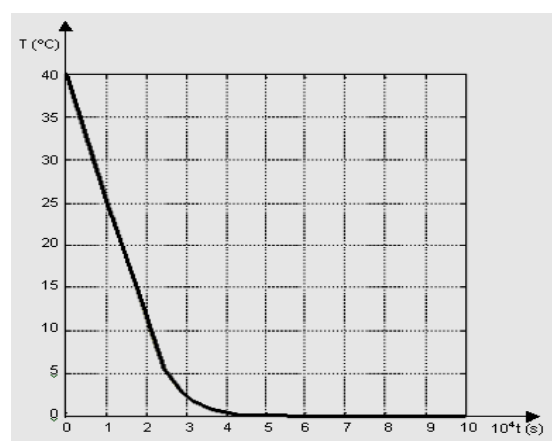


Figura 5.12

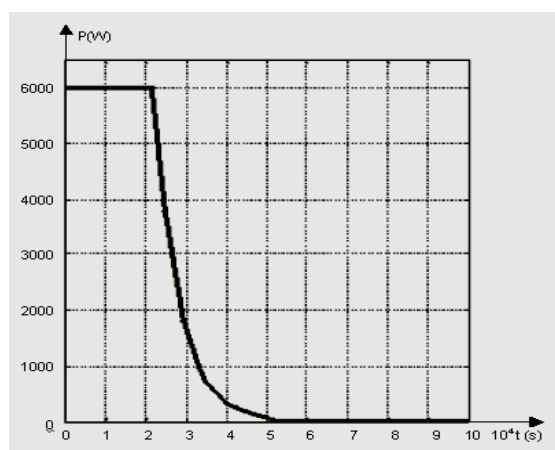


Figura 5.13

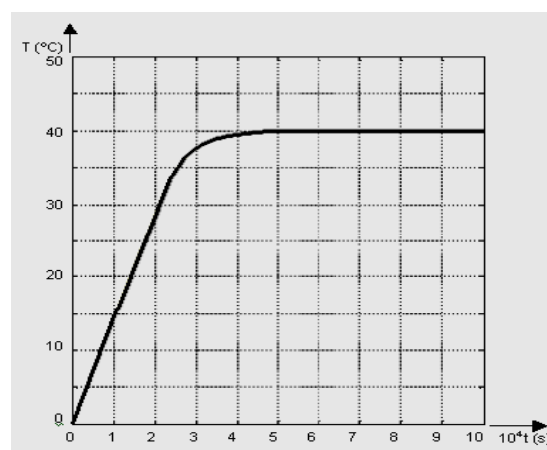


Figura 5.14

5.6 – MÓDULO DE POTÊNCIA DO CONTROLADOR FUZZY

A Figura 5.15 apresenta o módulo de potência do sistema de aquecimento de água responsável pela alimentação da potência de entrada da tensão no resistor que fica no reservatório térmico. Pode-se usar o apto-acoplador MOC3030.

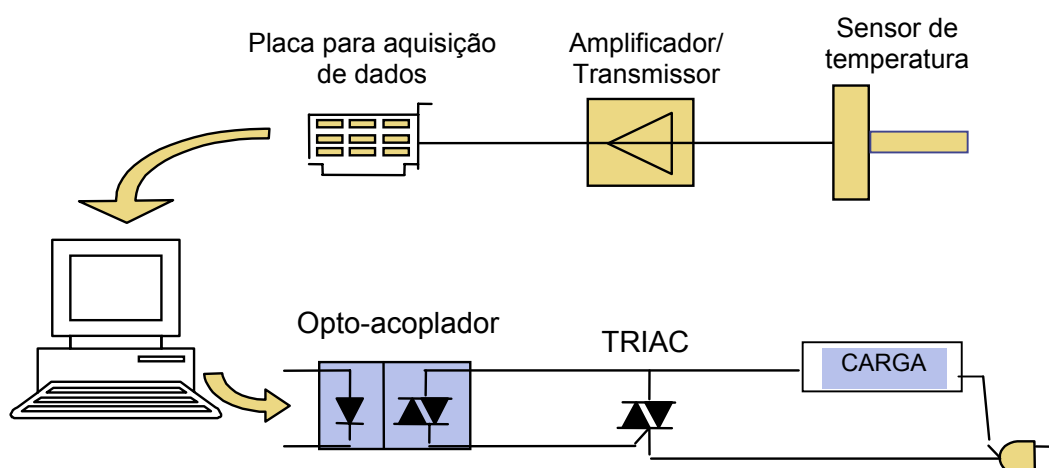


Figura 5.15 – Módulo do sistema de potência de aquecimento

5.7 – DIAGRAMA FINAL DO SISTEMA PROPOSTO

A Figura 5.16 mostra o diagrama final do sistema proposto contendo as indicações do Sensor Inteligente (SI) e dos Atuadores (AT), assim como a rede de distribuição de dados e o computador.

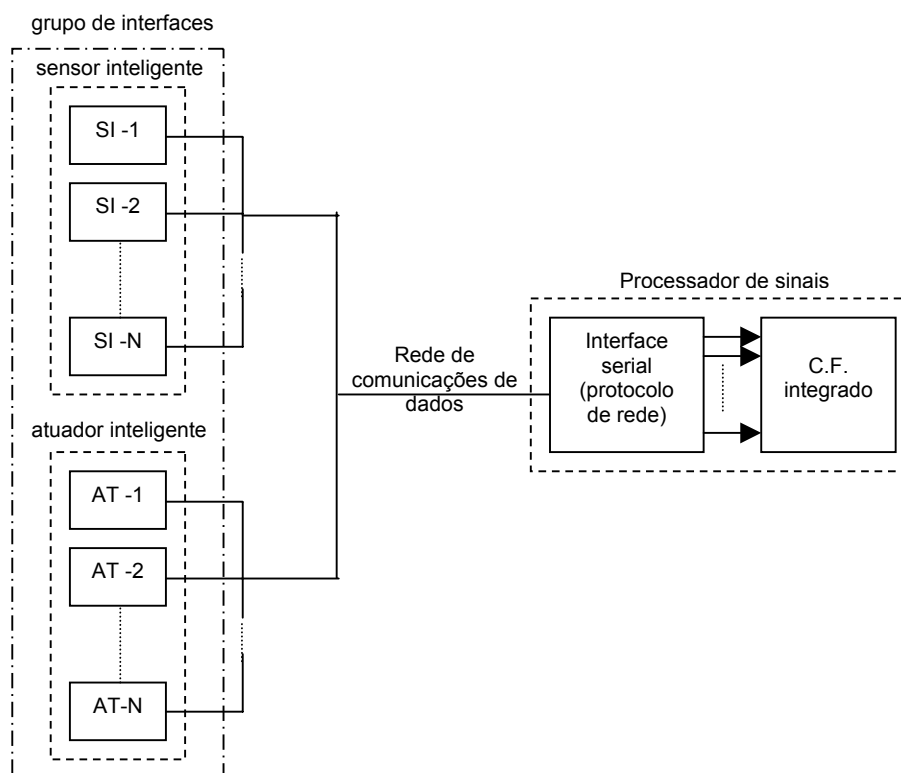


Figura 5.16 – Diagrama simplificado do sistema completo

5.8 – ANÁLISE ECONÔMICA

A viabilidade da instalação de um sistema depende dos custos envolvidos na mão-de-obra para a instalação, materiais em geral e sua vida útil em relação à economia de energia, levando-se ainda em conta o conforto adquirido com esta tecnologia. É sabido que um sistema solar pode propiciar uma redução média no consumo de energia elétrica que varia entre 50% e 65% (TECNOSOL, 2005),(ASTRO-SOL) e (HELIOSSOL, 2005). E, segundo os fabricantes dos sistemas solares, sua vida útil pode chegar a vinte anos (ASTRO-SOL).

Levando-se em conta que este sistema atende a quarenta famílias, seu custo será diluído em questão de meses. Daí conclui-se a viabilidade do seu emprego.

Tabela 5.2 – Despesa para instalação do sistema

Despesas para instalação do sistema			
Descrição	unidade R\$	Quantidade	Total (R\$)
Reservatório térmico de 1000 litros	2.800,00	10	28.000,00
Coletor solar (placa de 1,6 m ²)	300,00	100	30.000,00
Tubulações (distribuição)	-	-	10.000,00
Mão de Obra	-	-	40.000,00
Total	-	-	108.000,00

Tabela 5.3 – Consumo médio do prédio

Consumo médio do prédio				
Famílias	Média mensal (KWh)	Custo total com taxas	Economia c/o sistema (50%)	Tempo para se pagar
40	10.000	R\$ 3.790,00	R\$ 1.895,00	≈ 57 meses

Pode-se concluir que as condições de cálculo consideram um período de amortização de 5 anos e, segundo os fabricantes, a vida útil é de 20 anos.

CONCLUSÕES

Após estudos, levantamentos, pesquisas, modelagem e simulação do sistema proposto, constatou-se que os resultados foram satisfatórios. No início foi cogitada a criação de um controlador PID ou PI, mas, devido ao grande volume de água no reservatório térmico, concluiu-se que uma ação proporcional na correção da potência no resistor de aquecimento seria mais adequada para atender o processo em questão. Assim, atingiu-se o objetivo do trabalho: propor um sistema de controle fuzzy aplicado ao controle de consumo de energia, com a utilização de energia natural não poluente.

Observou-se um grande número de fabricantes que desenvolvem os diversos equipamentos para este fim, o que mostra uma grande preocupação mundial em atender a todas as necessidades de mercado.

Outro aspecto importante a ser considerado é a existência de diversos meios de interfaceamento para o encaminhamento dos sinais de ocorrência e atitudes.

Já, quanto ao aspecto econômico, pode-se concluir a viabilidade da implantação, pois seu custo é coberto num período relativamente pequeno, quando comparado com a vida útil do equipamento, principalmente em se tratando de um edifício, em que os gastos deverão ser divididos entre seus usuários.

Por fim, tem-se também a utilização de um sistema de supervisão inteligente, que incorpora a lógica fuzzy. Através dele é possível se efetuar medições, desligamento, proteção, geração de relatórios e outros, e assim realizar as funções básicas de um sistema de supervisão, propiciando conforto e bem-estar ao ser humano, além da segurança pessoal.

SUGESTÕES

Como sugestões para trabalhos futuros, visando à ampliação na redução do consumo de energia elétrica, propõe-se:

A utilização de válvulas de controle de fluxo de água nas entradas e saídas dos reservatórios térmicos, de forma que durante o período noturno ou em dias nublados, cada reservatório térmico seja controlado individualmente, de forma a otimizar o máximo possível o armazenado de calor antes da reposição com água fria. Entre 18h00 e 00h00, quando o consumo de água quente tem maior demanda, as válvulas de entrada dos reservatórios deverão permanecer fechadas, a fim de aproveitar ao máximo o calor armazenado. Como o acionamento das válvulas é individual, apenas quando o líquido atingir um determinado nível mínimo no reservatório, sendo detectado por um sensor de nível, a válvula de saída deste reservatório deverá ser fechada e a de entrada de água fria, aberta. Nesse momento outro reservatório deverá ter a válvula de saída aberta, e assim sucessivamente.

Por outro lado, das 00h00 às 06h00, como o consumo diminui consideravelmente, as válvulas de entrada de água fria deverão ser abertas, de forma a encher os reservatórios e garantir que eles estejam abastecidos para o dia seguinte.

Ainda é oportuna a utilização de um sensor de luminosidade, a fim de detectar a presença da luz solar, e até um relógio do próprio computador com objetivo de desativar a alimentação da resistência do reservatório durante a madrugada, quando o consumo é menor.

– CONTROLADOR FUZZY PARA ILUMINAÇÃO

Como o objetivo deste trabalho é controlar a carga de maior consumo, apenas

será feita, neste tópico, uma rápida abordagem do controlador a ser empregado para iluminação – como mostra a Figura 2, na iluminação de corredores, recepção e outros locais, desenvolvendo-se conjuntos de regras na entrada – “erro” e “derivação do erro” –, e conjuntos de regras para a saída, levando-se em conta a luminosidade local e a comparação da intensidade de referência desejada pelo usuário. Como consequência, a saída enviará um sinal para o módulo de potência similar ao apresentado anteriormente na Figura 5.15, de forma a controlar a intensidade de luz. A Figura 1 mostra o diagrama em bloco do sistema de iluminação proposto.

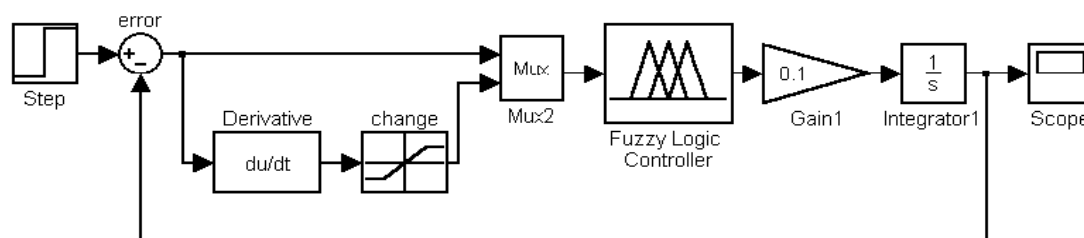


Figura 1 – Diagrama em bloco do sistema de iluminação

– CONTROLADOR FUZZY DESTINADO A UM SISTEMA INTEGRADO DE CONTROLE

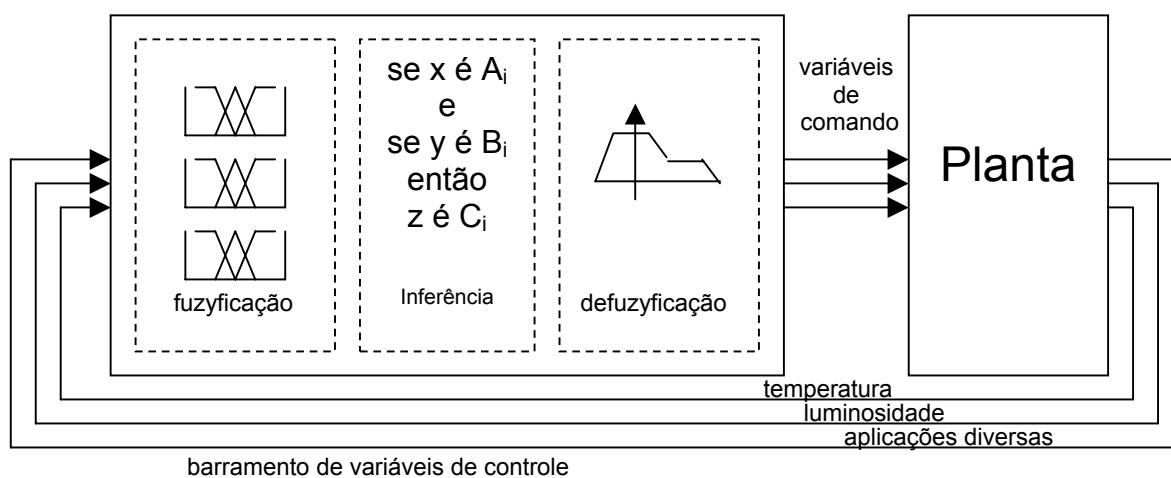


Figura 2 – Controlador Fuzzy com diversas entradas de controle

REFERÊNCIAS

ABNT (1998) NBR 5626 – Instalação predial de água fria.

BOLZANI, C. A. M. **Residências Inteligentes** - Editora Livraria da Física, 2004 - 2004 – 1ª edição, ISBN: 85-88325-25-X.

AQUECEDORES SOLAR - <<http://ecc.br/estudos/ciencias/8b/aquecedores.htm>> acesso em: 2 de agosto 2004.

ALMEIDA, G., **Sistema Internacional de Unidades (SI)**. Grandezas e Unidades Físicas: terminologia, símbolos e recomendações - 2ª edição, Plátano Editora, Lisboa, 1997.

ASTRO-SOL aquecedores. **Energia solar** Disponível em <http://www.astrosol.com.br/energia_solar.htm> acesso em: 21 de fev. 2005 página energia_solar.htm.

Automation Today disponível em <<http://automation.alogis.ch/pages/index.cfm?dom=7&ldom=14&rub=24&id=782>> acesso em 1/4/05.

BRASOL - Aquecedores - Disponível em <<http://www.brasol.com.br/aquecedoressolares.html>> acesso em 02/08/04 (Aquecedores Solares - BRASOL.htm).

BYRNE, G.; DORNFELD, D.; INASAKI, I.; KETTELER, G.; KÖNIG, W e TETI, R.: **Tool Condition Monitoring (TCM) – The Status of Research and Industrial Application**, Annals of the CIRP vol. 44/2/1995.

CADHOUSE - aquecedor solar - Disponível em <http://www.cadhouse.com.br/html/matdicas/cad_home_dica_aquecedorsolar.html> acesso em 09/09/04 (materias-procobre.htm).

CRESESB - Casa solar eficiente - Disponível em <http://www.cresesb.cepel.br/Parte_Externa.htm> acesso em 10/03/05 (Casa Solar Eficiente.htm).

CREDER, Hélio Instalações Elétricas - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1974 – 3 edição - Pg 131.

CREDER, H. (1995). **Instalações hidráulicas e sanitárias**. Livros Técnicos e Científicos Editora, 5ª Edição, 1995.

DU, R.; ELBESTAWI, M. A. e WU, S. M.: “**Automated Monitoring of Manufacturing Processes, Part 1 : Monitoring Methods**”, Journal of Engineering for Industry, vol. 117, n. 2, Maio de 1995.

EMBRAPA - Raio solar: uma nova tecnologia no tratamento do solo - Disponível em <<http://www.cnpma.embrapa.br/projetos/index.php3?sec=cosol>> acesso em 02/08/04 (Bem-vindo a Embrapa Meio Ambiente.htm).

ENERGIA, AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO - Caderno Digital de Informação sobre Energia, Ambiente e Desenvolvimento – Disponível em <http://www.guiafloripa.com.br/energia/trivia/termica_fotovoltica.php> acesso em: 2/08/2004.

ENERGIA SOLAR - PRINCÍPIOS E APLICAÇÕES. Disponível em <<http://www.cresesb.cepel.br/tutorial/solar/apstenergiasolar.htm>> acesso 10 de out. 2005.

FRADEN, J., **Handbook of Modern Sensors** - Physics, Designs and Applications, Second Edition, Springer Verlag, NY, 1996.

FRANCESCHETTI, N.N., GODOY SIMÕES L.O.M., - Modelagem e simulação de transferência de potência de um sistema fotovoltaico, - Anis do 5º Congresso Brasileiro de eletrônica de potência, 19 a 23 de setembro de 1999, Foz Iguaçu, PR., Brasil.

GARDNER, J. W., **Microsensors - Principles and Applications**, John Wiley & Sons, NY, 1994.

HANSELMAN, Duane & LITTLEFIELD, Bruce **Matlab 6** curso completo, 2003 ISBN 85-87918-56-7

HELIOSSOL - **Energia solar** - Disponível em <<http://www.heliossol.com.br/curios.htm> > acesso em: 21 de fev. 2005.

LIGHT - A era da energia solar FAQ - Disponível em <http://www.light.com.br/institucional/noticias/campanhas/energia_solar/faq/tefaq.shtml> acesso em 09/09/04 (Light.htm).

LOPEZ, R. A. **Sistemas de Redes para Controle e Automação** Editora Book Express, 2001- ISBN 82-868-4644-3 pg110; 160

L.ZADEH, - Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes, - IEEE trans. Systems Man Cybernetics, vol. 28, pp 28-44, 1978.

Lógica Fuzzy - Site da <<http://www-2.cs.cmu.edu/Groups/AI/html/faqs/ai/fuzzy/part1/faq-doc-2.html>> acesso em: 21 de fev. 2005.

MACINTYRE, A. D. J. – **Instalações hidráulicas Prediais e Industriais** – Instalações de água quente - 3ª edição, 1996.

Manual Fuzzy logic toolbox do MATLAB, Matlab - The Language of Technical Computing Version 6.0.0.88 Release 12 September 22, 2000.

MATSUMOTO, E. Y. **Simulink 5: fundamentos** Ed. Érica 2003 ISBN 85-7194-937-9.

PINHEIRO, J. M. S. **Guia Completo de Cabeamento de Redes** - membro da BICSI, Aureside, IEC 2001.

QUINTEIROS, A. R., **Aquecimento de água por energia solar** disponível em <<http://www.cefetsp.br/edu/sinergia/andre2.html>>, acesso em 09/09/04 (Aquecimento De Água Por Energia Solar.htm).

ROSÁRIO, J. M., Brasiltec artigo **A casa inteligente** Publicado em 06/08/2004 às 02:00 Disponível em <http://www.universiabrasil.net/pesquisas.jsp> - professor da Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP (Universidade Estadual de Campinas) e coordenador do Laboratório de Automação Integrada e Robótica do Departamento de Projeto Mecânico da Instituição acesso em 03/04/04 (Universia Brasil - O que é o Prédio Inteligente.htm).

SHAW, I. S. e SIMÕES, M. G. - **Controle e Modelagem Fuzzy** – E. Edgard Blücher Ltda, 2004 - 2ª edição ISBN 85-212-0248-2

SOLAR STAR - Dimensionamento mínimo - Disponível em <<http://www.php.com.br/solar/dimens.htm>> acesso em 09/09/04 (Solar Star - Dimensionamento.htm).

SOLETROL - Aquecedores Solar - Disponível em <<http://www.soletrol.com.br>> acesso em 09/09/04.

Energia Solar y Edificacion; Szokolay, S. V., Editorial Blume, 1978.
Energia Solar e Fontes Alternativas; Palz, Wolfgang , Hemus Livraria Editora Limitada, 1981.

SOUSA, A. S. e, Carvalho, P. S. **Matérial do Departamento de Física** - Faculdade de Ciências da Universidade do Porto nome do arquivo - acompanhamento_porto_utilizacao_sensores.pdf. Adquirido no site <http://www.tgrnet.com/search/insearch.asp>.

TECNOSOL - A Tecnologia do Sol. Disponível em <http://www.tecnosol-aquecedores.com.br/index2.htm> acesso em: 21 de fev. 2005.

THERMOTINI – coletor solar - Disponível em <http://www.thermotini.com.br/coletorsolar.html> acesso em 02/08/04 (Thermotini - Sistemas de Aquecimento.htm).

UNICAMP - Carlos Arthur de Oliveira Fernandes - Energia solar - Disponível em <http://www.fem.unicamp.br/~em313/paginas/esolar/esolar.html> acesso em 02/08/04 (ENERGIA SOLAR.htm).

WEBER, L. J., McLean, D. L., **Electrical Measurement Systems for Biological and Physical Scientists**, Addison-Wesley, NY, 1975.

WHITE, R. M., **A Sensor Classification Scheme**, IEEE Trans. Ultrason. Ferroelec. Freq. Contr., vol. UFFC-34, nº 2, pp. 124-126, Mar 1987.
VIVIMAT – A casa inteligente - Disponível em www.vivimat.com acesso em 27 fevereiro 2005.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)