

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

AMANDA DA SILVA MINUCCI
FERNANDO APARECIDO DOS SANTOS LIMA

AUTOMATIZAÇÃO NO PROCESSO DE LEITURA DE HIDRÔMETROS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2013

AMANDA DA SILVA MINUCCI
FERNANDO APARECIDO DOS SANTOS LIMA

AUTOMATIZAÇÃO NO PROCESSO DE LEITURA DE HIDRÔMETROS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial, do Departamento Acadêmico de Eletrônica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Flávio Trojan

PONTA GROSSA

2013



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Ponta Grossa

Nome da Diretoria
Nome da Coordenação
Nome do Curso



TERMO DE APROVAÇÃO

AUTOMATIZAÇÃO NO PROCESSO DE LEITURA DE HIDRÔMETROS

por

AMANDA DA SILVA MINUCCI
FERNANDO APARECIDO DOS SANTOS LIMA

Este(a) Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 11 de Setembro de 2013 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial. Os candidatos foram arguidos pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Flávio Trojan, Dr.
Prof. Orientador

Prof. Maurício dos Santos Kaster, Dr.
Membro titular

Profa. Fernanda Cristina Corrêa, Dra.
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

Dedicamos este trabalho a Deus que nos
proporciona a vida, e aos nossos
familiares, pelo apoio e compreensão.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer meus pais Raul e Ângela pela confiança que sempre tiveram em mim, pelo apoio em todos os momentos, graças a eles e por eles luto todos os dias para que me vejam com orgulho.

Agradeço meu namorado Vitor Henrique, meu irmão Neto e também aos meus amigos pelo apoio e por entenderem os momentos de ausência para que esse projeto fosse concluído, enfim obrigada a todos que de alguma forma contribuíram para que isso fosse possível.

Amanda da Silva Minucci

Aos meus pais Joanides e Teresinha, pois sou agraciado por tê-los em minha vida, por todo incentivo, dedicação e apoio que gratuitamente foram doados neste período.

Às minhas queridas irmãs Patrícia, Gislaine, Cristiane e Josiane por todo apoio, atenção e carinho oferecido.

À minha namorada Jana, a qual demonstrou tamanha paciência nos momentos em que não fui presente, e por todo auxílio intelectual e espiritual dispensado neste período.

Fernando Aparecido dos Santos Lima

A todos os professores do Departamento de Eletrônica pelos conhecimentos transmitidos.

Por fim, agradecemos ao nosso professor Dr. Flávio Trojan, pela dedicação e empenho que foi disposto para a realização deste projeto.

A mente que se abre a uma nova idéia
jamais voltará ao seu tamanho original.

(EINSTEIN, Albert, 1931)

RESUMO

MINUCCI, Amanda S., LIMA, Fernando A. S.. Automatização no Processo de Leitura de Hidrômetros. 2013. 66. Trabalho de Conclusão de Curso de Tecnologia em Automação Industrial - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2013.

O processo de leitura de hidrômetros, também denominado de micromedição, que contabiliza o consumo de água nas residências abastecidas pelas empresas de saneamento, apresenta muitas oportunidades de melhorias para a aplicação de novas tecnologias de automação e eletrônica. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo composto por um microcontrolador eletrônico que se utiliza de comunicação por ondas de rádio frequência, como proposta para automatizar o processo de leitura de hidrômetros em unidades consumidoras de água. Atualmente o processo é realizado através da inspeção visual na maioria das empresas brasileiras de saneamento básico. Na pesquisa, algumas tecnologias foram analisadas, como alternativas para a realização do projeto, chegando-se a conclusão de que o protocolo *ZigBee*, baseado no padrão IEEE 802.15.4, embarcado ao microprocessador da plataforma *Arduino*, apresenta-se como uma alternativa viável para a aplicação em questão. O sistema embarcado automatiza o processo através do monitoramento do consumo individual de água em tempo real e pelo envio de valores instantâneos de vazão, por comunicação de ondas de rádio, para uma central. Esta armazena os valores em um banco de dados para posterior gerenciamento. A principal vantagem apresentada por este sistema automatizado de micromedição é a eliminação da necessidade e dos custos referentes à leitura visual.

Palavras-chave: Hidrômetros. *ZigBee*. *Arduino*.

ABSTRACT

MINUCCI, Amanda S., LIMA, Fernando A. S.. Automating the Process of Reading Water Meters. 2013. 66. Conclusion Work Course Technology in Industrial Automation - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2013.

The process of meter reading, also called micro-measurement, which accounts for the consumption of water in households supplied by water utilities, presents many opportunities for improvements to the application of new technologies and automation electronics. This paper presents the development of a prototype composed by an electronic microcontroller that uses communication by radio frequency waves, as proposed to automate the process of meter reading units consume water. Currently the process is carried out by visual inspection in most Brazilian companies sanitation. In the survey, some technologies were examined as alternatives for the realization of the project, coming to the conclusion that the zigbee protocol, based on IEEE 802.15.4 standard, the embedded microprocessor platform arduino, presents itself as a viable alternative to the application in question. The embedded system automates the process by monitoring the individual consumption of water in real time and sending instantaneous values of flow, by radio waves communication, to a central, which stores the values in a database for subsequent management. The main advantage offered by this system is automated micro-measurement eliminating the need and cost related to the visual reading.

Keywords: Water meters. *Zigbee*. *Arduino*.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Hidrômetro	19
Figura 2 - Medidores	21
Figura 3 - Índice de perdas de faturamento nos estados brasileiros	22
Figura 4 - Comparativo do protocolo <i>ZigBee</i> e outras redes	25
Figura 5 - Camada de aplicação protocolo IEEE 802.15.04	26
Figura 6 - Topologia de rede <i>ZigBee</i>	30
Figura 7 - Módulos <i>Xbee Series 2</i>	31
Figura 8 - Microprocessador Intel e microcontrolador Pic	32
Figura 9 - Placa <i>Arduino UNO</i>	33
Figura 10 - Diagrama de blocos ATmega328	36
Figura 11 - <i>IDE</i> de programação <i>Arduino</i>	38
Figura 12 - Esquema de efeito <i>Hall</i>	40
Figura 13 - Sensor de vazão	43
Figura 14 - Fluxograma das etapas de programação do microcontrolador	44
Figura 15 - Fluxograma de programação da função loop	47
Figura 16 - Regulador de tensão 5V e 3,3 V	48
Figura 17 - Circuito de <i>clock</i> do microcontrolador	48
Figura 18 - LCD 16X2	49
Figura 19 - Protótipo do hidrômetro digital	50
Figura 20 - Arquitetura de simulação do projeto	51
Figura 21 - <i>Software X-CTU</i>	52
Figura 22 - Módulo <i>Xbee Explorer</i>	52
Figura 23 - Banco de dados <i>software Excel</i>	55
Figura 24 - Sensor de vazão instalado na tubulação de entrada da residência	57
Quadro 1 - Conexões utilizadas no microcontrolador	45
Quadro 2 - Instrução de configuração no MCU das colunas do banco de dados	47
Quadro 3 - Valores registrados nos hidrômetros	56
Quadro 4 - Registros de contabilização de valores no banco de dados	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição de Perdas	22
Tabela 2 - Características dos dispositivos XBee Séries 2	31
Tabela 3 - Características do <i>Arduino</i> UNO	35
Tabela 4 - Descrição de diretivas do Aplicativo PLX-DAQ	41
Tabela 5 - Comandos de parametrização módulo XBee Coordenador	53
Tabela 6 - Comandos de parametrização módulo XBee <i>end-device</i>	53

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

AES	<i>Advanced Encryption Standard</i>
LCD	<i>Liquid Crystal Display (Display de Cristal Líquido)</i>
Copel	Companhia Paranaense de Energia
CPU	Unidade Central de Processamento
EEPROM	<i>Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
FFD	<i>Full Function Device</i>
FTDI	<i>Future Technology Devices International</i>
GHz	Giga Hertz
ICSP	<i>In-circuit Serial Programming</i>
IDE	Ambiente de Desenvolvimento Integrado
IN	<i>Input</i>
I ² C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
KB	Kilo <i>Bits</i>
MAC	<i>Media Access Control</i>
MCU	Microcontrolador
MHz	Mega Hertz
ms	Mili segundos
mA	Mili Ampéres
μA	Micro Ampéres
NWK	Camada de Rede
OUT	Output
pF	Picofarad
PHY	<i>Physical Layer</i>
PWM	<i>Pulse-Width Modulation</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
RF	Rádio Frequência
RFD	<i>Reduced Function Device</i>
RX	Receptor
Sanepar	Companhia de Saneamento do Paraná
SD	Secure Digital
SNIS	Sistema Nacional de informações sobre o Saneamento

SPCR	<i>Serial Port Console Redirection</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
SRAM	<i>Static Random Access Memory</i>
TTL	<i>Transistor Transistor Logic</i>
TX	Transmissor
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver / Transmitter</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
Wi-fi	<i>Wireless fidelity</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 TEMA DA PESQUISA.....	15
1.1.1 Delimitação do Tema	15
1.2 PROBLEMA	16
1.3 HIPÓTESE PREMISSA	16
1.4 OBJETIVOS.....	16
1.4.1 Objetivo Geral.....	16
1.4.2 Objetivos Específicos.....	17
1.5 JUSTIFICATIVA	17
1.6 MÉTODO DA PESQUISA	17
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	19
2.1 HIDRÔMETROS	19
2.1.1 Perdas no Sistema de Abastecimento de Água.....	21
2.1.2 Micromedição.....	23
2.1.3 Telemetria	23
2.2 ZIGBEE.....	24
2.2.1 Camadas Padrão <i>ZigBee</i>	26
2.2.1.1 Camada Física (PHY)	26
2.2.1.2 Camada MAC.....	27
2.2.1.3 Camada de Rede (NWK)	27
2.2.1.4 Camada Aplicação	27
2.2.2 Características dos dispositivos.....	28
2.2.3 Topologia de Rede.....	29
2.2.4 Módulo XBee	30
2.3 MICROCONTROLADOR	32
2.4 ARDUINO	33
2.4.1 Alimentação	34
2.4.2 Entradas e Saídas I/O.....	34
2.4.3 Memória.....	35
2.4.4 Comunicação	36
2.4.5 Programação	37
2.5 SENSOR DE VAZÃO.....	39
2.6 APLICATIVO PLX-DAQ	40
3 DESENVOLVIMENTO.....	42
3.1 FERRAMENTAS UTILIZADAS	42
3.2 HIDRÔMETRO DIGITAL.....	42
3.2.1 Detecção de passagem de fluido.....	43

3.2.2 Sistema de leitura e execução do programa.....	44
3.2.2.1 Configuração do Microcontrolador	45
3.2.2.2 Circuito de Alimentação	47
3.2.2.3 Circuito de <i>Clock</i>	48
3.2.2.4 LCD.....	49
3.2.2.5 Protótipo.....	49
3.3 COMUNICAÇÃO REMOTA	50
3.3.1 Configuração dos Rádios.....	50
3.3.1.1 Configuração do módulo Coordenador	52
3.3.1.2 Configuração do módulo <i>end-device</i>	53
3.4 BANCO DE DADOS.....	54
3.4.1 Hospedagem de Dados	54
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	56
4.1 HIDRÔMETRO DIGITAL.....	56
4.2 COMUNICAÇÃO REMOTA	57
4.3 BANCO DE DADOS.....	57
4.4 APLICABILIDADE	58
5 CONCLUSÕES	60
5.1 TRABALHOS FUTUROS	60
REFERÊNCIAS.....	61

1 INTRODUÇÃO

A medição do consumo mensal de água nas unidades consumidoras (residências, comércios e indústrias), realizada pelas empresas de saneamento que distribuem a água tratada, é uma atividade complexa dentro dos conglomerados urbanos. As empresas que possuem medidores instalados nas residências necessitam organizar rotas de coleta visual para serem percorridas com o objetivo de registrar os dados sobre os consumos individuais.

Essa atividade de registrar o consumo de água nas unidades residenciais, comerciais e industriais é vital para as prestadoras de serviço (companhias de saneamento). Além do registro do consumo ser necessário para a geração mensal de contas e faturas, esse parâmetro é importante para definir o nível de perdas na rede de distribuição (volume total produzido menos o volume consumido), indicar fraudes ou vazamentos na rede de distribuição (volume consumido menor que o volume distribuído), e definir perfis de consumo dos usuários para orientar políticas de substituição dos medidores, dentre outros.

Para isso, algumas técnicas de coleta de dados de consumo podem ser utilizadas, dentre elas:

- Sistema de medição visual, através de um leitorista: atividade em que um funcionário da empresa percorre mensalmente uma rota, coletando os consumos registrados em medidores individuais de consumo de água nas unidades consumidoras (hidrômetros);
- Sistema de medição através de rádio frequência: após a instalação de equipamentos nos medidores que disponibilizam os dados de consumo, através de ondas de rádio, é possível programar uma máquina para coletar os consumos de forma automática;
- Sistema de medição através de redes metropolitanas ou internet: nesse tipo de medição é utilizada a infraestrutura de redes de computadores presente na região, como a rede de telefonia. Dessa forma é possível conectar através da internet os dispositivos de medição e obter os dados de consumo quando for necessário.

Porém, nem todas as técnicas citadas são facilmente utilizadas. Além da infraestrutura necessária para a implantação de uma ou outra forma de coleta e medição de consumo, os custos operacionais e de implantação são normalmente mais elevados do que um sistema tradicional de inspeção visual e variam conforme a tecnologia utilizada. Então, na maioria dos casos, as companhias de saneamento utilizam a técnica tradicional, ou seja, a utilização de um sistema de medição visual, através de um leiturista, que segue rotas pré-definidas para leitura de consumo. Porém esse sistema apresenta um principal problema: a confiabilidade nos dados.

Os avanços tecnológicos da sociedade contemporânea, impulsionados pela competitividade nas mais diversas áreas, determinam a criação de tecnologias ou adaptações de tecnologias existentes que facilitem o dia a dia de empresas e pessoas. Desta forma, a eletrônica associada a dispositivos digitais programáveis como os microcontroladores, proporciona possibilidades de desenvolvimento de soluções para conectar dispositivos em rede e gerenciar processos de controle industrial e residencial. Os microcontroladores estão presentes em muitos dos equipamentos eletrônicos utilizados atualmente, tais como: máquinas de lavar, forno microondas, dispositivos de comunicação, controles remotos e uma infinidade de dispositivos de automação industrial.

Microcontroladores são basicamente dispositivos que apresentam características similares às de um computador, acondicionadas dentro de um chip, que pode conter memória para armazenar dados e programas, processador para interpretar instruções e controle de entrada e saída para comunicação com o ambiente externo.

O sistema tradicional de leitura visual do consumo de água, que demanda o trabalho de um leiturista, pode até ser aceitável, mas com o crescimento urbano, vai se tornando cada vez mais complexo e demorado utilizar esse sistema, principalmente pelo aumento expressivo de unidades habitacionais.

Sistemas de medição remota são atualmente as alternativas para viabilizar a leitura de vários hidrômetros em um espaço reduzido de tempo, praticamente sem o custo de mão de obra. Atualmente, já existem no mercado brasileiro diversos fornecedores com diferentes sistemas de medição remota para consumo de água, porém, normalmente com custos mais elevados do que o sistema tradicional.

Existem também sistemas de medição remota sem fio, via radiofrequência e cabeados, com diferentes tecnologias envolvidas para cada caso.

Este trabalho propõe desenvolver um sistema de monitoramento no processo de leitura de hidrômetros em unidades consumidoras de água utilizando a comunicação telemétrica na obtenção dos valores consumidos. Consiste na construção de um hidrômetro digital remoto microcontrolado de baixo custo, que envie os valores obtidos a uma unidade central, a qual receberá os dados de consumo/medição instantaneamente e os armazenará em um banco de dados.

O projeto visa confiabilidade e o baixo custo para a implantação de um sistema de controle de volume de água produzido *versus* volume de água faturado, o qual se apresenta, na atualidade, como causa de grandes desperdícios financeiros e ambientais.

A implantação da telemetria proporciona uma gama de vantagens e destaca-se em relação ao processo atual de medição e controle de água.

1.1 TEMA DA PESQUISA

O presente trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema de automatização na leitura de hidrômetros através da comunicação de radiofrequência em conjunto com microcontroladores.

1.1.1 Delimitação do Tema

O tema delimita-se à aplicação da automação industrial e telemetria nas empresas de saneamento para leituras em unidades consumidoras de água, com a utilização de hidrômetros microcontrolados.

1.2 PROBLEMA

Os altos índices de perdas observados nos sistemas de abastecimento de água, oriundos da ineficiência na contabilização das medições de hidrômetros, totalizam aproximadamente um quarto das perdas reais de água das empresas de saneamento. Outro fator a ser ponderado é o custo efetivo constante para a leitura em cada hidrômetro, sendo na ordem de R\$0,40, valor oriundo de salários, encargos e despesas para realização da atividade. O trabalho dos leituristas também se mostra demasiadamente exaustivo e por vezes insalubre, pois demanda que estes profissionais percorram dezenas de quilômetros diários registrando os valores consumidos pelos clientes da concessionária.

1.3 HIPÓTESE PREMISSA

A premissa a ser confirmada por esse trabalho é de que o desenvolvimento de um sistema microcontrolado de baixo custo para obtenção dos dados de consumo das unidades consumidoras dos sistemas de abastecimento de água em tempo real, possa trazer uma contribuição para a automação, redução de custos e aumento da confiabilidade de dados no processo de leitura de hidrômetros para as empresas de saneamento básico.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

Desenvolver e implementar um sistema de medição remota de baixo custo para o processo de leitura de hidrômetros nas empresas de saneamento básico e medir resultados sobre a eficiência do sistema proposto.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Projetar um sistema de leitura, comunicação e armazenamento de valores obtidos nas medições;
- Construir um protótipo de baixo custo utilizando microcontroladores;
- Apresentar os possíveis resultados e contribuições no desenvolvimento da tecnologia estudada.

1.5 JUSTIFICATIVA

A falta de confiabilidade nos processos de leitura em micromedições causa inúmeras perdas de faturamento no sistema de abastecimento de água. Em contrapartida, a redução de perdas permite aumentar a receita tarifária, melhorando a eficiência dos serviços prestados e o desempenho financeiro do prestador de serviço. O desenvolvimento de um sistema de medição remota de baixo custo que possibilite maior confiabilidade pode justificar o estudo e desenvolvimento do presente trabalho.

1.6 MÉTODO DA PESQUISA

Para adequar a realização do trabalho, tomou-se três etapas de execução, sendo elas:

Primeira Etapa:

Estudo e levantamento sobre a atual situação da leitura; verificação da aplicabilidade de um novo sistema de comunicação remota; busca de novas tecnologias de baixo custo que atendam as necessidades do equipamento; por fim, desenvolvimento do protótipo.

Segunda Etapa:

Após o desenvolvimento do protótipo, é realizada uma aplicação em campo. A aplicação consta da instalação de um hidrômetro digital em uma tubulação de entrada de água, em série com o hidrômetro analógico da concessionária. Nesta etapa são realizados os testes para calibração e os ajustes do protótipo.

Terceira Etapa:

Na última etapa são coletados os dados sobre a eficiência do protótipo desenvolvido, como os custos do equipamento, e então são adicionadas referências bibliográficas utilizadas no decorrer da pesquisa.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 HIDRÔMETROS

Os hidrômetros são marcadores de consumo de água em residências e estabelecimentos comerciais. Existem vários modelos de mostradores de hidrômetros, sendo que os mais comuns possuem uma combinação de um mostrador e dois relógios de ponteiro. O número formado pelos quatro primeiros algarismos do mostrador fornece o consumo em m^3 . Os dois últimos algarismos representam as centenas de litros de água consumidos. Um dos relógios de ponteiros indica a quantidade em litros e o outro em décimos de litros, conforme ilustrado na Figura 1.

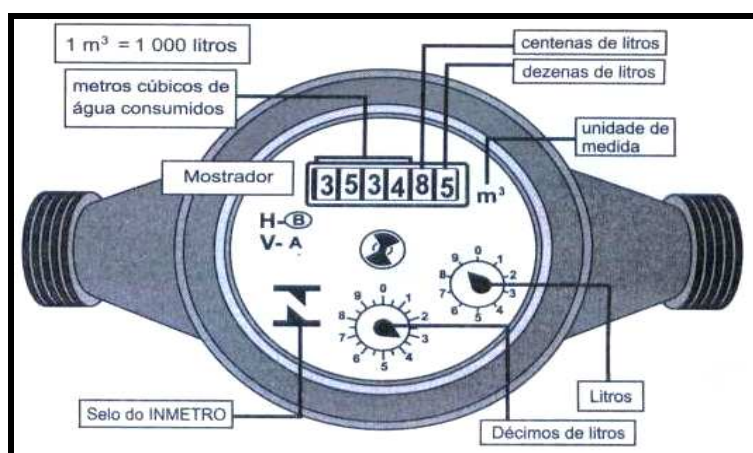


Figura 1 - Hidrômetro
Fonte: ÁGUAS DO BRASIL (2013)¹

De acordo com seu princípio de funcionamento, os hidrômetros podem ser dos tipos velocimétrico ou volumétrico.

Os hidrômetros velocimétricos têm como princípio de funcionamento a contagem do número de revoluções da turbina ou hélice para obtenção do volume, que é feito de forma indireta, de acordo com uma correlação baseada na aferição do

¹ Disponível em: <http://www.aguasdearacoiaba.com.br>, acesso em jun. 2013.

hidrômetro. O número de revoluções da turbina é registrado em um dispositivo totalizador. De acordo com Coelho e Maynard (1999, p. 120), “os medidores de velocidade também são chamados de medidores inferenciais, porque não obtêm a medição de água de forma direta, e sim de forma indireta.”

No hidrômetro volumétrico não existe uma turbina, e sim um êmbolo ou anel. É um recipiente que se enche com a entrada do líquido e transporta para a saída do medidor um determinado volume. O fenômeno de transporte dá-se pela diferença de pressão, que é maior na entrada do que na saída do aparelho. O êmbolo executa movimento circular em torno do próprio eixo, gerando os movimentos necessários para acionar o totalizador. A partir daí, o registro de volumes dá-se da mesma forma que nos demais hidrômetros.

O princípio volumétrico de medição garante maior precisão em baixas vazões. Os hidrômetros mais utilizados são os do tipo velocimétrico. Estes hidrômetros podem ser dos tipos monojato ou multijato, podem ter sua relojoaria seca ou úmida e podem ser de transmissão magnética ou mecânica.

A medição do volume gasto em uma residência é feita a partir da análise do hidrômetro (Figura 2). Seguem na sequência as maneiras de se efetuar a leitura:

- Hidrômetro digital: são lidos os números que aparecem nos quadrados. No exemplo, a leitura é 77778.
- Hidrômetro digital com ponteiros: são lidos somente os números que aparecem em preto nos quadrados. No exemplo, a leitura é 0223.
- Hidrômetro de ponteiros: são lidos os números indicados nos círculos menores, em sentido anti-horário, iniciando pelo ponteiro X 1, passando depois para o ponteiro X 10, e seguindo até o último ponteiro X 100000. No exemplo, a leitura é 090902.

Atualmente a medição efetuada pelas concessionárias é realizada a partir da análise visual, feita por um técnico, chamado de “leiturista”. Este, por sua vez, se desloca de residência em residência para efetuar as leituras, que muitas vezes é dificultada pela falta de acesso aos hidrômetros.



Figura 2 - Medidores
Fonte: SABESP (2013)²

No ano de 2012 foi realizada uma campanha para conscientização da população foi feita na cidade de Curitiba, em que funcionários da Sanepar (Companhia de Saneamento do Paraná) e da Copel (Companhia Paranaense de Energia) participaram do movimento. Os dados coletados sobre ataques de cães em 2012 informavam que apenas em Curitiba e região foram registrados 48 casos de leituristas que foram afastados do trabalho em razão de mordidas de cães. Na maior parte dos casos, os leituristas sofreram ataques nas pernas, mãos e dedos e alguns deles passaram por essa situação mais de uma vez (G1, 2013).

2.1.1 Perdas no Sistema de Abastecimento de Água

Em sistemas públicos de abastecimento, do ponto de vista operacional, as perdas de água são caracterizadas pelos volumes não faturados. Esses são compostos por perdas físicas, representados pela parcela não consumida e por perdas não físicas, correspondentes à água consumida e não faturada.

Define-se por perda física os vazamentos oriundos de todo o sistema, desde a captação até a distribuição, e os demais procedimentos operacionais, como exemplo a lavagem de filtros quando estes ocasionam consumos superiores aos previstos para a sua execução.

² Disponível em: <http://site.sabesp.com.br>, acesso em jun. 2013.

Já as perdas não físicas são caracterizadas pelas ligações clandestinas, hidrômetros com defeito, erros na leitura de medições (macro e micromedições), e gestão comercial.

Na Tabela 1, pode-se verificar o percentual de todas as perdas no sistema de abastecimento.

Descrição da Perda	Percentual total
Vazamentos	47,6
Macromedição	5,3
Micromedição	20,3
Fraudes	9,7
Gestão Comercial	17,1

Fonte: DOCUMENTO TÉCNICO DE APOIO - DTA A2 (2003).

Segundo o SNIS (Sistema Nacional de informações sobre o Saneamento, 2005), o Brasil perde 44,81% da água distribuída em relação à água captada. Essa quantidade seria suficiente para abastecer, simultaneamente, países como França, Suíça, Bélgica e o norte da Itália. As elevadas perdas de água têm relação direta com o desperdício de energia elétrica, pois, normalmente, são necessários cerca de 0,6 kWh para produzir 1m³ de água potável.

Um estudo realizado por Júnior *et al* (2013) apresenta os índices de perdas de faturamento nos estados brasileiros (Figura 3).

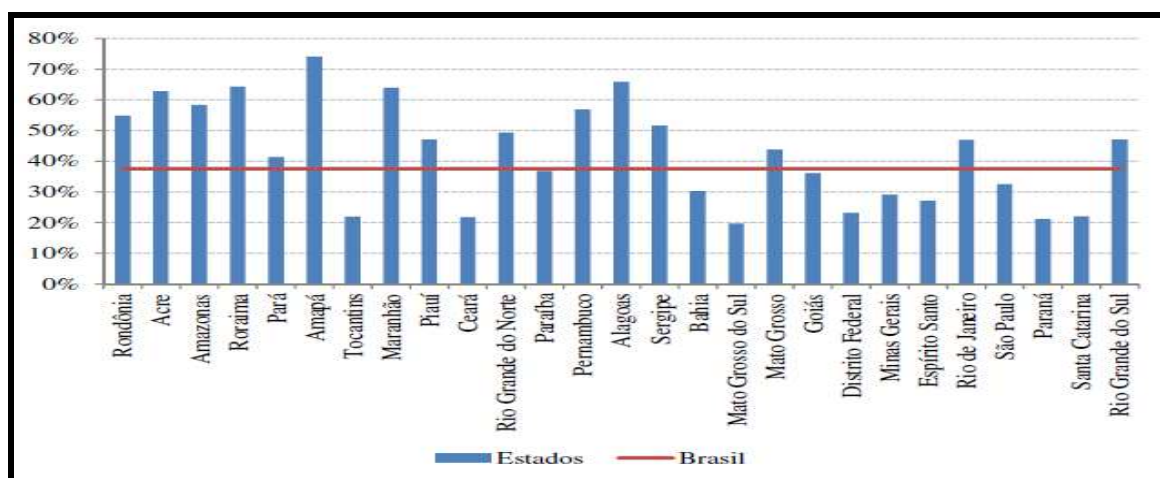


Figura 3 - Índice de perdas de faturamento nos estados brasileiros

Fonte: JÚNIOR (2013).

A média nacional se aproxima dos 40%, sendo que esse alto índice é favorecido pelas regiões norte e nordeste do Brasil, devido à falta de investimentos dessas regiões para com o setor.

2.1.2 Micromedição

A micromedição é a medição do volume consumido pelos clientes das prestadoras de serviço de saneamento, que deve ser revertido em uma conta a ser paga mensalmente. Com o auxílio dos hidrômetros, as micromedições se tornaram mais justas, além de servir de inibidor de consumo, estimulando a economia e fornecendo dados operacionais importantes sobre o volume fornecido ao usuário e a detecção de vazamentos potenciais.

Segundo Tsutiya (2013), a micromedição está totalmente associada à precisão da medição, que depende da classe metrológica do medidor, do tempo de instalação, da forma como o medidor está instalado e do perfil de consumo. Medidores parados ou com indicações inferiores às reais, além da evidente perda de faturamento, elevam erroneamente os indicadores de perdas do sistema, pois apesar da água estar sendo fornecida ao usuário, parte dela não está sendo contabilizada.

Sendo assim, os erros baseados nos micromedidores se tornam um ponto forte a ser pensado e levado em conta ao se analisar as perdas de consumo no setor de saneamento do país, levando em conta que esses erros de medição incluem: erros ocorridos devido aos procedimentos de leitura, diferenças entre datas de leitura do macromedidor e do hidrômetro, enganos de leitura dos medidores pelos leituristas, estimativas incorretas do tempo de parada dos medidores, cálculos incorretos, erros computacionais e erros sistemáticos de medição dos hidrômetros.

2.1.3 Telemetria

A palavra telemetria vem do grego *tele*: remoto e *metron*: mensurar. Por isso, os dados transmitidos e recebidos pela telemetria são caracteristicamente

relacionados à mensuração de equipamentos ou mesmo de processos, dependendo da sua forma de aplicação.

O conceito de telemetria já é bastante difundido mundialmente, sendo utilizado principalmente pelo mundo corporativo. Pode ser aplicada em diversas situações, pois se baseia na ideia de transmitir e receber dados através de tecnologias de comunicação sem fio, ou seja, um equipamento que esteja “gerando” dados em um determinado local poderá ter suas informações enviadas para outro equipamento utilizando a comunicação sem fio. A telemetria possui duas características principais:

- O uso da comunicação sem fio.
- A aquisição de informações importantes.

Ambas as características estão diretamente associadas ao consumo consciente. A sua utilização permite, por exemplo, a redução significativa do uso de meios de transporte e combustíveis e a eliminação de gastos operacionais, e permite agilidade em processos críticos. A telemetria, além de oferecer dados detalhados, disponibiliza às concessionárias informações atualizadas em tempo real e seu acompanhamento permite uma visão mais completa e crítica da distribuição e do consumo. Assim, é de fundamental importância se aplicada à medição do consumo de água, pois torna possível obter de forma remota as informações sobre o consumo dos usuários do sistema de saneamento.

2.2 ZIGBEE

“O protocolo de comunicação *ZigBee* foi desenvolvido como uma alternativa de transmissões de dados em redes que não necessitam de soluções mais complexas para o seu controle” (PINHEIRO, 2004). Diversas das suas funcionalidades foram criadas para atender o mercado da área de automação. Ele oferece custos de aquisição, instalação de equipamentos e manutenção mais acessíveis, sendo destacados:

- Baixo custo: possui uma pilha de protocolo de fácil implementação;
- Diferentes topologias de rede: estrela, árvore ou malha;
- Redução o consumo de energia de 70 mA até 6 μ A;

- Grande quantidade de nós: sendo possíveis 65535 dispositivos em uma única rede;
- Segurança e confiabilidade: possui recursos de criptografia com a implementação do padrão AES (*Advanced Encryption Standard* – Padrão de criptografia avançado) de 128 bits.

Trata-se, portanto, de uma tecnologia relativamente simples, que utiliza um protocolo de pacotes de dados com características específicas, sendo projetado para oferecer flexibilidade quanto aos tipos de dispositivos que pode controlar.

Criado pela *ZigBee Alliance*³, o protocolo de comunicação *ZigBee* 1.0 foi ratificado em 14 de dezembro de 2004 para aplicações que requerem uma baixa transmissão de dados, vida longa de baterias e uma rede segura, atuando na faixa de frequência de 2.4GHz, baseado na norma IEEE 802.15.4 (Figura 4).

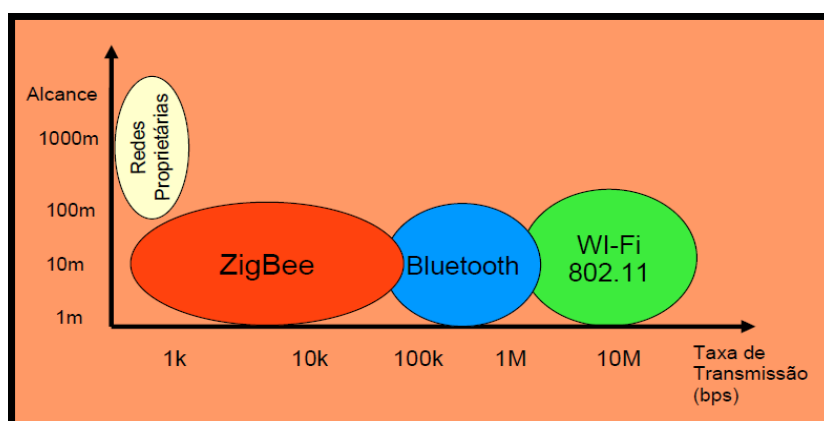


Figura 4 - Comparativo do protocolo *ZigBee* e outras redes
Fonte: PINHEIRO (2004)

Por ser uma rede de baixa potência, o *ZigBee* é implementado em *chips* com recursos limitados de processamento, possui mecanismos que possibilitam que os dispositivos possam desligar (“dormir”) durante um intervalo de tempo (ERGEN, 2004). Por consequência, seu custo é bem menor que o de outras tecnologias. Sua taxa de transmissão de dados atinge 250 Kbps. A faixa de frequência em que atua e o número de canais que suporta é determinada de acordo com a localidade: 868 MHz na Europa em um canal único, 915 MHz nos Estados Unidos com 10 canais, e

³Disponível em: www.zigbee.org, acesso em ago. 2013

2.4 GHz no resto do mundo com 16 canais. As ondas de rádio do *ZigBee* alcançam a distância de 100 metros, mas, com determinadas configurações da rede, essa distância pode chegar a quilômetros.

2.2.1 Camadas Padrão *ZigBee*

Sua base é o padrão IEEE 802.15.4, por isso implementa as camadas *Physical Layer* (PHY) e *Media Access Control* (MAC). Sua estrutura é complementada com outras camadas adicionais que fornecem, por exemplo, a possibilidade de roteamento de frames (Figura 5). Lopes *et al* (2012) descrevem as camadas de rede *ZigBee* detalhando suas características e funções conforme mostrado a seguir:

2.2.1.1 Camada Física (PHY)

A camada física, ou *PHY*, é responsável pela manipulação dos sinais gerados pelos transceptores. Suas funções são: detecção da rede *ZigBee*, associação a um canal, verificação da qualidade dos sinais enviados aos dispositivos e validação da utilização ou não do canal no momento em que um elemento da rede deseja enviar dados.

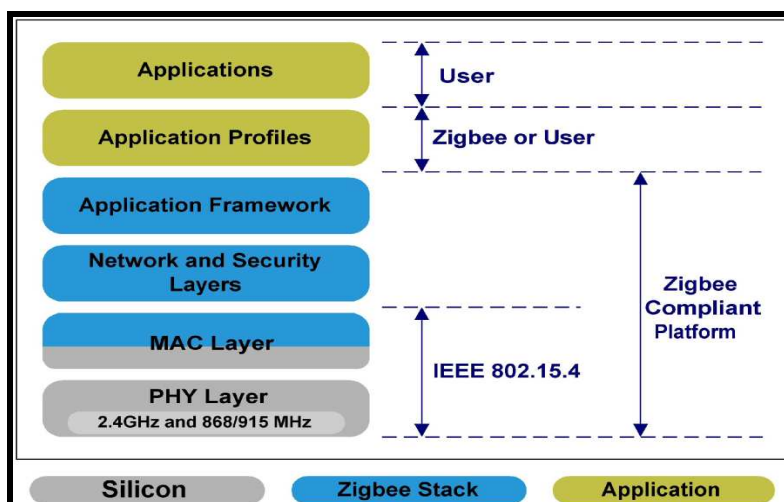


Figura 5 - Camada de aplicação protocolo IEEE 802.15.04
Fonte: LE (2005)

2.2.1.2 Camada MAC

No *ZigBee*, a camada MAC possui responsabilidades primordiais por ser o alicerce das demais camadas e porque grande parte da lógica arquitetural da rede é criada sobre ela. Nessa camada, encontram-se definições de comunicação entre dispositivos, *frames* com estruturas complexas, possibilidades de comunicação diversas, etc. Há duas formas de comunicar os dispositivos na camada MAC, sendo elas:

- Tradicional: em que os elementos da rede trocam dados diretamente com a utilização de *frames*.
- Comunicação sincronizada (*superframe*): Esta estrutura é utilizada em outras redes, sua formação ocorre com o envio de dois *frames* chamados de *beacons*, o intervalo de tempo entre eles é dividido em duas fases, em uma delas efetivamente há tráfego de dados entre os nós da rede (ativa) e na outra esses nós hibernam (inativa), ou seja, desligam.

2.2.1.3 Camada de Rede (NWK)

Esta camada foi projetada para possibilitar a expansão da rede dispensando a inserção de equipamentos de transmissão de elevadas potências. Ela pode operar com grandes quantidades de nós de rede e latências relativamente baixas. A camada de rede é responsável pela segurança dos dados e também pela manutenção e descoberta de rotas entre os dispositivos envolvidos.

2.2.1.4 Camada Aplicação

Esta camada é composta por três objetos principais: suporte à aplicação, *ZigBee device object*, e as funções da empresa desenvolvedora.

No suporte à aplicação entram os serviços: *Discovery*, que descobre outros pontos ativos na área de alcance do dispositivo, e *Binding*, que une dois ou mais dispositivos através das suas necessidades e serviços. Em *ZigBee device object* é definida a função do dispositivo na rede (coordenador, roteador ou dispositivo final).

2.2.2 Características dos dispositivos

As características citadas anteriormente descrevem fisicamente a rede, mas o *ZigBee* também diverge no aspecto lógico: tecnologias mais consagradas do mercado (*Wi-fi*, *Bluetooth*, etc.) não possuem os recursos disponibilizados por ele. Cada dispositivo de comunicação RF (Rádio Frequência) que utiliza a tecnologia *ZigBee* pode ser de dois tipos: *Full Function Device* (FFD) e *Reduced Function Device* (RFD). Saleiro (2013) detalha a seguir os dispositivos *ZigBee* e suas respectivas características.

- *Full Function Device* (Dispositivos de funções completas): São dispositivos mais complexos e precisam de um *hardware* mais potente para a implantação da pilha de protocolos, conseqüentemente, consomem mais energia. Numa topologia de rede *ZigBee*, eles podem assumir o papel de Coordenador, Roteador ou mesmo de um dispositivo final (*End Device*). Dispositivos FFDs podem se comunicar com quaisquer membros da rede. São implementados em microcontroladores com no mínimo 32KB de memória de programa e tem certa quantidade de memória RAM (*Random Access Memory*), para implementações de tabelas de rotas e configurações de parâmetros.

- *Reduced Function Device* (Dispositivos de funções reduzidas): São dispositivos mais simples, em que sua pilha de protocolo pode ser implementada usando os mínimos recursos possíveis de *hardware*, como por exemplo, em microcontroladores de 8 bits com memória de programa próxima a 6KB, mas só podem se comunicar com dispositivos FFDs (Coordenador ou Roteador). Numa topologia de rede *ZigBee* eles assumem o papel de *End Device* (dispositivo final). Na prática podem ser: interruptores de iluminação, *dimmers*, controle de relês, sensores, entre outros.

A rede *ZigBee* possui três tipos de nós: Coordenador, roteador e dispositivo final. A seguir são descritas as características dos nós da rede *ZigBee*:

- Coordenador: Só pode ser implementado através de um dispositivo FFD. O coordenador é responsável pela inicialização, distribuição de endereços,

manutenção da rede, reconhecimento de todos os nós, entre outras funções, podendo servir como ponte entre várias outras redes *ZigBee*.

- *Roteador*: Só pode ser implementado através de um dispositivo FFD. Tem as características de um nó normal na rede, mas com poderes extras de também exercer a função de roteador intermediário entre nós, sem precisar do Coordenador. Por intermédio de um roteador, uma rede *ZigBee* pode ser expandida e, assim, ter mais alcance. Na prática um roteador pode ser usado para amplificar o sinal da rede entre andares de um prédio.

- *Dispositivo final*: É onde os atuadores ou sensores serão hospedados. Pode ser implementado através de um dos dispositivos FFD ou RFD. Assim ele é o nó que consome menos energia, pois na maioria das vezes ele fica dormindo (*sleep*).

2.2.3 Topologia de Rede

Quanto à topologia, as aplicações que utilizam como base o IEEE 802.15.4 podem suportar as seguintes topologias: estrela, árvore e malha (Figura 6).

- *Malha (Ponto-a-Ponto)*: Na topologia de malha a rede pode se ajustar automaticamente, tanto na sua inicialização como na entrada ou saída de dispositivos na rede. A rede se auto-organiza para otimizar o tráfego de dados. Com vários caminhos possíveis para a comunicação entre os nós, este tipo de rede pode abranger, em extensão, uma longa área geográfica, podendo ser implementado numa fábrica com vários galpões distantes, controle de irrigação ou mesmo num prédio com vários andares.

- *Árvore*: Semelhante à topologia de malha, uma rede em árvore tem uma hierarquia muito maior e o coordenador assume o papel de nó mestre para a troca de informação entre os nós *Router* e *End Device*.

- *Estrela*: É uma das topologias de Rede *ZigBee* mais simples de serem implantadas; é composta de um nó Coordenador, e quantos nós *End Device* forem precisos. Este tipo de rede deve ser concebido em locais com poucos obstáculos à transmissão e recepção dos sinais como, por exemplo, em uma sala sem muitas paredes ou locais abertos.

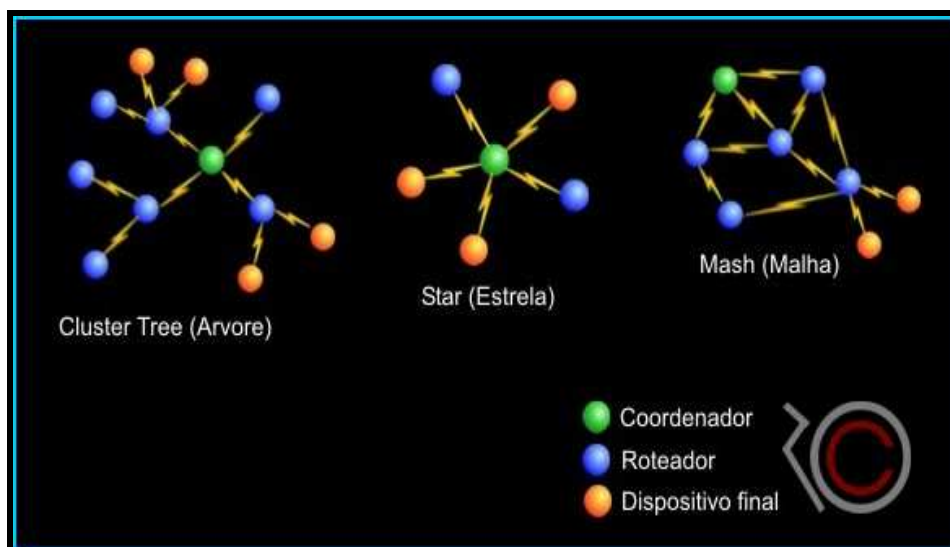


Figura 6 - Topologia de rede *ZigBee*
 Fonte: MESSIAS (2005)

2.2.4 Módulo XBee

Os módulos XBee são dispositivos que contém toda a tecnologia de *hardware* e a lógica necessária para implementar uma rede *ZigBee*. De acordo com Saleiro (2013), pode-se dizer que um módulo XBee está para o *ZigBee* tal como uma placa de rede está para uma rede *Ethernet*.

Podemos encontrar versões diferenciadas de módulos *XBee*, como exemplo das versões *XBee* e *XBee-Pro* (do fabricante Maxstream), os quais se diferem sobretudo na potência de emissão e sensibilidade de recepção. Na Figura 7 são apresentadas as versões dos módulos com os respectivos tipos de antenas: Chicote (*wire*), *chip*, e conector para antena externa (RPSMA e U. FL).

Ambos os modelos dispõem de 16 canais selecionáveis via software, com suporte até 65.000 endereços por canal e criptografia 128-bit *AES* (*Advanced Encryption Standard* – Padrão Avançado de Criptografia).

Os módulos *XBee Series 2* são intercambiáveis e por isso podem ser utilizados em uma mesma rede sem-fio que recebe o nome de rede *ZNet* (LITJENS, 2009).

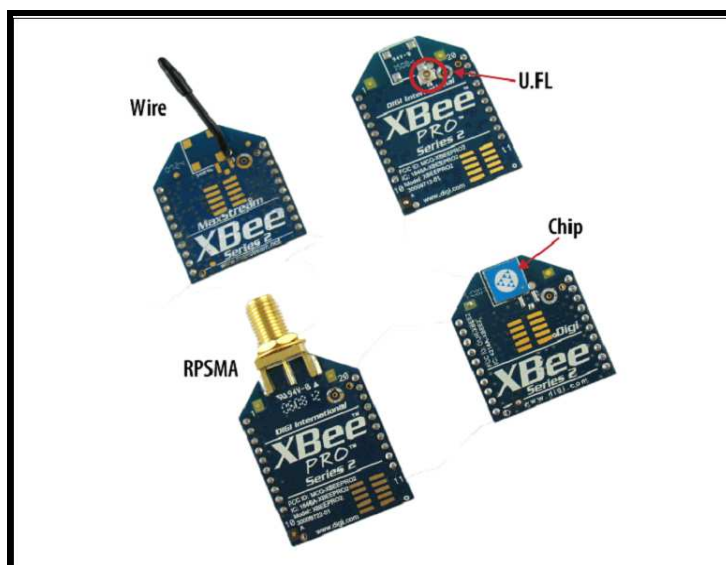


Figura 7 - Módulos Xbee Series 2
Fonte: FALUDI (2011)

A Tabela 2 apresenta as principais características técnicas dos dispositivos XBee.

Tabela 2 - Características dos dispositivos XBee Séries 2

Características	XBee 802.15.4	XBee PRO 802.15.4
Potência de transmissão	1 mW	60 mW
Sensibilidade de recepção	-92 dBm	-100 dBm
Alcance interno	Até 30 m	Até 100 m
Alcance Máximo	Até 100 m	Até 1600 m
Taxa de transmissão	250 kbps	250 kbps
Frequência de operação	2400 GHz	2400 GHz
Corrente de transmissão	45 mA	215 mA
Corrente de recepção	50 mA	55 mA
Corrente em modo <i>sleep</i>	<10 μ A	<10 μ A

Fonte: DIGI (2011).

2.3 MICROCONTROLADOR

O termo microcontrolador (MCU) é usado para descrever um sistema mínimo que inclui uma Unidade Central de Processamento (CPU), memória e circuitos de entrada e saída, tudo encapsulado num único circuito integrado (CI) (SILVEIRA, 2013).

Pode-se encontrar microcontroladores de 8, 16 e 32 bits, conforme o barramento que conecta cada circuito interno. O MCU funciona seguindo uma lista de instruções armazenadas em forma de códigos binários em uma memória de programa interna. Essas instruções são apanhadas uma a uma da memória, decodificadas por circuitos lógicos internos à CPU e então executadas. São estas mesmas instruções, por exemplo, que instruem o acionamento através de um pino do microcontrolador.

O que difere os microcontroladores dos microprocessadores (Figura 8) integrantes dos computadores pessoais é que estes últimos são formados apenas por uma CPU de 8, 16, 32 ou 64 bits, e necessitam de memória e dispositivos externos para formar o sistema inteligente de processamento e controle.

Diante desse motivo, a incorporação de microcontroladores em projetos eletrônicos tem sido largamente utilizada, visto que o mesmo agrega todos os periféricos necessários para a comunicação, aquisição de informações e armazenamento de dados.

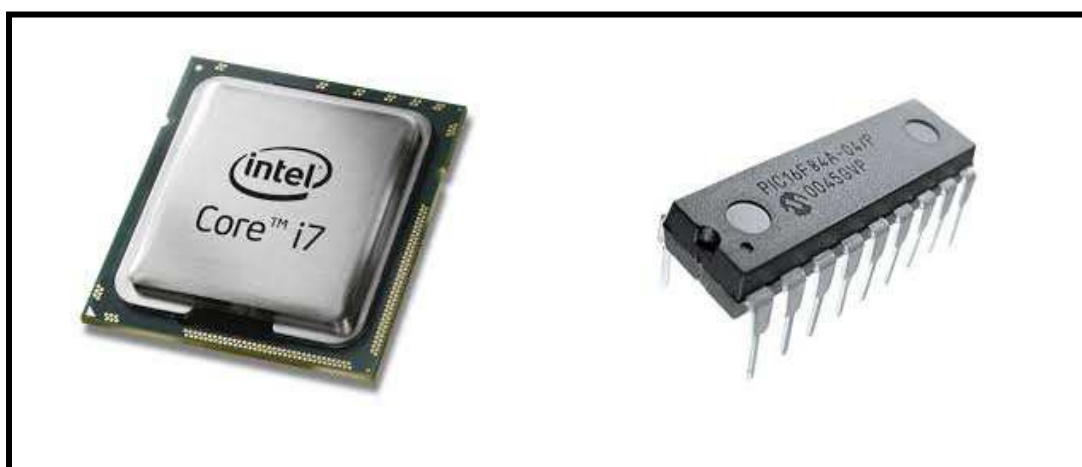


Figura 8 - Microprocessador Intel e microcontrolador Pic
Fonte: Acervo próprio

2.4 ARDUINO

O *Arduino* é uma plataforma de desenvolvimento que se baseia em microcontroladores da família ATmel, composto por duas partes principais:

- *Hardware*: um conjunto de componentes eletrônicos montados numa placa de circuito impresso, que é a plataforma para o desenvolvimento de protótipos.
- *Software: bootloader*, um pequeno programa residente numa parte da memória *flash*, chamado *bootblock*.

Diante destas características podem-se realizar diferentes tipos de projetos usando uma mesma plataforma de desenvolvimento.

O *Arduino UNO*⁴ é uma placa microcontrolada baseada no MCU ATmega328 (Figura 9). Ela dispõe de 14 pinos I/O digitais, seis entradas analógicas, um oscilador de 16 MHz (a cristal), uma conexão USB, um jaque de alimentação, um *header ICSP (In-circuit Serial Programming – Programação Serial no Circuito)*, e um botão de *reset*.

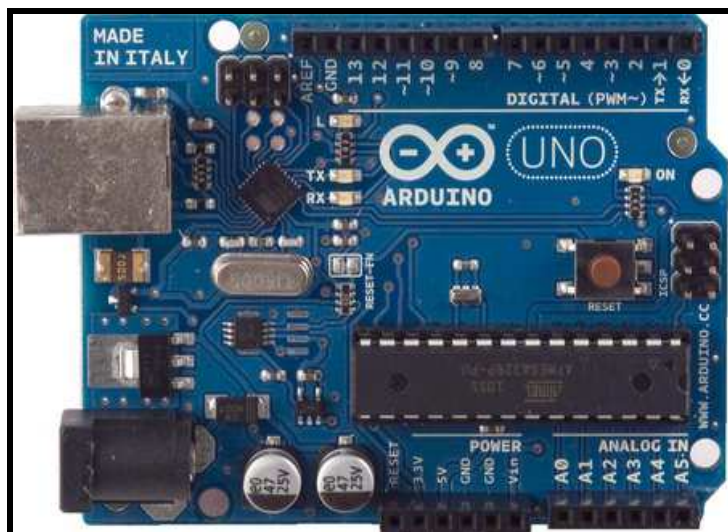


Figura 9 - Placa Arduino UNO
Fonte: ARDUINO (2013)

⁴ Disponível em www.arduino.cc, acesso em jun. 2013

2.4.1 Alimentação

O *Arduino* pode ser alimentado via cabo USB ou por fonte de alimentação externa. A tensão adequada e recomendada de alimentação pode variar entre 7 e 12 volts. Os pinos descritos abaixo fazem parte de alimentação do circuito:

- VIN: Entrada de alimentação para a placa *Arduino* quando uma fonte externa é utilizada.
- 5V: Fonte de alimentação utilizada para o microcontrolador proveniente do pino Vin através de um regulador *on-board*.
- 3V3: Tensão de 3,3 volts.
- GND: Pino terra ou massa.

2.4.2 Entradas e Saídas I/O

O *Arduino UNO* dispõem de 14 pinos digitais que podem ser utilizados como entradas ou saídas, através da programação de funções (*pinMode()*, *digitalWrite()*, e *digitalRead()*). Operam com tensão de 5 volts, e recebendo ou fornecendo um máximo de 40 mA. Alguns dos pinos ainda contam com funções específicas, a saber:

- Serial: 0 (RX) e 1 (TX), são usados para transmitir (TX) e receber (RX) dados seriais, TTL (Conectados ao *chip* serial FTDI⁵ USB-to-TTL).
- *External Interrupts*: 2 e 3, pinos configurados para serem ativados por interrupções externas (função *attachInterrupt()*).
- *PWM*: 3, 5, 6, 9, 10 e 11, fornecem saída analógica *PWM* (*Pulse-Width Modulation* – Modulação por Largura de Pulso) de 8 *bits* (função *analogWrite()*).

⁵ FTDI: chip que realiza a conversão do protocolo RS232 para USB *Universal Serial Bus*.

2.4.3 Memória

O ATmega328 especificamente do *Arduino UNO*, possui memória flash para armazenar códigos (sendo 2 KB utilizados pelo *bootloader*), além das memórias *SRAM* (*Static Random Access Memory* – Memória de Estática de Acesso Aleatório) e *EEPROM* (*Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory* – Memória Somente de Leitura Programável Apagável Eletricamente), que podem ser lidas e escritas através da biblioteca *EEPROM*. É um microcontrolador de 8 *bits*, com arquitetura *Harvard* modificada. Na Tabela 3 são descritas as características de memória do *Arduino UNO*.

Tabela 3 - Características do *Arduino UNO*

Módulo	Características
Memória flash	32 K
Memória RAM	2 K
Memória EEPROM	1 K

Fonte: ARDUINO (2013)

Na Figura 10, pode-se verificar as ligações separadas entre a CPU e as memórias Flash e SRam. O uso de vias de dados separadas para programa e dados é uma característica da arquitetura *Harvard*.

Segundo o *datasheet* do fabricante Atmel os dispositivos da família AVR são caracterizados por possuírem duas vias com largura de 8 *bits* e a memória *Flash* podendo ser usada para armazenar dados constantes. Esta particularidade o classifica como sendo de arquitetura *Harvard* modificada. Entretanto, somente instruções armazenadas na memória *Flash* podem ser executadas (não é possível executar código que esteja na *SRam*).

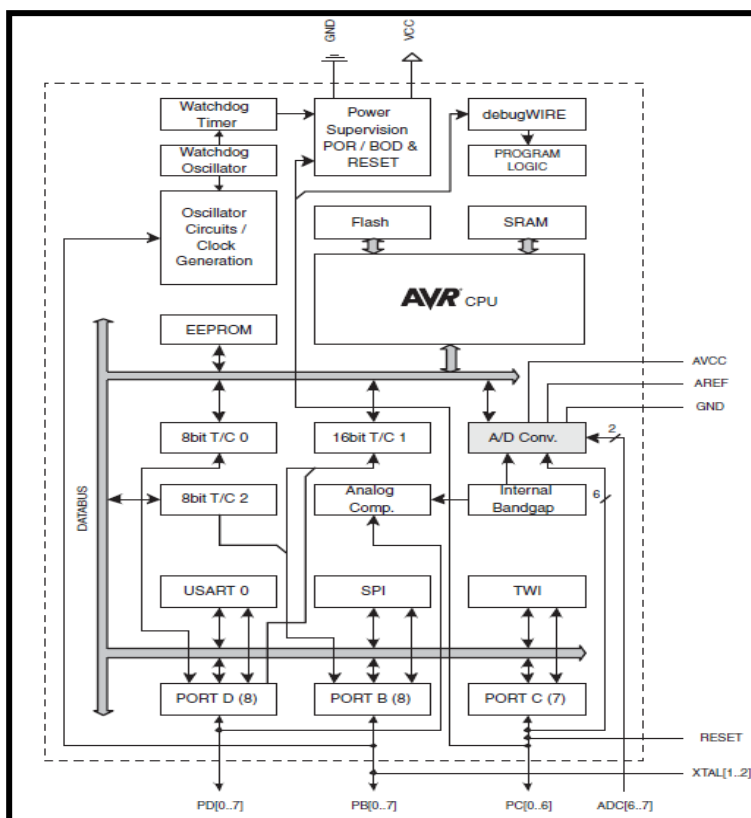


Figura 10 - Diagrama de blocos ATmega328
Fonte: ATMEL (2008)

2.4.4 Comunicação

Gaier (2011) afirma que a forma de comunicação com outros dispositivos ocorre de maneira simples. A configuração do microcontrolador ATmega328 permite comunicação série no padrão *UART* (*Universal Asynchronous Receiver / Transmitter* – Transmissão / Recepção Universal Assíncrona) *TTL* (*Transistor Transistor Logic* – Lógica Transistor Transistor). Um *chip* composto na placa (FTDI - FT232RL) encaminha a comunicação série através do USB e os *drivers* FTDI (do *software Arduino*) fornecem uma porta COM virtual⁶ para o *software* no computador.

O *software Arduino* contém um monitor serial que permite que dados simples de texto sejam enviados à placa *Arduino*, ou que dados da placa sejam visualizados no *software*. O ATmega328 também oferece comunicação com os padrões I²C

⁶ Porta COM virtual: oferecem um protocolo e um conector padrão para permitir a conexão de dispositivos.

(*Inter-Integrated Circuit* – Inter- Circuito Integrado) e SPI (*Serial Peripheral Interface* – Interface Periférica Serial). A comunicação SPI sempre tem um “mestre” (*master*), isto é, sempre um dispositivo será o “mestre” e o restante será escravo (*slave*). Para exemplo citamos como mestre o microcontrolador e os outros periféricos sendo escravos. Para essa comunicação são necessárias quatro conexões:

- MISO (Mestre *IN* escravo *OUT*) - dados do escravo para o mestre;
- MOSI (Mestre *OUT* escravo *IN*) - dados do mestre para o escravo;
- SCK (*Serial Clock*) - *clock* de sincronização para transmissão de dados entre o mestre e o escravo;
- SS (*Slave Select*) - seleciona qual escravo receberá os dados;

Alguns periféricos, por exemplo, cartão SD (*Secure Digital*), memória *flash* e alguns sensores, serão apenas escravos. Geralmente estes periféricos contêm a mesma pinagem descrita no parágrafo anterior ou mesmo contendo a pinagem descrita a seguir:

- SDI (*Slave Data IN*) - Pino de dados de entrada;
- SDO - (*Slave Data OUT*) - Pino de dados de saída;
- CS - Seleção de *Chip*;
- SCK - *Clock* de sincronização.

Todas as configurações de SPI no *Arduino* são determinadas pelo registrador *SPCR* (*Serial Port Console Redirection*). Este registrador é apenas um *byte* dentro do microcontrolador, que pode ser lido e gravado, tendo a finalidade de controle.

2.4.5 Programação

Para programar o *Arduino* utiliza-se o *IDE* (Ambiente de Desenvolvimento Integrado) *Arduino* (Figura 11), um *software* livre escrito em *Java* e baseado em

*Processing*⁷ e *Wiring*, sendo este uma biblioteca que possui capacidade de programar em C/C++. (ARDUINO, 2013).

The image shows a screenshot of the Arduino IDE window titled "Arduino - 0010 Alpha". The window has a menu bar with "File", "Edit", "Sketch", "Tools", and "Help". Below the menu bar is a toolbar with icons for running, uploading, and other functions. The main text area contains the code for a "Blink" sketch. The code includes a comment block explaining the sketch, followed by the definition of the LED pin, the setup function to initialize the pin as an output, and the loop function that turns the LED on and off with 1000ms delays. At the bottom of the window, a status bar indicates "Done compiling." and "Binary sketch size: 1112 bytes (of a 14336 byte maximum)".

```
Arduino - 0010 Alpha
File Edit Sketch Tools Help

Blink $

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

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

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

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

Done compiling.

Binary sketch size: 1112 bytes (of a 14336 byte maximum)

11
```

Figura 11 - IDE de programação *Arduino*
Fonte: ARDUINO (2013)

O *hardware* e *software* do *Arduino* são ambos de fonte aberta, o que significa que o código, os esquemas, o projeto, podem ser utilizados livremente por qualquer pessoa e por qualquer propósito. O ATmega328 vem pré-gravado com *bootloader* que permite gravar novos programas sem o uso de um programador de *hardware* externo. Ele se comunica utilizando o protocolo original STK500. Também pode ser programado através do ICSP *header* (GAIER, 2011).

A estrutura básica da linguagem de programação do *Arduino* é formada por dois blocos de funções que carregam outros blocos de funções escritas em

⁷ Processing: é uma ferramenta de desenvolvimento com linguagem de programação de código aberto para escrita de programas em outros computadores.

linguagem C/C++. O primeiro bloco de funções forma a função *setup*, e o segundo a função *loop*.

A função *setup* é responsável pela configuração e comportamento dos pinos e da porta serial. É executada uma única vez pelo programa.

Já a função *loop* é somente iniciada após a função *setup*, e é responsável pela leitura das variáveis do processo. É executada na forma de repetição contínua (*loop* sem fim).

Na programação do *Arduino* é possível utilizar os inúmeros recursos de lógica de programação contidos na linguagem C.

2.5 SENSOR DE VAZÃO

Segundo Martins (2008) “os sensores realizam a interface entre o sistema físico e o sistema de controle eletrônico, levando informações do processo para o controlador. Os sensores são dispositivos projetados para detectarem algum evento no processo e emitirem um sinal de resposta a este evento.”

O sensor de efeito *hall* recebe este nome por ser baseado no efeito *Hall* descoberto em 1879 por Edwin Hall. Este efeito é o resultado da força de Lorentz no movimento de elétrons sujeitos a um campo magnético (CASSIOLATO, 2003). Quando se tem um fluxo de corrente em um material que não está exposto a um campo magnético, as linhas equipotenciais que cruzam perpendicularmente o fluxo são linhas retas. A força de Lorentz no movimento de elétrons no material é dada pela Equação (1):

$$F = q \times (v \times B) \quad (1)$$

Onde:

q: carga de elétron

B: campo magnético

O produto externo indica que a força tem uma direção mutuamente perpendicular ao fluxo de corrente e ao campo magnético.

Para explicar o efeito *Hall* consideremos o cristal da Figura 12, o qual está submetido a uma tensão V_x e um campo magnético H na direção z . Quando aplicamos a tensão V_x entre os pontos 1 e 2, fluirá uma corrente I através do cristal na direção x , aparecendo uma tensão induzida entre os pontos 3 e 4, devido ao efeito do campo magnético que polariza os portadores de carga. Esta tensão é denominada de tensão de *Hall* (V_y).

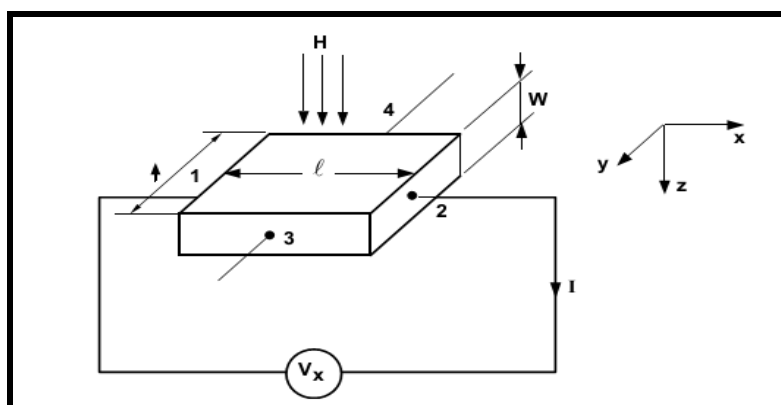


Figura 12 - Esquema de efeito *Hall*
Fonte: USP (2012)

Quando se tem um fluxo de corrente em um material sujeito a um campo magnético perpendicular, o ângulo através do qual o fluxo de corrente é mudado no campo magnético é conhecido como ângulo *Hall* e é um parâmetro dependente do material, sendo determinado pela mobilidade de elétron m que também determina o coeficiente de *Hall* (RH).

2.6 APLICATIVO PLX-DAQ

O PLX-DAQ é um aplicativo criado no ano de 2007 pela Parallax⁸, baseado na linguagem de programação *VBA* (*Visual Basic Applications*) operando no ambiente do *software* Excel (Microsoft Corporation). O funcionamento do aplicativo ocorre

⁸ Disponível em: <http://www.parallax.com/>, acesso em jul. 2013

quando um macro estruturado em VBA analisa os dados oriundos da porta COM virtual e envia-os para o Excel a fim de realizar as ações funcionais do *software*.

O PLX-DAQ realiza a análise da sequência de dados obtidos do MCU e executa as ações de inserção de valores na planilha do Excel. Para que exista a compreensão por parte do aplicativo sobre as informações oriundas do microcontrolador, necessita-se criar diretivas⁹ no programa de execução do MCU. A formatação destas diretivas deve estar de acordo com as instruções a seguir.

- Todas as diretivas devem ser escritas em letra maiúscula;
- Inicia-se a linha de programação com uma diretiva para que a *string* possa ser escrita no *software*.
- Coloca-se vírgula entre as diretivas para que sejam escritas em colunas diferentes;
- Insere-se um CR (retorno de carro) no final de programação de *loop* do microcontrolador;

Na Tabela 4 são apresentadas algumas diretivas utilizadas pelo PLX-DAQ e as suas respectivas funções.

Tabela 4 - Descrição de diretivas do Aplicativo PLX-DAQ

Diretiva	Função
DATA	Informa a data do registro
LABEL	Rótulo da colunas inseridas na planilha
MSG	Insere uma mensagem no PLX-DAQ
CLEARDATA	Limpa a coluna de datas

Fonte: PLX-DAQ (2013)

O aplicativo permite ainda, as funcionalidades do *software* Excel como a visualização gráfica dos valores em tempo real. As taxas de transmissão suportadas vão de 300 a 128.000 *Bauds*.

⁹ Diretivas: são comandos que não são compilados, sendo dirigidos ao pré-processador, onde é executado pelo compilador antes do processo de compilação propriamente dito.

3 DESENVOLVIMENTO

Conforme abordado anteriormente, este trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema automatizado de leitura de hidrômetros, visando diminuir os custos de leitura e aumentando a eficiência nas micromedições das empresas concessionárias do setor de saneamento.

Para a obtenção desta meta, foram estudadas tecnologias sobre a descrição e o funcionamento de hidrômetros, microcontroladores, sensores, comunicadores via rádio e sistemas de armazenamento de dados. Neste capítulo serão descritas as ferramentas escolhidas para a execução do projeto e a proposta de implementação do trabalho.

3.1 FERRAMENTAS UTILIZADAS

A partir do estudo efetuado sobre as tecnologias existentes, foram definidas as ferramentas para o desenvolvimento do trabalho. A fim de executar o processo de medição de consumo de água utilizou-se a plataforma *Arduino*, especificamente a placa do *Arduino* UNO, e a sua interface de desenvolvimento de *software* livre para realizar a programação, compilação e gravação do programa no microcontrolador.

Para a comunicação entre o hidrômetro digital e o CPU (onde ficará armazenado o banco de dados), fez-se uso do protocolo *ZigBee* IEEE 802.15.4, através dos módulos via rádio *XBee 1mW séries 2* da Digi. A composição do sistema de banco de dados foi formada com a utilização do aplicativo *PLX-DAQ* baseado em *visual basic* juntamente com *software* Excel da Microsoft.

3.2 HIDRÔMETRO DIGITAL

Em substituição ao hidrômetro mecânico (usualmente utilizado nas residências), o projeto propõe o desenvolvimento e a implantação de um hidrômetro

digital. Denomina-se de hidrômetro digital o conjunto de dispositivos que fazem a medição e armazenamento dos valores de água que trafegam no interior de uma tubulação.

O funcionamento do hidrômetro pode ser identificado em duas etapas, sendo a primeira a detecção de passagem do fluido e a segunda o sistema de leitura do sensor e execução do programa.

3.2.1 Detecção de passagem de fluido

A tarefa de detecção de passagem do fluido é realizada pelo sensor de vazão de efeito *hall*, sendo este componente uma peça de fundamental importância na fabricação do protótipo (Figura 13). As características do sensor escolhido são as seguintes:

- Faixa de operação de 1 a 30 litros por minuto;
- Tensão de alimentação 3 a 18 volts;
- Consumo $\leq 10\text{mA}$;
- Tensão de pulso na faixa superior 4,5V;
- Tensão de pulso na faixa inferior 0,5V;
- Conexão de meia polegada com rosca;



Figura 13 - Sensor de vazão
Fonte: SHENG (2013)

Como quase todos os dispositivos de efeito *hall*, o sensor de vazão de água produz uma série de pulsos a uma taxa que varia proporcionalmente com o

parâmetro a ser medido. O funcionamento do sensor ocorre através do movimento das pás da sua turbina gerado pelo fluxo de água, criando assim um campo magnético que emite pulsos elétricos na sua saída. Estes pulsos segundo o *datasheet* do fabricante (SHENG, 2013) são da proporção de 4,5 pulsos por segundo por litro de fluxo por minuto. Ou seja, se em um minuto passarem dois litros de água, tem-se nove pulsos por segundo. Ao ser retirado do estado de repouso o sensor de efeito *hall*, o mesmo gera um pulso elétrico de 5 volts. A porta 4 do microcontrolador é responsável por verificar a variação de tensão na sua entrada.

3.2.2 Sistema de leitura e execução do programa

O responsável pelo sistema inteligente de processamento, leitura e execução do programa é o microcontrolador Atmega328-PU, sendo este dependente de outros componentes eletrônicos, e que, unidos e configurados, efetuam o trabalho desejado. O fluxo das etapas a serem configuradas no microcontrolador é detalhado na Figura 14.

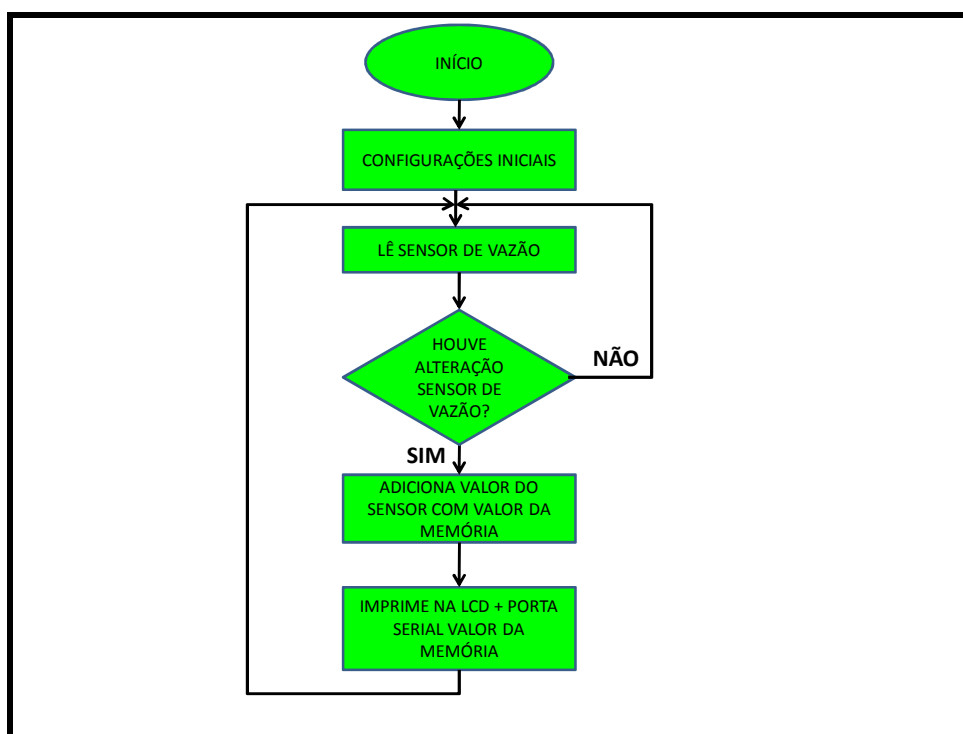


Figura 14 - Fluxograma das etapas de programação do microcontrolador
Fonte: Autoria própria

3.2.2.1 Configuração do Microcontrolador

O MCU deve ser configurado de maneira que suas portas realizem as comunicações e operações necessárias para se conseguir a efetiva atuação do hidrômetro digital. No Quadro 1 são descritas as conexões e funções das portas utilizadas no microcontrolador.

Pino ATmega328	Descrição	Dispositivo Conectado	Função
1	RESET	RESISTOR 10K	Desabilita auto <i>reset</i>
2	D0 (RX)	XBEE (RX) PINO 2	Receber sinais de comunicação
3	D1 (TX)	XBEE (TX) PINO 3	Enviar sinais de comunicação
4	D2	SENSOR	Porta de leitura do sensor de vazão (<i>INPUT</i>)
5	D3	**	Não utilizado
6	D4	LCD (DB7)	Configurado através da biblioteca <i>LiquidCrystal</i>
7	+	5V	Pino de alimentação do MCU
8	-	GND	Pino de alimentação comum
9	CLOCK	Cristal 16 MHz	<i>Clock</i> externo 16 MHz
10	CLOCK	Cristal 16 MHz	<i>Clock</i> externo 16 MHz
11	D5	LCD (DB6)	Configurado através da biblioteca <i>LiquidCrystal</i>
12	D6	LCD (DB5)	Configurado através da biblioteca <i>LiquidCrystal</i>
13	D7	LCD (DB4)	Configurado através da biblioteca <i>LiquidCrystal</i>
14	D8	LCD (E)	Configurado através da biblioteca <i>LiquidCrystal</i>
15	D9	LCD (RS)	Configurado através da biblioteca <i>LiquidCrystal</i>

Quadro 1 - Conexões utilizadas no microcontrolador
Fonte: Autoria própria

Para a conexão do sensor de efeito *hall* é necessário especificar parâmetros de configuração no setup de programação do Arduino, sendo eles:

- *byte sensorInterrupt* = 0: O *Arduino* UNO possui duas portas que detectam interrupção por hardware (pinos 2 e 3 correspondentes aos pinos 4 e 5 do microcontrolador).

- *byte sensorPin = 2*: Pino em que será conectado o sensor (o pino 2 do Arduino corresponde ao pino 4 do microcontrolador)
- *float calibrationFactor = 4,5* (pulsos por litro): Instrução que armazena números com casas decimais, sendo o fator de calibração do sensor.

A fim de realizar as etapas lógicas e matemáticas torna-se necessário o emprego de variáveis dentro do programa, sendo elas:

- *volatile byte pulseCount*: variável que é incrementada por uma interrupção cada vez que um pulso é detectado no pino de entrada;
- *float FlowRate*: variável utilizada para vazão lida com números de ponto flutuante (decimal);
- *unsigned int flowMilliLitres*: variável que armazena valores inteiros positivos até 65.535, utilizada para medir o fluxo de mililitros por segundo;
- *unsigned long totalMilliLitres*: variável que armazena valores inteiros positivos até 4,2 bilhões, o qual representa o acumulador de consumo;
- *unsigned long oldTime*: variável global que armazena o número de milissegundos desde a execução do programa e o atualiza cada vez que o laço principal é executado.

Para haver a escrita dos valores no LCD e na porta serial (conexão com XBee) devem ser inseridas, respectivamente, as instruções *Lcd.print* e *Serial.print*. A conexão serial deve ser configurada com a instrução:

- *Serial.begin (9600)*: valor que determina a taxa de transferência de dados.

Outra configuração específica é a criação de instruções no *setup* do programa, as quais determinarão as colunas do banco de dados. Estas são mostradas no Quadro 2.

Coluna	Descrição	Instrução que alimenta a coluna
<i>LABEL</i>	Define os rótulos do processo	Não alimentado (diretiva de configuração)
<i>DATA</i>	Informa a data da ocorrência	<i>DATE</i>
<i>HORA</i>	Informa a hora da ocorrência	<i>TIME</i>

Coluna	Descrição	Instrução que alimenta a coluna
FLUXO (L/min)	Informa o fluxo momentâneo	<i>FlowRate</i>
CONSUMO (Lts)	Informa o consumo total	<i>totalMilliLitres</i>

Quadro 2 - Instrução de configuração no MCU das colunas do banco de dados.
Fonte: Autoria própria

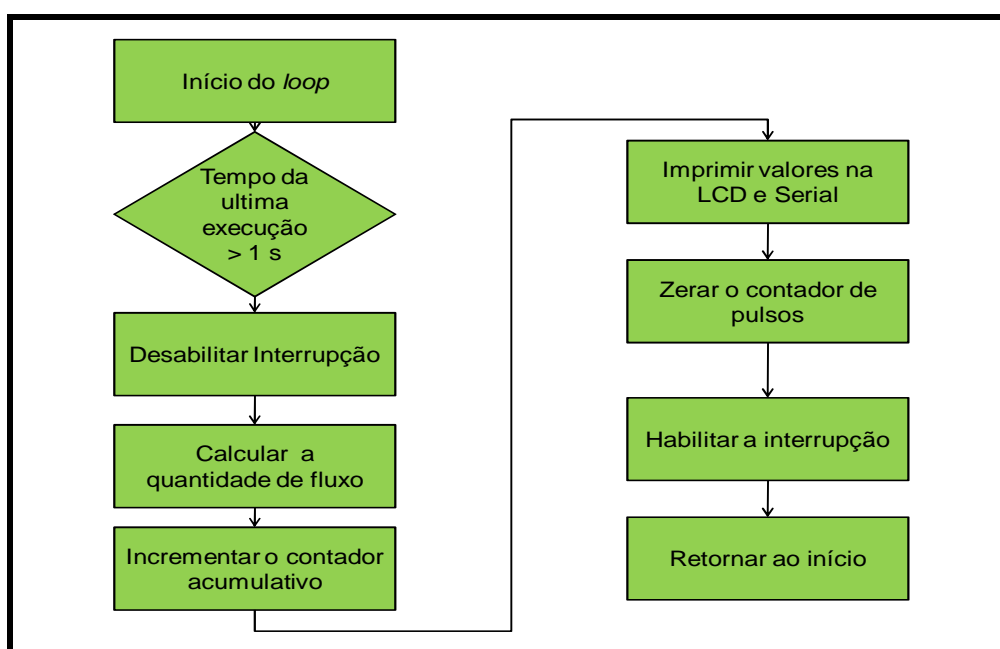


Figura 15 - Fluxograma de programação da função loop
Fonte: Autoria própria

3.2.2.2 Circuito de Alimentação

Conforme abordado no capítulo anterior, os microcontroladores ATmega trabalham com tensão operacional de 5 volts. Assim sendo, para que se possa utilizar uma fonte de alimentação superior aos 5 volts é necessário a implementação de um circuito regulador de tensão, composto por um CI LM7805 e dois capacitores cerâmicos de 100nF. Outro circuito de alimentação necessário na placa é o que gera tensão de 3,3V, utilizado para alimentar o módulo de comunicação XBee. Este é formado por um circuito integrado (CI) LM1117 e demais capacitores. Pode-se visualizar na Figura 16 o circuito regulador de tensão utilizado no protótipo.

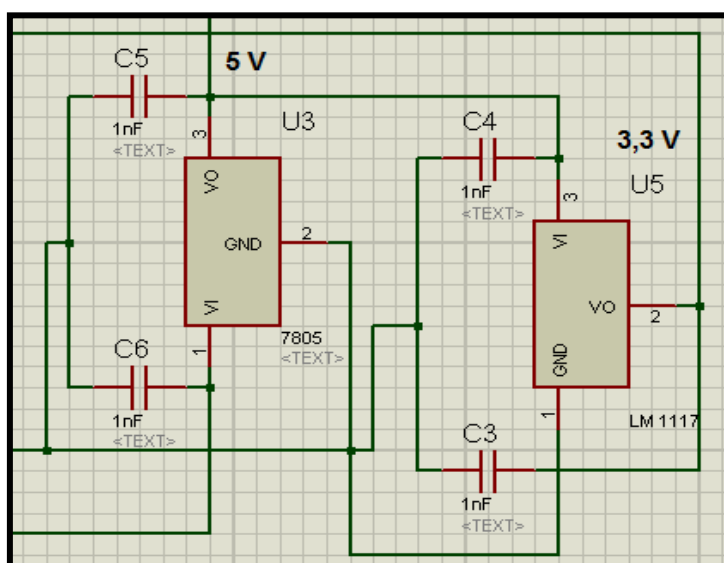


Figura 16 - Regulador de tensão 5V e 3,3 V
Fonte: Autoria própria

3.2.2.3 Circuito de *Clock*

Segundo Zurita (2012) “o *clock* determina o ritmo de funcionamento de toda a lógica interna e a cadência de execução das instruções do programa do microcontrolador”. A implementação deste circuito se faz com a inserção de um cristal oscilador de 16 MHz (o mesmo utilizado pela placa do *Arduino UNO*) e dois capacitores cerâmicos de 18pF, ligados aos pinos 9 e 10 do microcontrolador. Na Figura 17 é apresentada a configuração do circuito de *clock*.

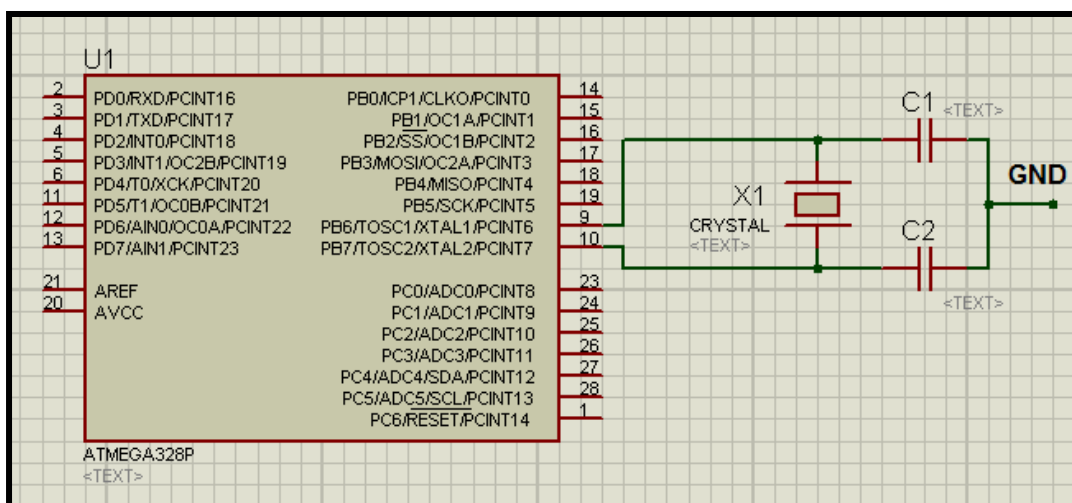


Figura 17 - Circuito de *clock* do microcontrolador
Fonte: Autoria própria

3.2.2.4 LCD

Para realizar a interface homem-máquina (IHM) do protótipo, emprega-se um *display* de cristal líquido (*LCD*) de 16 colunas por 2 linhas (16x2). Este é configurado com a finalidade apresentar os valores de vazão momentânea, e a totalização consumida pelo cliente. Na Figura 18 são apresentadas as conexões de ligação do *LCD* ao microcontrolador ATmega.

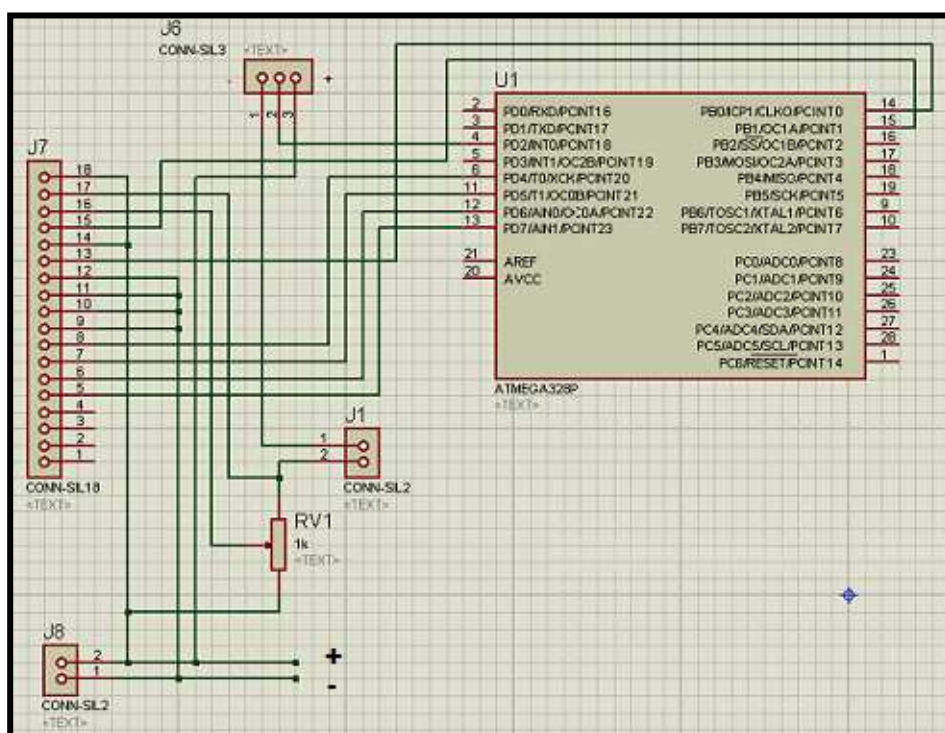


Figura 18 - LCD 16X2
Fonte: Autoria própria

3.2.2.5 Protótipo

Tendo todos os circuitos necessários para o desenvolvimento do protótipo, fez-se uso do *software* ARES, onde se trabalhou com os componentes a fim de confeccionar a placa de prototipação mostrada na Figura 19-A. Depois de realizada as conexões dos componentes na placa de circuito impresso universal, obteve-se o protótipo do hidrômetro digital apresentado na Figura 19-B.

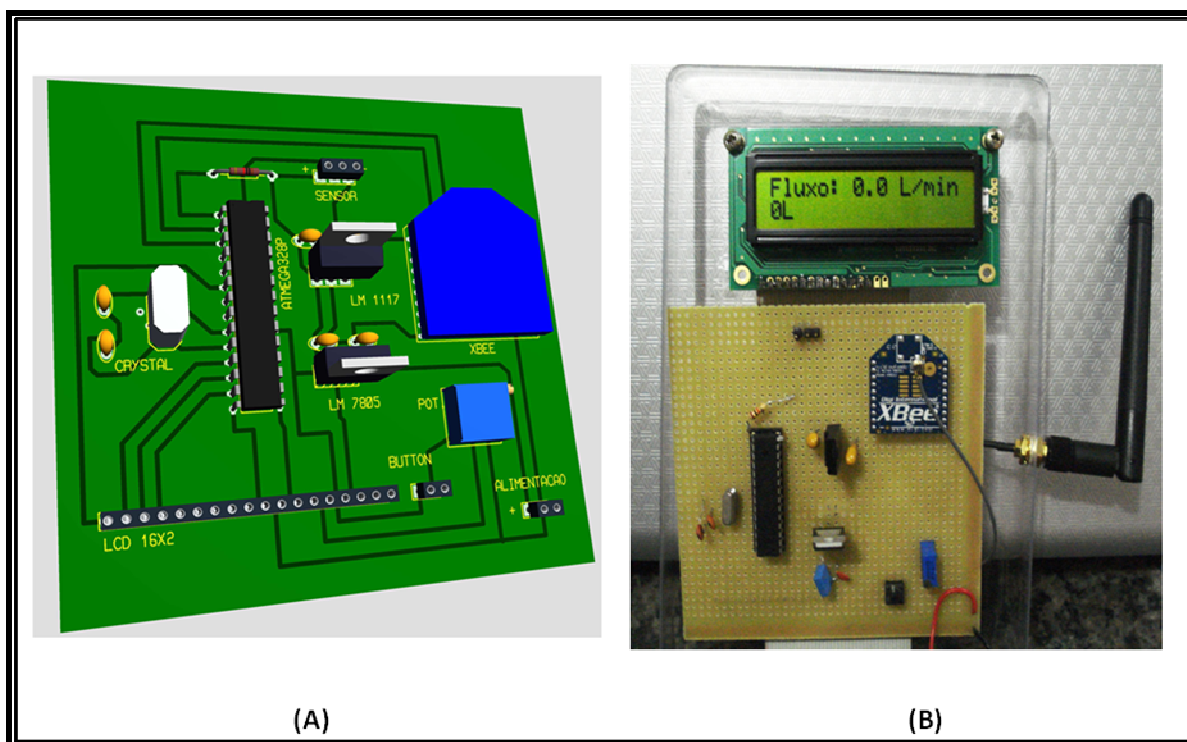


Figura 19 - Protótipo do hidrômetro digital
Fonte: Autoria própria

3.3 COMUNICAÇÃO REMOTA

A fim de agregar vantagens ao processo de leitura de hidrômetros, utilizou-se os módulos de comunicação via rádio XBee. Estes módulos, anteriormente discutidos, operam com o protocolo de comunicação IEEE 802.15.4, que é o protocolo base sobre o qual foi desenvolvido o *ZigBee*. Na Figura 20 é apresentada a arquitetura de simulação do projeto.

3.3.1 Configuração dos Rádios

A transmissão remota de dados do dispositivo *end-device* (hidrômetro digital) até o coordenador de rede é possibilitada através da configuração distinta dos

módulos de rádio XBee. Para efetuar as devidas configurações foi empregado o software X-CTU disponibilizado pela Digi^{®10} (Figura 21).

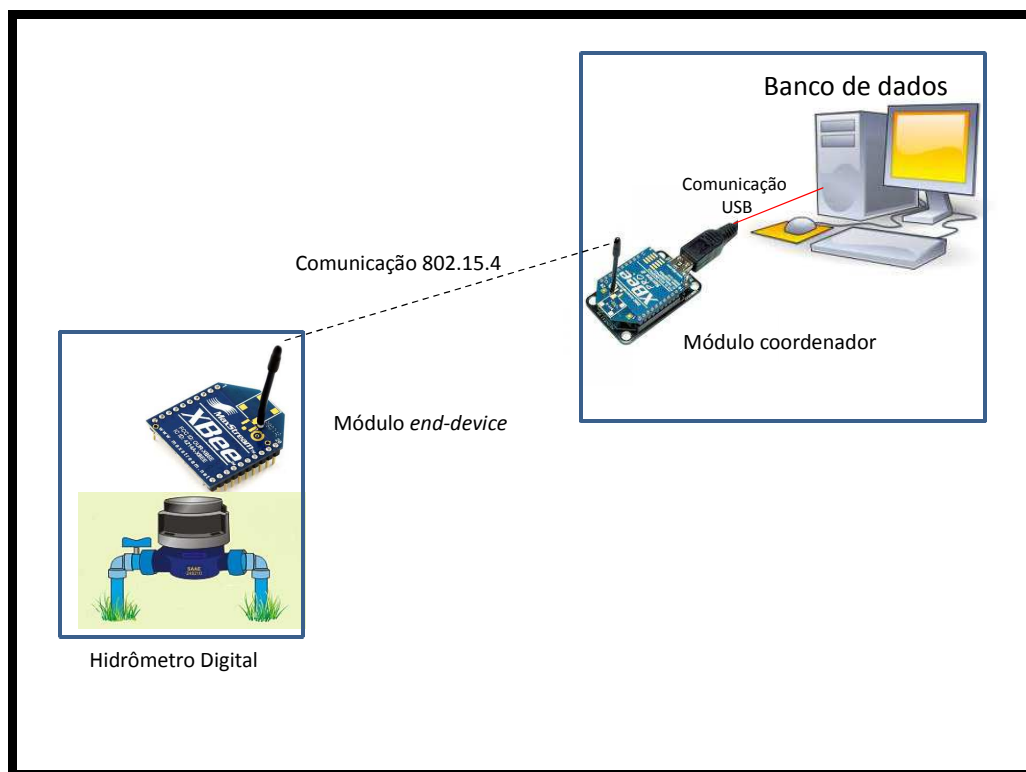


Figura 20 - Arquitetura de simulação do projeto
Fonte: Autoria própria

O módulo XBee, para ser configurado, necessita ainda de um dispositivo que realize a interação com o PC. Para esta ação emprega-se a placa *XBee Explorer* (Figura 22). A finalidade desta é realizar a conversão da interface Serial com a *USB (Universal Serial Bus)*, onde, no projeto em questão, atua como base de conexão para o módulo Coordenador. A placa utiliza um circuito integrado conversor Serial/*USB* que, através de um *driver* instalado juntamente com o *X-CTU*, simula uma porta serial no computador (COM), a qual transmite os dados enviados serialmente à saída *USB*.

¹⁰ Disponível em: <http://www.digi.com/>, acesso em jul. 2013

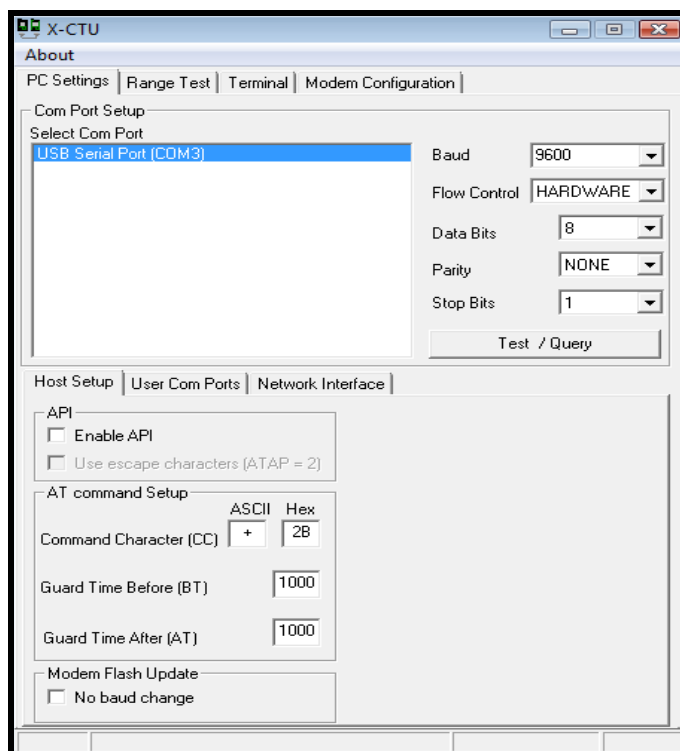


Figura 21 - Software X-CTU
Fonte: Autoria própria

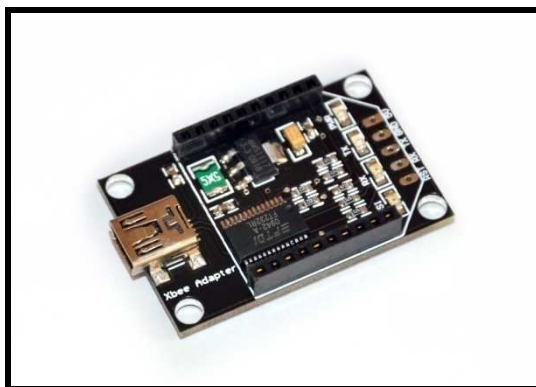


Figura 22 - Módulo Xbee Explorer
Fonte: Acervo do autor

3.3.1.1 Configuração do módulo Coordenador

O dispositivo Coordenador é o indivíduo central do sistema de comunicação, sendo responsável por criar o nó e gerenciar a rede *ZigBee*. No projeto proposto é utilizado apenas um dispositivo Coordenador, o qual tem como finalidade armazenar as informações de segurança e endereço do dispositivo *end-device*. Outra função de

suma importância do módulo é fazer o *link* de comunicação com o PC. Os comandos utilizados para a parametrização deste módulo são listados na Tabela 5.

Tabela 5 - Comandos de parametrização módulo XBee Coordenador

Comando	Valor	Descrição
Baud	9600	Taxa de transmissão
Data Bits	8	Bits de dados
Parity	NONE	Sem bits de paridade
Stop Bits	1	Bit de parada
Function Set	ZNET 2.5 Coordinator AT	Função do módulo
Modem: XBEE	XB-24-B	Modelo do módulo
Version	1047	Versão do módulo
PAN ID	234	Código de identificação da rede
Node Identifier	Coordenador	Identificação do dispositivo na rede

Fonte: Autoria própria

3.3.1.2 Configuração do módulo *end-device*

O módulo *end-device* tem a função de enviar valores, os quais são disponibilizados pelo hidrômetro digital através da sua saída serial, tendo como destino o módulo Coordenador da rede. Este dispositivo pode ser ainda programado no modo *sleep*, ocasionando economia no consumo de energia da pilha de alimentação. Na Tabela 6 são especificadas as configurações utilizadas na parametrização do módulo *end-device*.

Tabela 6 - Comandos de parametrização módulo XBee *end-device*

Comando	Valor	Descrição
<i>Baud</i>	9600	Taxa de transmissão
<i>Data Bits</i>	8	<i>Bits</i> de dados
<i>Parity</i>	<i>NONE</i>	Sem <i>bits</i> de paridade
<i>Stop Bits</i>	1	Bit de parada
<i>Function Set</i>	<i>ZNET 2.5 Coordinator AT</i>	Função do módulo
<i>Modem: XBEE</i>	XB-24-B	Modelo do módulo

Comando	Valor	Descrição
<i>Version</i>	1247	Versão do módulo
<i>PAN ID</i>	234	Código de identificação da rede
<i>Node Identifier</i>	FINAL	Identificação do dispositivo na rede
<i>Sleep Mode</i>	<i>PIN HIBERNATE</i>	Modo <i>Sleep</i>

Fonte: Autoria própria

3.4 BANCO DE DADOS

O conjunto ordenado de informações que se relacionam forma um banco de dados. Para tal objetivo, torna-se necessário o emprego de um *software* que realize a hospedagem dos valores obtidos nas medições do processo. Sua função é proporcionar uma base de informações para o gerenciamento do sistema, construindo uma visão objetiva e clara dos elementos envolvidos.

3.4.1 Hospedagem de Dados

O armazenamento e hospedagem dos dados contabilizados foram executados pelo aplicativo PLX-DAQ em conjunto *software* Excel (Microsoft Corporation). Esta escolha se deve ao fato do aplicativo fazer a leitura da porta COM do computador, a qual é criada com a conexão do módulo coordenador inserido no PC através da conexão *USB*.

A configuração neste aplicativo é bem simplificada, bastando apenas informar a porta COM em que o dispositivo se encontra (no caso do projeto proposto, *Port: COM = 4*), e a taxa de transmissão *Baud = 9600* (conforme programado no microcontrolador e no módulo XBee).

Após informar os parâmetros citados, o aplicativo passa a receber os dados oriundos da porta COM selecionada e insere os valores na planilha do Excel. Permite, assim, que seja formado o banco de dados com os *log's* registrados nas linhas e colunas.

Na Figura 23 é apresentada a tela de configuração do aplicativo PLX-DAQ, juntamente com os dados de valores obtidos do processo formando assim um banco de dados no *software* Excel.

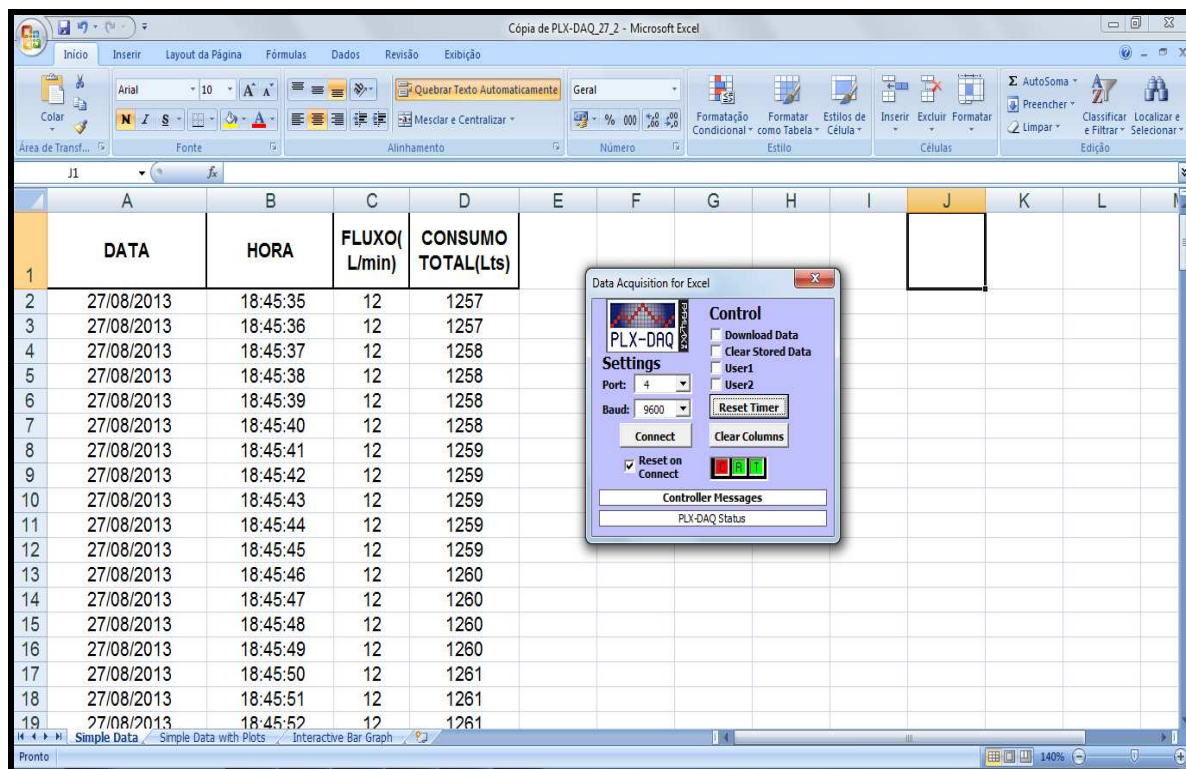


Figura 23 - Banco de dados *software* Excel
Fonte: Autoria própria

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são descritos os resultados obtidos com o protótipo do hidrômetro digital, o sistema de comunicação remota e o banco de dados.

4.1 HIDRÔMETRO DIGITAL

Conforme mencionado na introdução, o hidrômetro digital foi instalado em série com o hidrômetro analógico da concessionária (Figura 24), aproximadamente sete metros após o cavalete, havendo assim a possibilidade de comparação entre os montantes contabilizados nos dois hidrômetros. Após a ligação do hidrômetro digital, foram efetuadas as leituras em ambos os hidrômetros para as análises posteriores. Conforme apresentado no Quadro 3 verificou-se uma pequena variação na totalização dos valores representando eficiência na construção do protótipo.

Dispositivo	Valor Inicial	Valor Final	Total Medido	Percetual de Diferenças
Hidrômetro Digital	0	1893	1893	1,85%
Hidrômetro Analógico	163.015	164873	1858	

Quadro 3 - Valores registrados nos hidrômetros

Constatou-se através de medições com o multímetro que o conjunto dos dispositivos que compõem o hidrômetro digital (placa, sensor de vazão e módulo XBee) consomem uma corrente de 110mA.

Para a construção do protótipo do hidrômetro digital foram investidos R\$63,00 (sessenta e três reais) com componentes eletrônicos, sensor de vazão e R\$80,00 (oitenta reais) com o módulo de rádio XBee, tendo o valor total de R\$143,00 (cento e quarenta e três reais) investido na fabricação do mesmo. Verifica-se que o dispositivo apresenta viabilidades para a aplicação comercial, visto que equipamentos com as mesmas características custam acima de R\$750,00.

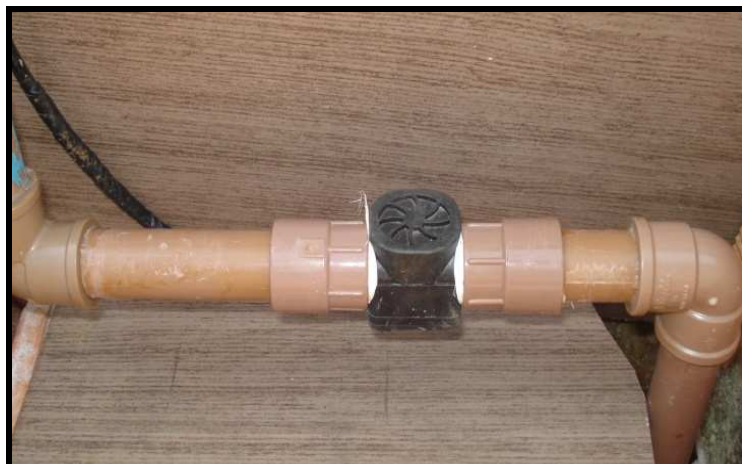


Figura 24 - Sensor de vazão instalado na tubulação de entrada da residência
Fonte: Autoria própria

4.2 COMUNICAÇÃO REMOTA

Os módulos XBee utilizados no projeto de comunicação permitiram a confiabilidade do processo. Percebeu-se a eficiência dos dispositivos na realização das suas tarefas de comunicação.

Com o módulo Coordenador conectado ao *notebook*, houve o afastamento de onde se encontrava instalado o hidrômetro digital (módulo *end-device*) para a coleta da informação. A resposta de comunicação remota entre os módulos manteve-se dentro da distância de 100 metros, confirmando, desta forma, os valores informados pelo *datasheet* do fabricante.

4.3 BANCO DE DADOS

Sendo a idéia central a obtenção dos valores consumidos em tempo real, a interface do *software* possibilitou essa visualização.

A ligação do hidrômetro digital deu-se num período de sete dias, nas suas 24 horas totalizando 11520 minutos. Apresentou um histórico de consumo de 1899 litros, sendo contabilizadas 1261 linhas no histórico do banco de dados. No Quadro 4 são mostrados os registros de contabilização dos valores em diferentes momentos

de coletas de dados. Pode-se observar que a vazão é detalhada a cada ocorrência de circulação de água na tubulação de entrada. Sendo assim, o consumidor pode ter acesso aos picos de consumo, como também consegue verificar a existência de vazamentos ou desvios no sistema hidráulico de sua residência. Em contrapartida, o sistema atual de medição não possibilita essa mesma supervisão.

DATA	HORA	FLUXO(L/min)	CONSUMO TOTAL(Lts)
24/08/2013	12:56:40	4	0
25/08/2013	08:56:41	10	398
26/08/2013	12:12:18	8	943
27/08/2013	18:45:35	12	1257
28/08/2013	21:28:11	13	1531
29/08/2013	22:06:12	6	1624
30/08/2013	23:05:22	8	1855
31/08/2013	13:38:57	6	1899

Quadro 4 - Registros de contabilização de valores no banco de dados
Fonte: Autoria própria

4.4 APLICABILIDADE

Do ponto de vista funcional, o sistema atual de leitura de hidrômetros necessita de uma remodelação que permita a confiabilidade na coleta de dados. Isto pode ser observado no sistema de abastecimento de água da cidade de Ponta Grossa, o qual apresenta índice de perda de 200 litros de água por ligações por dia, totalizando aproximadamente 6 mil litros por mês em cada economia cadastrada (SANEPAR, 2013). De acordo com Mierzwa *et al* (2008), para tratar 1m³ (metro cúbico) de água tem-se o custo de R\$0,40 (quarenta centavos). Considerando que na cidade de Ponta Grossa existem aproximadamente cento e oito mil ligações, a perda financeira mensal no sistema de abastecimento de água da cidade de Ponta Grossa ultrapassa o montante de R\$259.000,00 (duzentos e cinquenta e nove mil reais).

O emprego de um sistema de micromedição automatizada, através das suas ferramentas operacionais, permite a visualização dos pontos críticos que englobam

o universo de perdas do sistema de abastecimento de água. Portanto, com o efetivo controle das vazões que circundam as redes de abastecimento, a difícil tarefa de detecção de inconformidades torna-se um processo facilitado de gerenciamento.

A confiabilidade deste sistema também é alcançada pela ausência da interface humana no ato da leitura e, principalmente, pelas informações adicionais que agregam valiosos parâmetros ao volume registrado e lido, como vazamentos (sua existência é comprovada e o volume desperdiçado é indicado) e fraude no medidor.

A aplicação do automatismo na medição de hidrômetros proporciona ainda minimizar as dificuldades administrativas vividas pelo setor de leituras, decorrentes da alta rotatividade de colaboradores, visto que um leiturista realiza em média 300 leituras e percorre aproximadamente 12 quilômetros numa jornada de oito horas diárias, enfrentando intempéries e diversas situações de desgaste físico e emocional.

Outro ponto a se levar em conta é o fato de que, com a leitura manual, os valores de consumo por residência são apontados apenas uma vez ao mês, enquanto no processo remoto eles podem ser obtidos com maior frequência, minimizando os eventuais erros.

5 CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos torna-se possível afirmar que o sistema de telemetria na micromedição em hidrômetros pode ser considerado uma ferramenta facilitadora no controle de consumo das redes de saneamento.

Os módulos XBee mostraram-se eficientes na medida em que possibilitaram de forma pertinente que as informações fossem recebidas no destino sem perda de dados, gerando assim confiabilidade e estabilidade no fluxo do processo. Em relação ao alcance da transmissão, os módulos possuem um limite de operação, podendo esta limitação ser solucionada através da adição de dispositivos roteadores e a topologia de rede sendo configurada como árvore ou malha.

O emprego da plataforma *Arduino* proporcionou vantagens na realização do trabalho, pois, além de ser economicamente viável para estudos e pequenos projetos, possui ferramentas de programação que possibilitam a conquista dos resultados de forma prática e objetiva.

Por fim, sugere-se que as empresas responsáveis pela distribuição de água que mais cedo começarem a dominar e incorporar o uso da telemetria, mesmo que parcialmente em seus processos de medição, mais aptas estarão para corresponder às exigências ambientais e governamentais que regem o setor de saneamento.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

Algumas melhorias futuras podem ser adaptadas ao atual projeto, podendo-se citar:

- A implementação de um circuito de alimentação por energia solar, o qual propicia eficiência energética e autonomia do sistema eletrônico.
- A criação de um software que possibilite ferramentas de apoio e gestão, sendo compatível com as tecnologias empregadas no projeto.

REFERÊNCIAS

ÁGUAS DO BRASIL. **Hidrômetros**. Disponível em :<
www.grupoaguasdobrasil.com.br/aguas-aracoiaba/>. Acesso em 10 de junho de 2013.

ARDUINO. **Arduino UNO Board**. 2013. Disponível em:
<<http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>>. Acesso em 05 de Maio de 2013.

ATMEL Corporation. **Datasheet Atmel 8-bit Microcontroller with 4/8/16/32kBytes In-System Programmable Flash**. 2013.

CASSIOLATO, César. Sensor Hall – A tecnologia dos Posicionadores Inteligentes de última geração. **Revista Controle & Instrumentação**, Curitiba (PR), Edição nº 81, Junho 2003.

COELHO, Adalberto Cavalcanti e MAYNARD, João Carlos de Britto: **Medição Individualizada de Água em Apartamentos**. Recife: Editora Comunicarte, 1999.

DIGI. **Datasheet XBee Multipoint RF Modules**. 2011. Disponível em:<
www.digi.com>. Acesso em 05 de Maio de 2013.

DOCUMENTO TÉCNICO DE APOIO. **DTA A2: Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água: Indicadores de Perdas nos Sistemas de Abastecimento de Água**. Brasília, 2003.

ERGEN, Sinem C. **ZigBee/IEEE 802.15.4 Summary**. 2004. Disponível em: <
<http://staff.ustc.edu.cn/~ustcsse/papers/SR10.ZigBee.pdf>>. Acesso em 20 de Junho de 2013.

FALUDI, Robert. **Building Wireless Sensor Networks**. Gravenstein Highway North, Sebastopol: O'Reilly Media, 2011.

GAIER, Micaek. **Aprendendo a programar em Arduino**. Instituto Federal do Mato Grosso do Sul, 2011.

G1, Paraná. **Campanha faz ação para prevenir acidentes com cães em Curitiba.** 2013. Disponível em:< <http://m.g1.globo.com/pr/parana/noticia/2013/06/campanha-faz-acoes-para-prevenir-acidentes-com-caes-em-curitiba.html?hash=3>>. Acesso em 30 de Junho 2013.

JÚNIOR, Rudinei T.: *et al.* **Perdas de Água: Entraves ao Avanço do Saneamento Básico e Riscos de Agravamento à Escassez Hídrica no Brasil.** Ribeirão Preto (SP), 2013.

LE, Khanh T. **ZigBee SoCs Provide Cost-effective Solutions.** 2005. Disponível em:< http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1273396 >. Acesso em 02 de Julho 2013

LITJENS, Otto J. **Automação de Estufas Agrícolas Utilizando Sensoriamento Remoto e o Protocolo ZigBee.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado). Universidade de São Paulo, 2009.

LOPES, Alexandre P. *et al* : **Projeto de Aplicação ZigBee em Rede de Automação Industrial.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado). UNIABC, 2012.

MARTINS, Geomar M. **Princípios de Automação Industrial.** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2012.

MESSIAS, Antônio R. **Controle Remoto e Aquisição de Dados via XBee/ZigBee (IEEE 802.15.4).** 2005. Disponível em: <<http://www.rogercom.com/ZigBee/ZigBee.htm>>. Acesso em 05 de Junho de 2013.

MIERZWA, José C. *et al.* **Tratamento de água para abastecimento público por ultrafiltração: avaliação comparativa através dos custos diretos de implantação e operação com os sistemas convencional e convencional com carvão ativado.** Eng. Sanit. Ambient. [online]. 2008, vol.13, n.1, pp. 78-87. ISSN

PINHEIRO, José M. S. **As Redes com ZigBee.** 2004. Disponível em: <http://www.projeteredes.com.br/artigos/artigo_zigbee.php>. Acesso em 02 de Julho de 2013.

SABESP. **Medidores.** São Paulo. Disponível em:< <http://site.sabesp.com.br/site/fale-conosco/faq.aspx?secaoId=134&cid=14>>. Acesso em 13 de junho de 2013.

SALEIRO, Mário; EY, Emauel. **ZigBee Uma Abordagem Prática**. 2012. Disponível em: <http://lusorobotica.com/ficheiros/Introducao_ao_Zigbee_-_por_msaleiro.pdf>. Acesso em 25 de Junho de 2013.

SHENG, Eletronic. **Datasheet do Sensor de Fluxo SEN-HZ21WA (10Q)**. 2013. Disponível em: <<http://www.sensor.so/Cn/ProductShow.asp?ID=1043>>. Acesso em 12 de Junho de 2013.

SILVEIRA, João A. **Experimentos com o Arduino**. 1 ed. São Paulo: Ensino Profissional, 2011.

TSUTIYA, Milton T. **Abastecimento de Água**. 3 ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

USP. **Condutividade Elétrica e Efeito Hall em Semi Condutores em Função da Temperatura**. São Carlos, Universidade de São Paulo. Disponível em: <<http://www.ifsc.usp.br/~lavfis2/BancoApostilasImagens/ApEfHall-CondEletr/hall-1.pdf>>. Acesso em 10 de Julho de 2013.

ZURITA, Marcos. **Microcontroladores**. Teresina: Universidade Federal do Piauí. 2012.