

ALEXANDRE M. VIEIRA

**DISPOSITIVO PARA MICROMEDIÇÃO REMOTA DE
CONSUMO DE ÁGUA**

FLORIANÓPOLIS, 2014

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO *LATO SENSU*
ESPECIALIZAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO DE
PRODUTOS ELETRÔNICOS**

ALEXANDRE M. VIEIRA

**DISPOSITIVO PARA MICROMEDIÇÃO REMOTA DE
CONSUMO DE ÁGUA**

Trabalho de conclusão de curso submetido à banca examinadora do curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* Especialização em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, como requisito parcial à obtenção do certificado de Especialista em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos.

Professor Orientador: Me. Hugo Marcondes

Florianópolis, 2014

CDD 629.895
V658d

Vieira, Alexandre Marcos
Dispositivo para micromedição remota de consumo de água [MP] /
Alexandre Marcos Vieira; orientação de Hugo Marcondes. – Florianópolis,
2014.

1 v.: il.

Monografia de Pós Graduação (Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos) –
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Inclui referências.

1. Monitoramento remoto. 2. Microcontroladores. 3. Automação residencial.
4. Consumo de água. 5. Smart meter. I. Marcondes, Hugo. II. Título.

DISPOSITIVO PARA MICROMEDIÇÃO REMOTA DE CONSUMO DE ÁGUA

ALEXANDRE MARCOS VIEIRA

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do certificado de Especialista em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* Especialização em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 19 de Setembro de 2014.

Banca Examinadora:

Hugo Marcondes, Me.

Everton Luiz Ferret dos Santos, M.Eng.

Leandro Schwarz, M.Eng.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Instituto Federal de Santa Catarina pela oportunidade de cursar esta especialização, ao Professor Me. Hugo Marcondes por sua orientação. Meu agradecimento especial à minha esposa Lia Silva Vieira pelo amor e dedicação.

Por último, mas com igual importância, agradeço a todos os familiares e amigos por compreenderem minha ausência em suas vidas durante esta etapa de especialização.

“Não deixe de fazer algo que gosta devido à falta de tempo; a única falta que terá, será desse tempo que infelizmente não voltará jamais.”

Mario Quintana

RESUMO

Com o crescimento das cidades, a demanda progressiva por energia e água impõe o conhecimento dos padrões de consumo, informação básica para o planejamento integrado dos serviços. Apesar da importância de tais informações, no Brasil, o conhecimento dos usos finais de água em edificações é possibilitado, principalmente, por entrevista aos usuários, método de elevado grau de incerteza. O objetivo deste trabalho é desenvolver um protótipo de equipamento monitorador remoto – *smart meter*- para aquisição de dados de microconsumo de água, através de sensores de fluxo ou sensores resistivos, capaz de armazenar e transmitir, sem fio, dados sobre cada evento (data e tempo de utilização do dispositivo hídrico e volume de água consumido). Para este fim, utilizou-se a plataforma de prototipação Arduino Duemilanove, com seus *shields*, sensores, memória física (cartão SD) e rádio RF para transmissão remota. O protótipo criado demonstrou resultados satisfatórios para medição de eventos de uso de água, com uma margem de erro menor que 10%.

Palavras-Chave: monitoramento remoto, microcontroladores, consumo de água, automação residencial, *smart meter*, *data logger*.

ABSTRACT

The growth of cities, and the associated increasing demand for energy and water, requires knowledge of their consumption patterns, which is basic information for the integrated planning of services. Despite the importance of such information, in Brazil, the knowledge of the end uses of water in buildings is mostly obtained through interviewing methods, which have high uncertainty. The objective of the present study was to develop a prototype of an intelligent logger - smart meter- to acquire data related to the micro-consumption of water using flow sensors or resistive sensors capable of storing and transmit data about each event, recording the date, time of use and the volume of water consumed. In order to achieve this objective, it was used the platform prototyping Arduino Duemilanove shield with flow sensors, recording physical memory (SD card) and remote transmission of data. The created prototype showed satisfactory results for the measurement of water consumption events, with a margin of below 10%,

Key words: remote monitoring, microcontrollers, water consumption, home automation, smart meter, data logger.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Esquemático do sistema de medição com placa de orifício. .	29
FIGURA 2 - Esquemático do tubo de Venturi.	30
FIGURA 3 - Rotômetros comerciais.	31
FIGURA 4 - Forças que atuam no flutuador.	32
FIGURA 5 - Esquema de hidrômetro residencial.	33
FIGURA 6 - Mecanismo com disco Nutante.	34
FIGURA 7 - Sistema de lóbulos rotativos. Fonte: Volgelsang Brasil.	34
FIGURA 8 - Detecção de pulsos com fotodiodo.....	35
FIGURA 9 - Medidores tipo turbina.	36
FIGURA 10 - Geração da FEM pelo fluxo condutivo.	37
FIGURA 11 - Esquema de medição por efeito Doppler.....	39
FIGURA 12 - Esquema de medição por tempo de trânsito	40
FIGURA 13 - Modelo convencional de programação.....	42
FIGURA 14 - Modelo de topologia estrela.	48
FIGURA 15 - Modelo de topologia em árvore e malha.....	48
FIGURA 16 - Modelo do sistema de micromedição.....	52
FIGURA 17 - Sensor de Fluxo de $\frac{1}{2}$ '.	53
FIGURA 18 - Diagrama do sensor resistivo.....	55
FIGURA 19 - Sensor resistivo para torneira.....	55
FIGURA 20 - Placa Arduino Duemilanove.	56
FIGURA 21 - Modulo de RTC e R/W SD CARD. Fonte: Adafruit.com.	58

FIGURA 22 - Xbee Shield (end device) e Xbee explorer (coordinator). Fonte: Sparkfun.com.....	58
FIGURA 23 - Topologia de rede estrela.	59
FIGURA 24 - Modelo de configuração dos módulos Xbee.	63
FIGURA 25 - Fluxograma de operação do <i>smart meter</i>.	65
FIGURA 26 - Tela principal do Ambiente de desenvolvimento.....	66
FIGURA 27 - Tela de inicialização do <i>smart meter</i>.....	67
FIGURA 28 - Protótipo montado com módulo coordenador a direita	68
FIGURA 29 - Saída serial de eventos registrados pelo <i>smart meter</i>.	69
FIGURA 30 - Arquivo log.csv gravado pelo <i>smart meter</i>.	70
FIGURA 31 - Comparativo entre dois produtos de mercado e o protótipo desenvolvido.....	71
FIGURA 32 - Sensor conectado à entrada do chuveiro.....	75
FIGURA 33 - Tabela de testes com <i>smart meter</i>.	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CESAN- Companhia Espírito Santense de Saneamento

COTS - Common off the shelf

FUPAM - Fundação para pesquisa ambiental

IEEE - Institute of Eletrical and Eletronic Enginers, Inc

LABEEE-UFSC - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina

LAN –Local Área Network

LISHA - Laboratório de Integração Software Hardware

LR-WPAN - Low-Rate Wireless Personal Area Network

NWK - Network

PNCDA - Programa Nacional de Combate ao Desperdício de água

PROSAB - Programa de Pesquisas em Saneamento Básico

PURA-SABESP Programa de uso racional de água da Companhia de Saneamento Básico de São Paulo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	<i>Justificativa.....</i>	23
1.2	<i>Definição do problema</i>	24
1.3	<i>Objetivo Geral</i>	25
1.4	<i>Objetivos específicos</i>	25
1.5	<i>Estrutura do Trabalho</i>	26
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	27
2.1	<i>Medição de fluxo de fluidos líquidos.....</i>	27
2.2	<i>Princípios físicos para detecção de vazão.....</i>	27
2.3	<i>Técnicas de medição de fluxo</i>	27
2.3.1	<i>Medição por pressão diferencial</i>	28
2.3.2	<i>Medição por deslocamento positivo.....</i>	33
2.3.3	<i>Medidores especiais</i>	36
2.4	<i>Sistemas embarcados.....</i>	40
2.4.1	<i>Programações de embarcados.....</i>	41
2.5	<i>Smart meters.....</i>	43
2.6	<i>Norma IEEE 802.15.4.....</i>	44
3	DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA REMOTO DE MICROMEDIÇÃO DE CONSUMO DE ÁGUA	51
3.1	<i>Definições dos tipos de sensores</i>	53
3.2	<i>Definições do microcontrolador</i>	56
3.3	<i>Definições do módulo de leitura e gravação de cartões SD.</i>	57
3.4	<i>Definições dos módulos de comunicação.....</i>	58
3.5	<i>Configurações dos nós da rede:.....</i>	63
3.6	<i>Desenvolvimento do firmware.....</i>	65
3.7	<i>O protótipo</i>	68
3.8	<i>Controle do protótipo.....</i>	69

3.9	<i>Custo do projeto</i>	72
4	RESULTADOS	75
4.1	<i>Metodologia de testes</i>	76
5	CONCLUSÕES	81
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83

1 INTRODUÇÃO

Os avanços científicos e tecnológicos registrados no último século, definitivamente, retiraram do imaginário humano a visão da água como divindade a ser adorada e preservada, dando-lhe tão somente o lugar de recurso. Como recurso a humanidade passou a utilizá-la indiscriminadamente, mudando definitivamente seu ciclo hidrológico.

Durante os últimos 25 a 30 anos, as ações provocadas pelo homem no ciclo hidrológico de rios e lagos (0,6% da água doce do mundo), afetou substancialmente a qualidade da água e seu potencial. Do mesmo modo, sua distribuição espacial e temporal agora são determinadas tanto pelas variações climáticas quanto por atividades econômicas.

Na conferência Eco 92, o desenvolvimento sustentável do planeta tornou-se compromisso assumido por 170 países participantes. A Agenda 21 resume ações concretas na busca do desenvolvimento sustentável à serem implementadas pelos governos, agências das Nações Unidas, agências de desenvolvimento e setores independentes.

A Agenda 21, dentre seus elementos fundamentais previstos para o gerenciamento integrado prevê, em nível de bacias hidrográficas, que além do monitoramento sistemático e permanente da qualidade e quantidade de água, deverá haver a promoção de avanços tecnológicos que garantam o monitoramento, em tempo real, de indicadores biológicos e de contaminação.

Se observadas as medidas adotadas pelo Brasil para a implementação das estratégias acordadas na Agenda 21 e Rio +20, ver-se-á um conjunto de programas governamentais em andamento, tais como:

- O Programa de Pesquisas em Saneamento Básico - PROSAB, criado em 1996, composto por uma rede cooperativa de pesquisa, envolvendo tanto órgãos legisladores quanto as universidades brasileiras, num esforço para estabelecer planos que assegurem o uso racional da água.

Segundo Rodrigues (2005) em capitais como São Paulo e Vitória o consumo urbano de água, naquela época, atingia as médias de 84,4% e 85%, respectivamente. Além disto, se faz necessário observar que o Brasil detém 13,7% da água doce do mundo, mas desperdiça durante a distribuição cerca de 20% a 60% da água tratada para consumo humano e que o estresse da água é sentido por muitas cidades brasileiras.

Dentre as medidas de garantia de potabilidade da água consumida pelos brasileiros, o Programa Nacional de Combate ao Desperdício de água – PNCDA instituído em 1997 pelo governo, firmou convênio com a Fundação para pesquisa ambiental – FUPAM e a Faculdade de arquitetura e urbanismo da Universidade de São Paulo, para estudos específicos que visam a organização de documentação técnica que suporte as atividades do programa. O PNCDA dentre seus objetivos, busca a promoção do uso racional da água de abastecimento público nas cidades brasileiras, o que demanda diretrizes e planos para a eficiência dos serviços prestados.

Além destes programas, vários programas estão sendo desenvolvidos no país. Dentre eles o Programa de uso racional de água (PURA-SABESP), criado em 1995, Programas de uso racional de água da UFBA – Água Pura UFBA e da UNICAMP e o Programa Hóspede da Natureza, inspirado no projeto desenvolvido pela *International Environment Initiative* – IHEI, criado na Inglaterra após a ECO-92 (projeção de economia de 30% de energia elétrica e 20% de água).

Tais programas apontam para a necessidade de desenvolvimento tecnológico de sistemas de monitoramento de consumo, de modo a subsidiar a tomada de decisões estratégicas, táticas e operacionais para a conservação da água.

No setor doméstico ações conservacionistas têm proporcionado avanços na gestão do setor de saneamento e recursos hídricos, uma vez que há esforços, especialmente de edifícios de uso público (aeroportos, shopping centers, edifícios públicos e privados) na incorporação de dispositivos microcontrolados de controle individualizado de consumo de água.

Percebe-se que a medição individualizada de consumo tem seu uso assegurado, mas demanda do emprego de tecnologias mais sofisticadas. Tais tecnologias atualmente são utilizadas, principalmente, por edificações de alto padrão, precisando ser socializadas para todo o território nacional.

A adoção de dispositivos microcontrolados poderá contribuir para a implantação dos programas em curso no país, bem como para a qualidade das pesquisas desenvolvidas pelos centros de pesquisas e universidades. Além disto, poderá contribuir para a sensibilização dos brasileiros sobre a necessidade de mudança do modelo cultural de desperdício, introduzindo o valor do consumo consciente e consequentes medidas de conservação do maior patrimônio da humanidade, a água.

1.1 Justificativa

Atualmente no Brasil, segundo Vieira (2012), o conhecimento dos usos finais de água em edificações é possibilitado, principalmente, por entrevista aos usuários. Este método é associado a elevado grau de incerteza porque depende da precisão das respostas obtidas.

Apesar de possíveis impedimentos técnicos e econômicos à instalação de equipamentos monitoradores para a determinação de padrões de consumo de água, a adoção destes equipamentos poderá fornecer informações precisas sobre os usos finais de água e padrões de consumo.

Tais informações poderão ser utilizadas para sustentar o desenvolvimento de estudos e diretrizes para o planejamento dos serviços de água e esgoto, bem como de energia elétrica. Por exemplo, Vieira (2012 p.95) utilizou equipamentos monitoradores para a determinação do consumo de água por equipamentos hidrossanitários, concluindo que o chuveiro consome 27% da água fornecida, enquanto a lavadora de roupas 25% e a bacia sanitária 25%, totalizando, aproximadamente, 77% dos usos finais de água. Neste caso, equipamentos monitoradores contribuíram para a formulação de estratégias de redução do consumo de água ou o uso de fontes alternativas para a população estudada.

Deste modo, equipamentos monitoradores inteligentes de alta precisão diferem de contadores mecânicos (ex.: hidrômetros convencionais) quanto à capacidade de monitorar o consumo de água e energia com alta resolução temporal, através de dispositivos microcontrolados.

Tais equipamentos são conhecidos por diferentes terminologias, dentre elas, *smart meter* e comercializados por diversas empresas, mas ainda não atendem à necessidade específica de micromedição de consumo.

O presente trabalho pesquisa, visa o desenvolvimento de um novo modelo de protótipo para micromedições de consumo, capaz de transmitir dados remotamente.

1.2 Definição do problema

O problema de pesquisa delimitou-se quando, em contato com o Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE – UFSC), pode-se identificar algumas dificuldades na aquisição de dados de usos finais de água potável em residências de baixa renda.

A confiabilidade desses dados determinaria a qualidade da conclusão de uma tese de mestrado, uma vez que a ferramenta em uso baseava-se em entrevista, na qual o usuário final respondia a um questionário e com base nestes dados o pesquisador estimava o consumo de água de cada unidade pesquisada. Entretanto, o pesquisador e mestrando do LABEEE, Vieira (2012), verificou que os dados obtidos nas entrevistas não poderiam ser totalmente validados e que para garantir a qualidade da pesquisa se tornava necessário o monitoramento efetuado por monitoradores inteligentes de alta precisão, com alta resolução temporal, através de dispositivos microcontrolados (*smart meter*).

1.3 Objetivo Geral

Desenvolver um equipamento protótipo para aquisição de dados de microconsumo de água, através de sensores de fluxo ou sensores resistivos, capaz de armazenar e transmitir, por meio de tecnologia sem fio, dados sobre cada evento de consumo de água (data, tempo de utilização do dispositivo hídrico e o volume de água consumido), que atenda as especificações da Norma IEEE 802.15.4.

1.4 Objetivos específicos

- Desenvolver protótipo de sensor a ser utilizado em locais onde não seja possível utilizar um sensor de fluxo diretamente na tubulação de água;
- Desenvolver firmware a ser utilizado pelo microcontrolador.

1.5 Estrutura do Trabalho

Este trabalho foi desenvolvido em cinco capítulos além da introdução, entretanto serão descritos os seguintes capítulos:

Capítulo 2 – Fundamentação Teórica. Neste capítulo foram abordadas as teorias e conceitos que fundamentam o trabalho. São apresentados os princípios físicos envolvidos na medição do fluxo de líquidos, as principais técnicas de medição de fluxo utilizadas na indústria, o conceito de sistema embarcado e sua programação, a definição de *smart meters* e descrição da norma IEEE 802.15.4.

Capítulo 3 - Desenvolvimento do sistema remoto de micromedição de consumo de água. Descreve-se as definições e detalhamento técnico do projeto dividido em módulos funcionais: microcontrolador, módulo leitor/gravador de cartão de memória e módulo de comunicação.

Capítulo 4 – Os resultados apontam os testes funcionais do protótipo desenvolvido e os resultados obtidos ao término do trabalho.

Capítulo 5 – Conclusões e proposições de trabalhos futuros estão descritas neste capítulo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Medição de fluxo de fluidos líquidos

Quando pretende-se mensurar a quantidade de massa ou volume que flui de um ponto A para um ponto B, em um determinado período de tempo é fundamental o conhecimento das características físico-químicas do fluido.

2.2 Princípios físicos para detecção de vazão

O conceito de fluxo implica em uma determinada grandeza física por determinada unidade de medida.

Considerando o fluxo ou vazão volumétrica de água líquida, a taxa de volume em função do tempo, obedecerá a seguinte equação (eq. 1):

$$F = \vec{V} \vec{A} \text{ (eq. 1)}$$

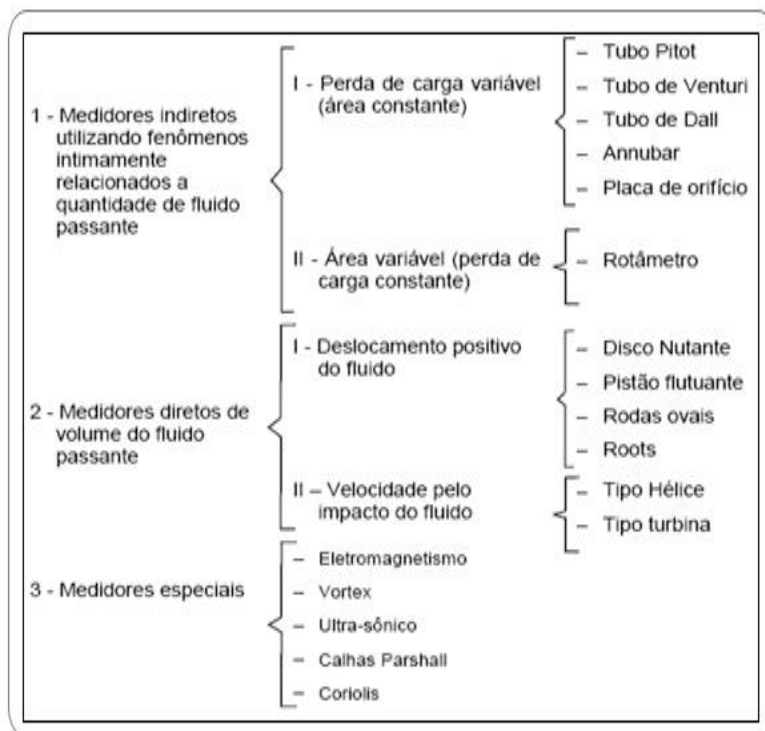
No SI o vetor velocidade (\vec{V}) é expresso em m/s e o vetor área orientada (\vec{A}) em m^2 . O fluxo (F) é expresso em m^3/s ou mais usualmente em L/s, L/h e cm^3/min .

Assim, a massa específica da água líquida, idealmente, é igual a $1.000Kg/m^3$.

2.3 Técnicas de medição de fluxo

Existe diversas técnicas para mensurar o fluxo de um líquido através de suas características ou de sua interação com o meio, onde o fluido será transportado. Indicar-se-á no QUADRO 1 algumas das técnicas mais usuais.

QUADRO 1 - Tipos de medidores.
Fonte: SMAR INDUSTRIAL AUTOMATION.



2.3.1 Medição por pressão diferencial

O conceito físico no qual os dispositivos de medição de fluxo por pressão diferencial se baseiam é a equação de Bernoulli, que relaciona a pressão e rapidez entre dois pontos de uma mesma linha de corrente de um fluido não viscoso.

Dispositivos desse tipo também são conhecidos como medidores por obstrução. Dispositivos que utilizam algum tipo de anteparo ou redução no diâmetro da tubulação para causar variação de pressão no fluido.

a) Placa de orifício

No sistema com placa de orifício, descrito na Figura 1, a diferença de pressão surge com a introdução de uma placa perfurada na seção transversal da tubulação, a variação de pressão está descrita na escala indicada (PSI). Nota-se que a montante da placa a pressão do fluido está num valor em torno de 250 PSI, a jusante da placa a pressão cai para 248 PSI e vai subindo gradualmente para um valor final que é menor que a pressão verificada antes da placa perfurada. Assim a variação da pressão Δp é proporcional a velocidade do fluido.

Este método é muito utilizado na indústria pela facilidade de instalação e baixo custo de manutenção, sendo aplicado em ampla faixa de pressão e temperatura, entretanto apresenta alta perda de carga (40% a 80% de Δp).

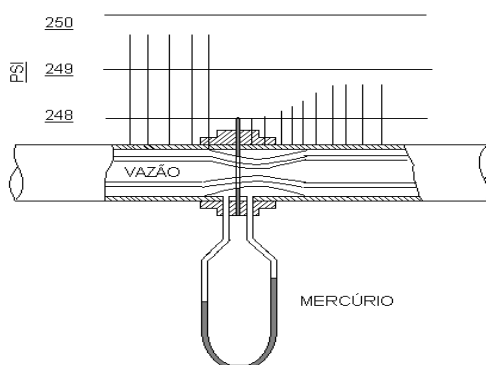


FIGURA 1 - Esquemático do sistema de medição com placa de orifício.

b) Tubo de Venturi

O tubo de Venturi apresenta duas sessões cônicas separadas por um segmento mais estreito (garganta), por onde o fluido é forçado a passar através da estrutura desenhada na Figura 2, havendo um aumento da velocidade do fluido e uma queda de pressão que atinge o seu valor mínimo na garganta do tubo. Em seguida, a velocidade de escoamento é reduzida e a pressão retorna a um valor muito próximo da pressão verificada a montante do tubo de Venturi.

Este mecanismo é indicado para fluidos que contenham quantidade significativa de material sólido e também em sistemas onde seja relevante a baixa perda de carga.

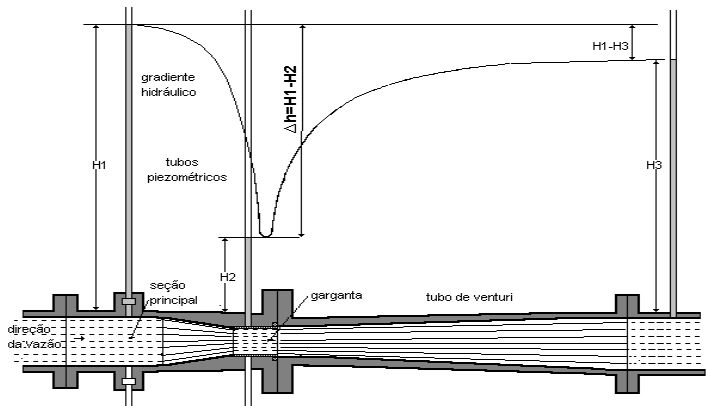


FIGURA 2 - Esquemático do tubo de Venturi.

c) Rotâmetro

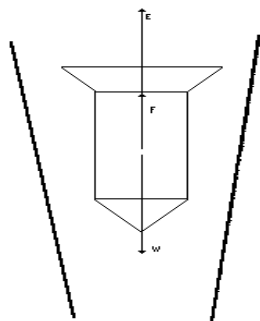
Constituído por um tubo de vidro cônico e um flutuador em seu interior, conforme Figura 3, este sistema, por causa de seu princípio de funcionamento, deve ser instalado, obrigatoriamente, na posição vertical com o fluxo de baixo para cima.



FIGURA 3 - Rotômetros comerciais.

Fonte: APLitech indústria e comércio de equip. ind.

Embora o rotâmetro seja um dispositivo de medição indireta, difere da placa de orifício e do tubo de Venturi por apresentar área de operação variável e perda de fluxo constante.



W - Força peso

F - Força de arraste do fluido que atua no flutuador

E- força de empuxo do fluido

FIGURA 4 - Forças que atuam no flutuador.

O tamanho e forma do flutuador, bem como o material utilizado em sua confecção serão determinados de acordo com o fluido a ser mensurado.

A leitura de vazão poderá ser efetuada quando o flutuador estiver em equilíbrio dinâmico, ou seja, no momento em que a pressão diferencial e o empuxo do fluido contrabalançar o peso do flutuador. A Figura 4 demonstra uma representação vetorial das forças que atuam no sistema.

2.3.2 Medição por deslocamento positivo

Nos dispositivos que utilizam técnicas de deslocamento positivo, a energia do próprio líquido é utilizada para girar o mecanismo de medição, gerando uma perda de carga constante. Além disso, é necessário um acoplamento mecânico ou magnético a um sistema de leitura do fluxo. Dentre os dispositivos destacam-se os seguintes:

a) Disco nutante

Tipicamente os hidrômetros residenciais, Figuras 5 e 6, utilizam um disco nutante para efetuar a leitura do volume de água que é consumido em cada residência.

O disco nutante gira e oscila ao mesmo tempo, através de um mecanismo preciso de acoplamento, registrando o consumo de água.



FIGURA 5 - Esquema de hidrômetro residencial.

**Fonte: Mecânica dos fluidos fundamentos e aplicações
(Ed: McGraWHill).**

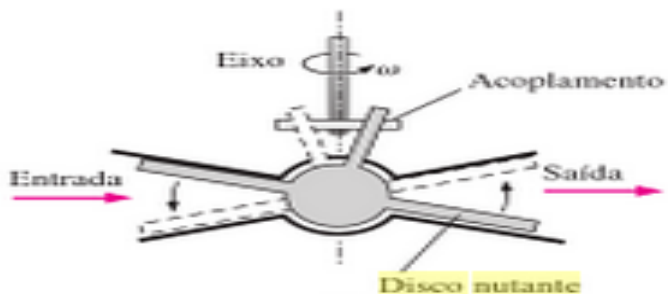


FIGURA 6 - Mecanismo com disco Nutante.

Fonte: Mecânica dos fluidos fundamentos e aplicações (Ed. McGraWHill).

b) Lóbulos rotativos

Este tipo de medidor, demonstrado na Figura 7, é ideal para fluidos de alta viscosidade, não sendo indicado para pequenas vazões porque apresenta alta perda de carga, por transformar a energia de fluxo em movimento.

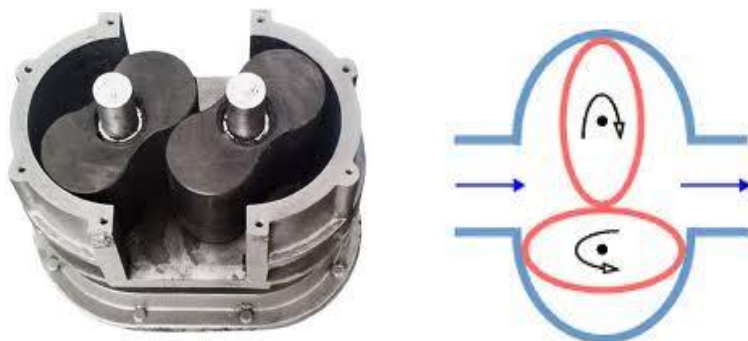


FIGURA 7 - Sistema de lóbulos rotativos. Fonte: Volgelsang Brasil.

c) Turbinas

O fluido faz girar uma turbina e a velocidade de rotação é diretamente relacionada à velocidade do fluido, conforme Figuras 8 e 9. O movimento das pás pode ser captado por diversos tipos de sensores (capacitivos, indutivos, efeito Hall ou magnéticos) ou ainda pelo acoplamento a engrenagens.

Nesse tipo de medidor para cálculo da vazão (Q) relaciona-se a quantidade de pulsos (P) indicado pelos transdutores a um coeficiente de vazão (K), indicado pelo fabricante para cada tipo de fluido a ser mensurado (eq. 2).

$$Q = \frac{f}{K} \text{ m}^3/\text{s no SI (eq. 2)}$$

Onde Q = vazão; f = fator de correção e K = coeficiente de vazão.

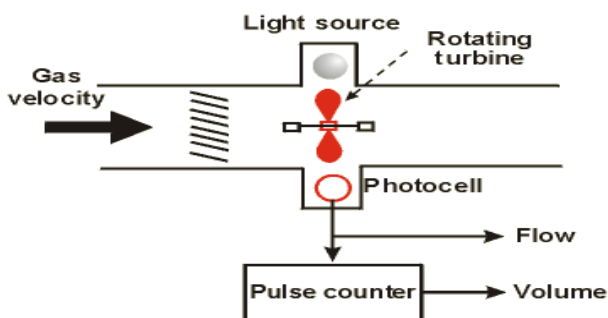


FIGURA 8 - Detecção de pulsos com fotodiodo.

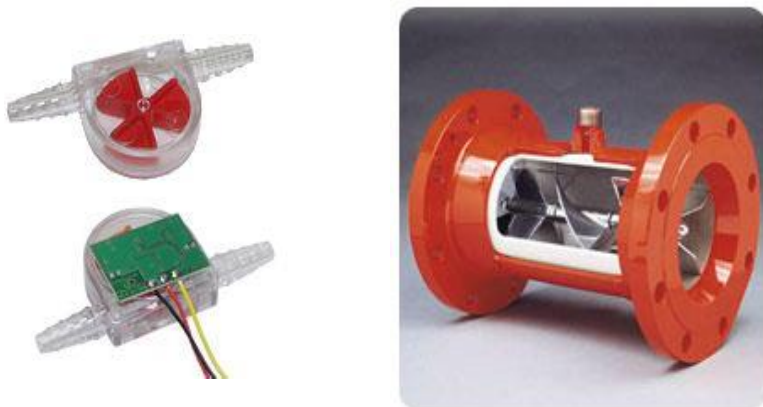


FIGURA 9 - Medidores tipo turbina.

2.3.3 Medidores especiais

Os medidores especiais buscam resolver problemas inerentes aos medidores convencionas, como a perda de carga imposta por seus elementos primários de vazão, que estão em contato direto com o fluido.

a) Medidor tipo eletromagnético

Seu princípio de funcionamento é baseado na lei de Faraday. O dispositivo de medição possui bobinas que geram um campo magnético perpendicular ao fluxo e este fluxo por sua vez funciona como um condutor elétrico em movimento. Deste modo, necessariamente, o fluxo passante deve ter uma mínima condutividade elétrica.

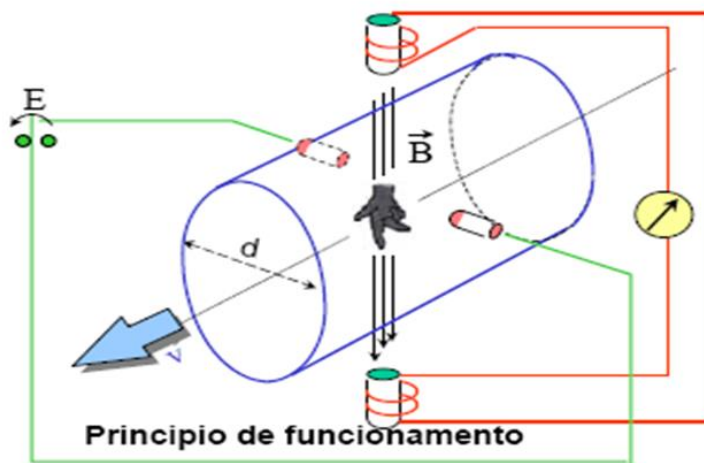


FIGURA 10 - Geração da FEM pelo fluxo condutivo.

O fluido, ao passar pelo campo magnético, gera uma FEM proporcional a velocidade do fluxo. A vazão e a FEM, de acordo com a lei de Faraday, podem ser expressas na seguinte relação (eq. 3):

$$E = B.d.v \text{ (eq. 3)}$$

E = tensão gerada (V)

B = densidade de fluxo do campo magnético (wb/m²)

d = distância dos eletrodos (m)

v = velocidade (m/s)

Considerando um campo magnético constante, a FEM será diretamente proporcional a velocidade do fluxo.

b) Medidor por ultrassom

Os medidores de fluxo por ultrassom utilizam dispositivos piezoelétricos para gerar as ondas na faixa de frequência de mega-Hertz (MHz). Seu princípio de funcionamento baseia-se nas propriedades de propagação das ondas ultrassônicas através de um fluido.

A grande vantagem deste tipo de medidor é possibilitar medições de forma não intrusiva, pois os transdutores de alguns tipos de medidores ultrassônicos são instalados sobre a superfície da tubulação.

Nesse tipo de medidor para cálculo da vazão relaciona-se a quantidade de pulsos ultrassônicos gerados e captados pelos transdutores piezoelétricos.

Na instrumentação industrial as técnicas mais usuais de medição por ultrassom são o efeito Doppler e tempo de trânsito.

Na técnica de medição por efeito Doppler, Figura 11, quando o pulso ultrassônico é direcionado contra o fluxo, tem a sua velocidade reduzida por efeito da corrente contrária e quando o pulso é emitido a favor do fluxo tem sua velocidade aumentada.

O desvio de frequência percebido pelo transdutor é proporcional à velocidade do fluido, o que possibilita o cálculo da vazão. Medidores por efeito Doppler são, necessariamente, utilizados em fluidos que possuam pelo menos 5% de impurezas, partículas sólidas, que servirão como refletores para as ondas de ultrassom.

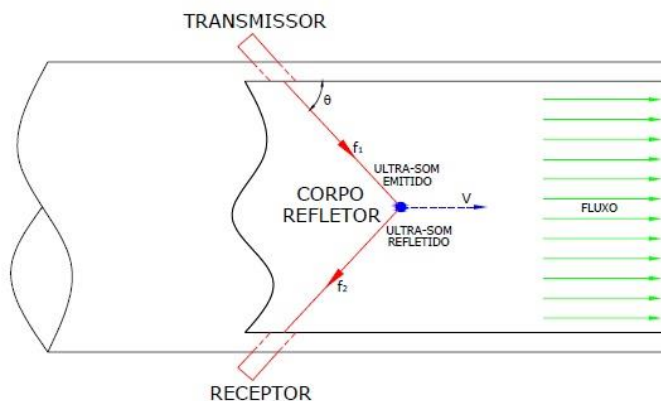


FIGURA 11 - Esquema de medição por efeito Doppler.

A técnica de medição por efeito Doppler apresenta um erro entre 2% e 5%, pois as partículas dentro do tubo apresentam velocidades de escoamento que variam conforme as suas disposições, sendo que as partículas mais próximas do centro do tubo apresentam maior velocidade.

Na técnica de medição por tempo de transito, indicada na Figura 12, a vazão é calculada com base na diferença de tempo em que dois feixes de onda levam para percorrer a distância entre o transdutor 1 (t_1) e o transdutor 2 (t_2). Os dois tradutores são ajustados com uma inclinação de 30° a 45° em relação ao fluxo. Caso haja fluxo, a frente de onda que vai de t_1 para t_2 levará um tempo diferente da frente de onda que sai de t_2 para t_1 , devido a velocidade de escoamento do fluido.

A medição por tempo de trânsito apresentará uma precisão de $\pm 0,3\%$ a $\pm 0,5\%$ da vazão mensurada, sendo indicada para fluidos limpos.

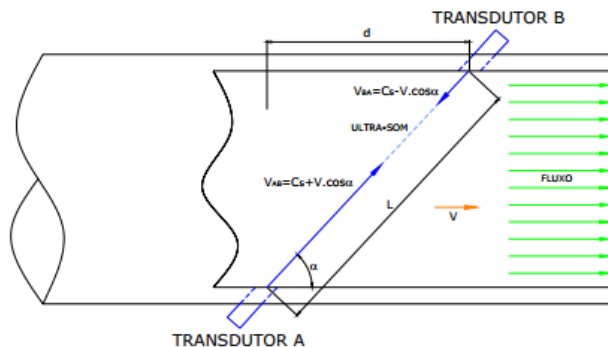


FIGURA 12 - Esquema de medição por tempo de trânsito

2.4 Sistemas embarcados

Sistemas embarcados ou sistemas embutidos são sistemas que adicionam mais inteligência, ou seja, mais capacidade computacional a um circuito integrado utilizado em equipamentos ou sistemas maiores. Por serem sistemas completos e independentes estão preparados para realizar tarefas específicas, o que, de certo modo, não proporciona flexibilidade de *software* e de *hardware* para que outras tarefas possam ser executadas. Portanto, caso haja necessidade de execução de nova tarefa será necessário a reprogramação do sistema.

Para o termo sistema embarcado - *Embedded System* - não há uma definição universal, mas alguns autores sugerem definições, tais como:

- Para Marwedel (2010) sistemas embarcados podem ser pensados como sistemas de processamento de informações que

estão embarcados em sistemas maiores e que normalmente não são visíveis ao usuário;

- Segundo Li e Yao (2003), sistemas embarcados são sistemas nos quais *hardware* e *software* normalmente são integrados e seu projeto visa o desempenho de uma função específica. A palavra ‘embarcados’ indica que estes sistemas são parte de um sistema maior. Este sistema maior pode ser composto por outros sistemas embarcados;

- Heath (2003) sugere que um sistema embarcado é um sistema baseado em um microprocessador projetado para controlar uma função ou uma gama de funções, mas não para ser programado pelo usuário final como acontece com os PCs;

- Para Wolf (2001) um sistema embarcado é qualquer aparelho que possua um computador programável, não sendo projetado para ser um computador de uso geral.

Como sistema computacional especializado, o grande desafio de projeto de sistemas embarcados é o desempenho final que atenda às necessidades e satisfaça às restrições de projeto e o custo de desenvolvimento.

A tecnologia utilizada nos projetos de sistemas embarcados é flexível tanto na escolha de software quanto de hardware, podendo ser implementada sobre plataformas de uso geral e também com hardware dedicado. Entretanto, sua interação demanda o uso de sensores, atuadores, dispositivos processadores e microcontroladores. Do mesmo modo, a linguagem empregada para o desenvolvimento do *software* varia bastante e em certos casos pode ser utilizada mais de uma linguagem.

2.4.1 Programações de embarcados

No modelo tradicional de programação, Figura 13, depois da análise, as especificações de *hardware* e de *software* são executadas separadamente, bem como a concepção e testes. A integração do sistema pode ser vista como produto final.

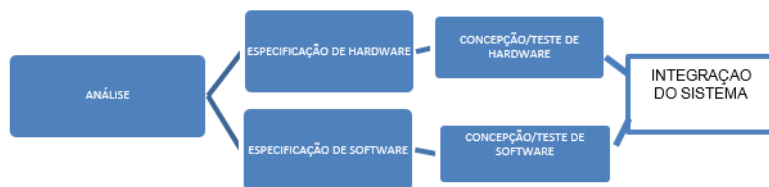


FIGURA 13 - Modelo convencional de programação.

Entretanto, a programação de sistemas embarcados deve considerar que *hardware* e *software* devem ser programados concomitantemente, tendo como fim a realização de uma função específica.

Tal sistema digital, precisa interagir com o ambiente, muitas vezes funcionando de maneira contínua, realizando tarefas críticas, o que exige do sistema confiabilidade e segurança, devendo obedecer as restrições temporais, de peso e de tamanho.

Assim, o conjunto *software* e *hardware* precisa atender a diversas características do sistema. Dentre elas pode-se destacar as seguintes:

- a. Observância a possibilidade do *software* trabalhar de forma contínua e em ambientes/condições hostis, o que impõe a ele a necessidade de ser autônomo e confiável em termos temporais;
- b. Muitos sistemas embarcados são sistemas de tempo real. Os *softwares* de sistemas de tempo real são afetados por restrições temporais;
- c. Os sistemas embarcados interagem diretamente com dispositivos elétricos;
- d. Os sistemas embarcados reagem ao operador, mas interagem com sensores;

- e. Os sistemas embarcados podem executar tarefas de alta complexidade;
- f. A construção geralmente utiliza processadores de baixo custo, mas com garantia de funcionalidade e desempenho;
- g. O desenvolvimento de *software* é trabalhoso porque apresentará todos os problemas dos *softwares* convencionais e muitos problemas específicos relacionados a integração de sistemas.

Em sistemas embarcados o *firmware* pode ser pensado como um *software* que tem como função garantir que um conjunto de instruções operacionais, programadas no hardware, se mantenham configuradas e inalteradas. Assim, o *firmware* pode ser executado, mas não pode ser alterado pelo usuário.

A linguagem de programação C, uma das mais utilizadas atualmente na programação de sistemas embarcados é uma linguagem de alto nível de abstração, flexível e com grande portabilidade, podendo ser executada em várias plataformas com pouquíssimas modificações.

2.5 *Smart meters*

Estes equipamentos são conhecidos por diferentes terminologias na língua inglesa, dentre elas: *smart meter*, *digital meter*, *intelligent meter*, *electronic meter*. A terminologia *smart meter* tornou-se a mais utilizada e preferida pela comunidade de desenvolvedores e comunidade científica no exterior. No entanto, mesmo para uma mesma terminologia não existe consenso geral. Na concepção de Gerwen et al. (2006), *smart meters* devem registrar em tempo real, ou próximo do real, o uso de água ou energia, permitindo sua leitura *in situ* ou remotamente.

No presente trabalho adotou-se a definição proposta por Ekanayake et al. (2012), onde *smart meters* ou equipamentos monitoradores inteligentes, são categorizados como medidores eletrônicos capazes de monitorar, coletar, analisar e gerenciar o consumo de água e energia, utilizando tecnologias da informação e comunicação que facilitam o gerenciamento de dados em tempo real, ou quase real, bem como recursos de controle avançado para a utilização, processamento, transferência e gerenciamento de dados por consumidores e prestadores de serviço.

A associação de medidores eletrônicos às novas tecnologias de comunicação de baixo custo poderá promover a expansão do uso de *smart meters*. O início da difusão de tais equipamentos já é observado em diversos países, incluindo o Brasil e a Austrália, conforme relatado por Vieira (2012). No entanto, a maioria dos projetos relacionados a *smart meters* está em escala de demonstração.

2.6 Norma IEEE 802.15.4

O *Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc* – IEEE associação internacional composta por engenheiros das áreas de telecomunicações, computação, eletrônica e ciências aeroespaciais de 150 países, padroniza e especifica as normas desta área do conhecimento.

O Comitê 802 do IEEE tem diversos grupos de trabalhos ativos, trabalhando em propostas de elaboração de normas para as redes sem fios.

O Grupo 802.15 atua desde 2003 e trata das especificações da camada física e efetiva, do controle de acesso às redes sem fios pessoais de baixas taxas de transmissão, estabelecendo os seguintes objetivos:

- Oferecer os fundamentos para as camadas inferiores em uma rede do tipo área pessoal sem fio (*Wireless Personal Area Networks* - WPAN);
- Comunicação de custo muito baixo de dispositivos próximos, com pouca ou nenhuma infraestrutura subjacente;
- Menor consumo de energia;

- Distância média de 10 metros para comunicação com taxa de transferência de 250kbts/s.

A rede WPAN pode ser definida, conforme Teixeira (2006), como uma rede composta por dispositivos pessoais, usando tecnologias para comunicação sem fio de curto de médio alcance, sendo suas principais extensões o *Bluetooth*, o *UWB* e o *ZigBee*.

A Norma IEEE 802.15.4 define as características de construção das camadas do seguinte modo:

- a) Camada Física ou PHY (*Physical Layer*) em MHz ou GHz;
- b) Camada de controle de acesso ao Meio (MAC);
- c) Camada de rede;
- d) Camada de aplicação.

a) Características da Camada física ou PHY:

Trata a transmissão de dados brutos por meio de canal de comunicação e define os parâmetros, tais como modulação e taxa de transferência.

O Padrão IEEE 802.15.4 fixa as faixas de frequência em que a modulação se dará e estas modulações são estabelecidas para cada país/local, sendo, por exemplo, a faixa de frequência fixada para o mundo de 2.400 a 2.483,5MHz, enquanto que a faixa de frequência da Europa oscila entre 868 a 868,6MHz.

b) Características da camada de controle de acesso ao meio (MAC)

- Gerencia o acesso ao canal;
- Sincronização de *beacons*;
- Valida/reconhece o quadro e associação/dissociação de dispositivos de rede.

O método de acesso ao canal pode ser:

- Com contenção (*non-beaconned*): Mecanismo CSMA-CA – Se o meio está livre, então se dá a transmissão;

- Sem contenção (*beaconned*): Transmissão sem o protocolo CSMA-CA. Todos os dispositivos de rede são sincronizados (*beaconned*), sendo o *beacon* um pacote especial de controle.

c) Camada de rede

- Transporta dados;
- Dá suporte as aplicações dos dispositivos *ZigBee*.

d) Camada de aplicação

É a camada de mais alto nível, definida pelo Padrão IEEE 802154, tendo os seguintes elementos:

- Subcamada de suporte à aplicação (APS), que fornece a interface entre a camada de rede e de aplicação, gerencia a tabela de ligação e provém a transmissão de dados (PDUs) entre dois dispositivos da mesma rede;

- *Application Framework*, onde são alocados os objetos de aplicação *ZigBee*;

- *ZigBee Device Object*, implementa o *profile* do dispositivo, propiciando as funções básicas de comunicação entre a APS e os objetos de aplicação. Além disto, identifica os serviços disponíveis para novos dispositivos na rede

Uma rede *ZigBee* é estruturada em nós que são dispositivos com funções específicas, descritos a seguir:

1. Dispositivo Coordenador (*coordinator*), um único dispositivo, cuja função é criar e gerenciar uma rede *ZigBee*, sendo responsável por concentrar as informações relevantes à aplicação. Determina o identificador da rede (PAN ID);

2. Dispositivo roteador (*router*) que redireciona os pacotes entre os nós que não se comunicam diretamente;

3. Dispositivo final (*end devices*), são sensores ou atuadores da rede que se comunicam com os roteadores e o coordenador, possuindo funcionalidade de operar no modo *sleep* para economizar energia.

Além dos nós de rede, as redes são construídas obedecendo a uma topologia definida. As topologias, segundo Farahani (2008) que utilizam o Padrão IEEE 802.15.4 obedecem aos padrões estrela e ponto a ponto. As topologias, segundo Farahani (2008) que utilizam o padrão IEEE 802.15.4 obedecem aos padrões estrela e ponto a ponto.

Assim, a tecnologia *ZigBee* que foi implementada segundo a Norma IEEE 802.15, tem as Camada de Rede (NWK) e de Aplicação (APL) definidas pela *ZigBee Alliance*, de modo a dar suporte à finalidade de sua aplicação, bem como para as combinações de topologias possíveis entre os dispositivos na rede, sejam elas: *Star* (Estrela); *Cluster Tree* (Árvore) e *Mesh* (Malha) (ZIGBEE ALLIANCE, 2006).

A *ZigBee Alliance* é uma associação de várias empresas de diversos segmentos, como Motorola, Philips, Samsung, Siemens, Analog Devices, Texas Instruments. Seu objetivo, segundo Baronti et al (2007) é desenvolver padrões e produtos *wireless* de monitoramento e controle que sejam confiáveis, de baixo custo, baixo consumo e conectados em redes sem fio como um padrão global aberto.

Na topologia Estrela (*Star*), Figura 14, diversos dispositivos podem se comunicar com o coordenador. Os dispositivos finais só se comunicam através do coordenador, sendo utilizada para aplicações de baixa complexidade.

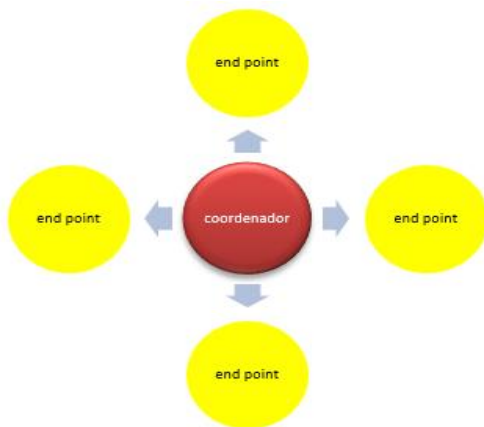


FIGURA 14 - Modelo de topologia estrela.

Na configuração ponto a ponto, Figura 15, os dispositivos se comunicam entre si, sem a figura do coordenador, podendo ter sua topologia em árvore (*cluster tree*) e malha (*mesh*).

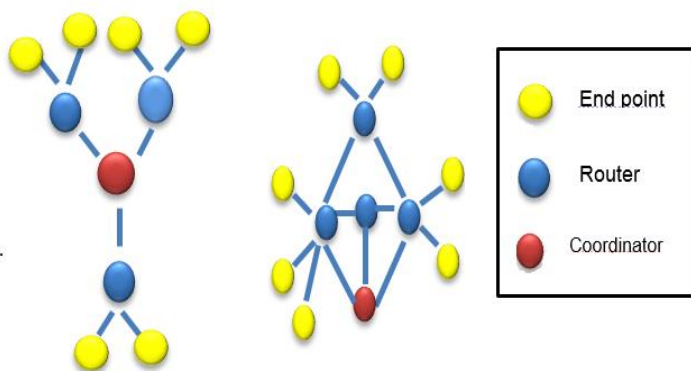


FIGURA 15 - Modelo de topologia em árvore e malha.

Segundo Baronti (2007) as principais vantagens de uma LR-WPAN (*Low-Rate Wireless Personal Area Network*) são a facilidade de instalação, transferência de dados confiáveis, operação em espaço limitado, baixíssimos custos e longa expectativa de vida para baterias, enquanto mantém pilhas de protocolos simples e flexíveis.

A tecnologia *ZigBee* pode ser empregada em diversos propósitos. Dentre os quais destacam-se os seguintes:

- Automação e controle predial (segurança, controle de acesso e iluminação);
- Controle industrial (gerenciamento de ativos, controle de processos, etc.);
- Periféricos para PC (teclado, mouse e joystick);
- Controle remoto de produtos eletrônicos;
- Automação residencial e comercial.

O *ZigBee* dispõe de sistema de segurança que garante a confidencialidade e integridade da informação, bem como uma taxa de erro de bit (número de bit errados/número total de bit transmitidos durante um espaço de tempo) num circuito de comunicação de dados igual a 5×10^{-5} .

3 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA REMOTO DE MICROMEDIÇÃO DE CONSUMO DE ÁGUA

As fases do desenvolvimento do projeto podem ser visualizadas no Quadro 2, exposto a seguir:

QUADRO 2: Fases de desenvolvimento do protótipo.

PLANEJAMENTO	EXECUÇÃO	CONTROLE
 <ul style="list-style-type: none">• Reunião com o cliente ;• Definição dos requisitos chave;• Requisitos chave:<ol style="list-style-type: none">1.Registro e transmissão de dados via RF (volume, duração, data de cada evento);2. Custo;3. Dimensões do equipamento;4. Confiabilidade	 <ul style="list-style-type: none">• Definição dos tipos de sensores;• Desenvolvimento de sensor resistivo;• Definição do microcontrolador;• Escolha do microcontrolador;• Definição do módulo de leitura e gravação;• Escolha do módulo rf xbee;• Definição do modelo de rede;• Kit de desenvolvimento;• Desenvolvimento do firmware.	 <p>Testes do protótipo – cartões de 8 gb possibilitam a gravação de aproximadamente 222000 eventos de consumo;</p> <p>Possibilidade de transmissão e impressão de cada variável.</p>

Ao iniciar as pesquisas sobre o equipamento a ser desenvolvido, o primeiro passo foi a realização de reunião com o mestrando do LABEEE (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações), para levantamento dos requisitos chave de projeto.

Trata-se de um equipamento a ser utilizado em pesquisas, capaz de monitorar o consumo de água em pontos de uso final (torneiras, chuveiros e bacias sanitárias), registrando e transmitindo via RF o volume de água utilizado, a duração de cada evento e a data em que o evento ocorreu. Além disto, o preço e o tamanho do equipamento mostraram-se como questões relevantes.

Os seguintes requisitos chave foram estabelecidos pelo cliente:

1. Registro e transmissão de dados via RF;
2. Custo do equipamento;
3. Dimensões;
4. Confiabilidade das medições.

Para atender aos requisitos chave dimensões, tanto o *data logger* quanto os sensores precisavam ter dimensões reduzidas, para facilitar a instalação e evitar ocupar um grande espaço nos locais onde seriam instalados. Assim, na Figura 16 é exposto o modelo do sistema de micromedição desenvolvido.



FIGURA 16 - Modelo do sistema de micromedição.

3.1 Definições dos tipos de sensores

Partindo das limitações definiu-se, em primeiro lugar, os tipos de sensores. O sensor de fluxo escolhido (especificações na Tabela 1) apresenta o tamanho adequado para micromedições em pontos de consumo final. É um sensor baseado no efeito Hall que funciona com microturbinas (Figura 17).

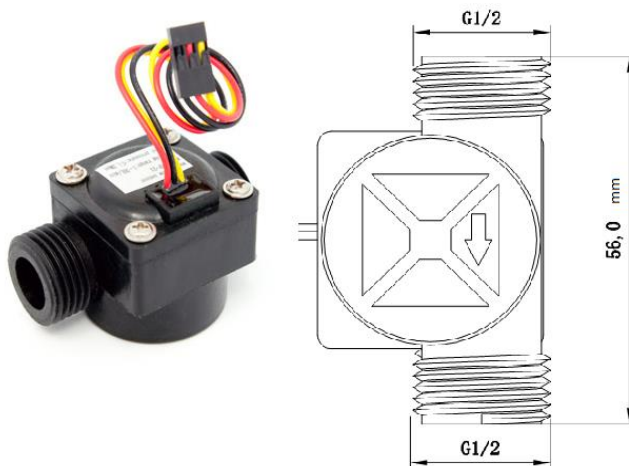


FIGURA 17 - Sensor de Fluxo de 1/2'.

Fonte:Seedstudio.com.

Esta opção mostrou-se mais adequada ao projeto, principalmente pelas dimensões e pelo baixo custo. Uma desvantagem importante se deve ao fato da tensão de alimentação ser de 4,5 V (mínima). Optar por um microcontrolador com alimentação inferior a esse valor significaria, necessariamente, modular o sinal de saída, trabalhar com níveis de tensão diferentes. Neste caso, haveria necessidade de projeto específico de alimentação do sistema.

Tabela 1 - Características técnicas do sensor de efeito Hall.
Fonte: Seeedstudio.com

REQUISITO	ESPECIFICAÇÃO
Tensão min	DC 4.5 V
Máx. Corrente de trabalho	15 mA (DC 5V)
Tensão de trabalho	5V ~ 24V
Range de vazão	1 ~ 30 L / min
Capacidade de Carga	≤10mA (DC 5V)
Temperatura de Operação	≤80 °C
Temperatura do Líquido	≤120 °C
Umidade de operação	35% ~ 90% RH
Pressão da água	≤2.0MPa
Temperatura de armazenamento	-25 °C ~ + 80 °C
Umidade de armazenamento	25% ~ 95% RH
Pulso de saída de nível alto	Sinal de tensão > 4.5 V (entrada DC 5 V)
Pulso de saída de nível baixo	Tensão do sinal < 0.5V (entrada DC 5V)
Precisão	3% (fluxo de 1 L / min para 10 L / min)
Ciclo de trabalho do sinal (duty cycle)	40% ~ 60%

Outra informação relevante fornecida pelo fabricante refere-se a frequência de pulso (Hz) igual a $7,5Q$, onde 'Q' é a vazão em L/min.

Pensando nos casos onde não seria possível a instalação do sensor de fluxo rosqueável, desenvolveu-se um sensor de fluxo resistivo, descrito nas Figuras 18 e 19.

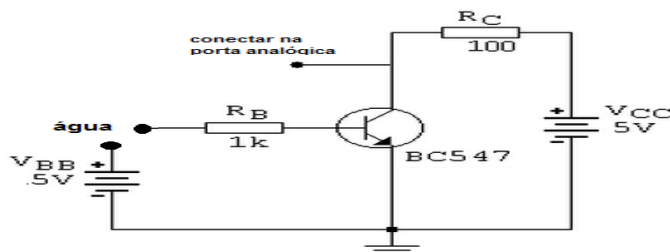


FIGURA 18 - Diagrama do sensor resistivo.



FIGURA 19 - Sensor resistivo para torneira.

Este sensor detecta o fluxo de água, permitindo o registro do intervalo de tempo em que o evento ocorre, entretanto este sensor não registra o volume de água utilizado.

3.2 Definições do microcontrolador

O projeto foi iniciado com a definição de um hardware desenvolvido no Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC pelo Laboratório de Integração Software Hardware – LISHA. O EPOSMOTE II, com um microcontrolador da Freescale MC13224V baseado num ARM7 32bits.

O diferencial deste hardware para o projeto está no fato desse microcontrolador vir equipado com um rádio padrão IEEE 802.15.4 o que permitiria a utilização das funcionalidades necessárias ao projeto, entretanto, optou-se pela prototipagem com o módulo *Arduino Duemilanove* com microcontrolador ATMEGA 328 de 8 bits da Atmel pela disponibilidade de material publicado, o que facilitaria o desenvolvimento nesta plataforma.

Na Figura 20 é apresentada a placa *Arduino Duemilanove*.

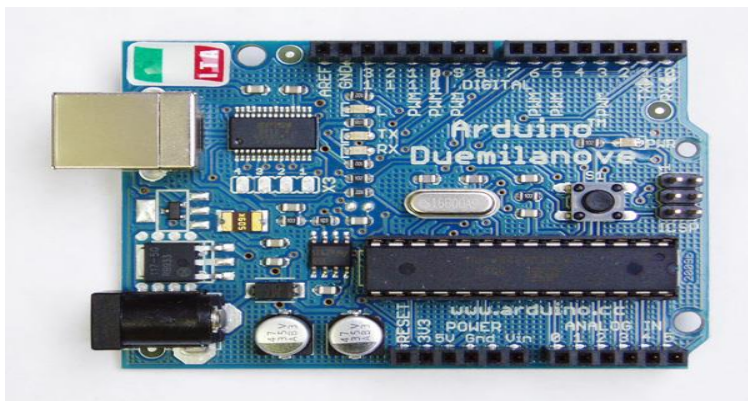


FIGURA 20 - Placa Arduino Duemilanove.
Fonte: Multilogica.com.

O Arduino Duemilanove é uma plataforma de prototipagem desenvolvida em uma placa única baseada no microcontrolador ATmega 328 (8 bits), especificado na Tabela 2.

No projeto desenvolvido, os dados gerados estão armazenados em um cartão SD e transmitidos através do rádio IEE 802.15.4, em topologia estrela, no modo *broadcast*.

Tabela 2: Características técnicas do Arduino Duemilanove.

REQUISITOS	ESPECIFICAÇÕES
Voltagem operacional	5V
Voltagem de alimentação	7-12V
Voltagem de alimentação (limites)	6-20V
Pinos I/O digitais	14 (6 podem ser saídas PWM)
Pinos de entrada analógica	6
Corrente contínua por pino I/O	40 mA
Corrente contínua para o pino 3.3V	50 mA
Memória flash	32 KB (2KB para o bootloader)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB

3.3 Definições do módulo de leitura e gravação de cartões SD.

O Módulo para leitura e gravação de cartões SD, Figura 21, foi escolhido por ser equipado com RTC acoplado, além de uma pequena área disponível para prototipagem. Este *shield* comunica-se com o Arduino via SPI (SPI – *Serial Peripheral Interface*) e o RTC (*Real Time Clock*), utilizando um barramento I2C. O esquemático do dispositivo e de suas conexões com o Arduino compõem o Anexo 1 deste trabalho.

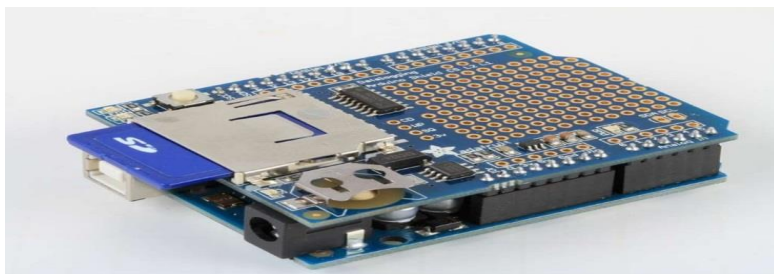


FIGURA 21 - Módulo de RTC e R/W SD CARD. Fonte: Adafruit.com.

3.4 Definições dos módulos de comunicação

A opção de utilização de rádios *Xbee Shield*, Figura 22, atende ao projeto principalmente pelas seguintes características:

- Alcance relativamente grande (50 a 100m);
- Baixo custo;
- Baixo consumo.

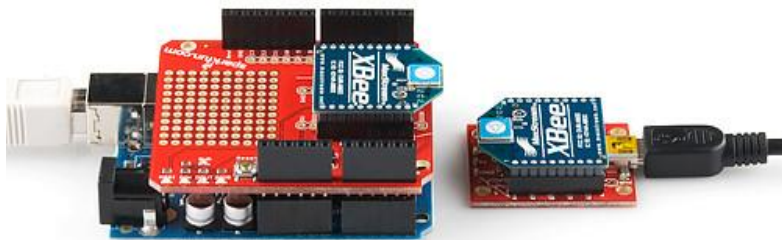


FIGURA 22 - Xbee Shield (end device) e Xbee explorer (coordinator).
Fonte: Sparkfun.com.

O modelo de rede proposto nesse trabalho limita-se as funcionalidades de uma rede padrão IEEE 802.15.4, não sendo implementado o modo API característico de rede *ZigBee*. Optou-se por estruturar uma rede estrela em modo *broadcast*.

Esta topologia em estrela (*star*), é a rede de implementação mais simples, sendo composta por um nó coordenador (*coordinator*) e até 65535 nós terminais (*endpoint*). Toda a comunicação é gerida pelo nó coordenador, entretanto esta topologia deve ser implementada em locais que não ofereçam muitos obstáculos à transmissão e recepção.

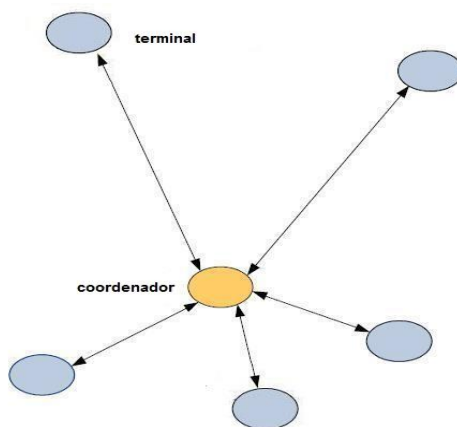


FIGURA 23 - Topologia de rede estrela.

Conforme a ilustração da Figura 23, o coordenador assume o controle da rede, fazendo a comunicação direta com todos os dispositivos. Nesta topologia toda a informação transmitida tem que chegar ao nó central (coordenador).

No projeto utilizou-se um kit de desenvolvimento do fabricante Sparkfun, composto por:

- 01 Xbee shield;
- 01 Xbee explorer;
- 02 módulos Xbee serie 1.

a) Xbee Shield

O *Xbee Shield* é o módulo que permite a conexão do rádio *Xbee serie 1* com o Arduino, apresentando uma chave que permite a utilização da porta serial padrão do Arduino (D0 e D1) ou quaisquer outros pinos digitais, possuindo ainda:

- ✓ Regulador de tensão de 3,3V;
- ✓ Área de prototipagem de 9X11(grade de 0.1”);
- ✓ Botão de *reset*;
- ✓ LEDs para indicar atividade e potência do sinal.

No Quadro 4 descreve-se as características técnicas do dispositivo. O diagrama esquemático do *Xbee shield* compõe o Anexo 2 deste trabalho.

**QUADRO 4- Características técnicas do rádio Zigbee.
Fonte: Digi.com.**

Specification	XBee
Performance	
Indoor/Urban Range	Up to 100 ft (30 m)
Outdoor RF line-of-sight Range	Up to 300 ft (90 m)
Transmit Power Output (software selectable)	1mW (0 dBm)
RF Data Rate	250,000 bps
Serial Interface Data Rate (software selectable)	1200 bps - 250 kbps (non-standard baud rates also supported)
Receiver Sensitivity	-92 dBm (1% packet error rate)
Power Requirements	
Supply Voltage	2.8 – 3.4 V
Transmit Current (typical)	45mA (@ 3.3 V)
Idle / Receive Current (typical)	50mA (@ 3.3 V)
Power-down Current	< 10 μ A
General	
Operating Frequency	ISM 2.4 GHz
Dimensions	0.960" x 1.087" (2.438cm x 2.761cm)
Operating Temperature	-40 to 85° C (industrial)
Antenna Options	Integrated Whip Antenna, Embedded PCB Antenna, U.FL Connector, RPSMA connector

b) Xbee Explorer

O *Xbee Explorer* é o nó coordenador que deve estar ligado à porta serial do computador que receberá os dados enviados, conforme o modelo de comunicação proposto. Este módulo apresenta:

- ✓ Conversor FT231X (USB X Serial);
- ✓ Regulador de tensão 3,3v;
- ✓ LEDs para indicar atividade de comunicação serial e sinal de rádio.

c) Rádio Xbee Serie 1

É um módulo de rádio de 2,4GHz fabricado pela empresa Digi. Além de atender ao padrão IEEE 802.15.4, possui funções avançadas (ZigBee), que são configuráveis no modo API, não aplicados neste trabalho.

As características do rádio são apontadas a seguir:

- ✓ 3.3V e 50mA;
- ✓ Taxa de dados máxima 250kbps;
- ✓ Saída 1mW (+ 0dBm);
- ✓ Alcance de 100m;
- ✓ 6 pinos de entrada ADC (10 bits);
- ✓ 8 pinos de IO digitais;
- ✓ Criptografia de 128 bits;
- ✓ Configuração local ou remota;
- ✓ Antena em circuito impresso.

3.5 Configurações dos nós da rede:

Para configuração dos módulos de rádio, Figura 24, utilizou-se o programa disponibilizado pelo fabricante X-CTU (V5.2.8.6).

Neste modelo de rede foram configurados dois nós terminais (*endpoints*) conectados a dois *smart meters* e um módulo coordenador, conectado a um computador. Os dois módulos terminais enviam dados para o coordenador que recebe estas informações e as imprime na serial utilizada.

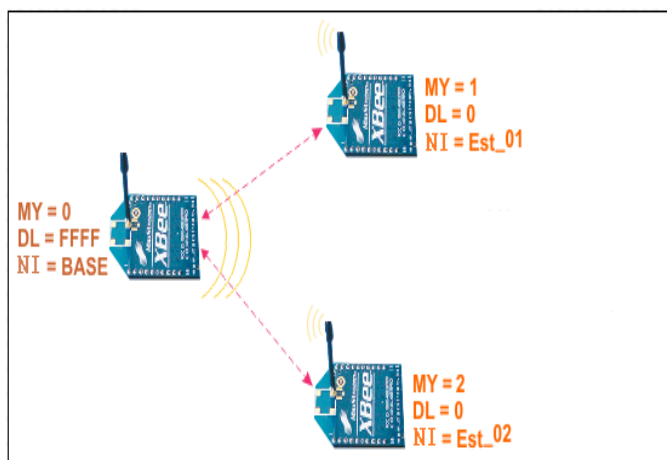


FIGURA 24 - Modelo de configuração dos módulos Xbee.

O Coordenador deve ser configurado conforme a Figura 25, na tela de configuração do *X-CTU Modem Configuration*.

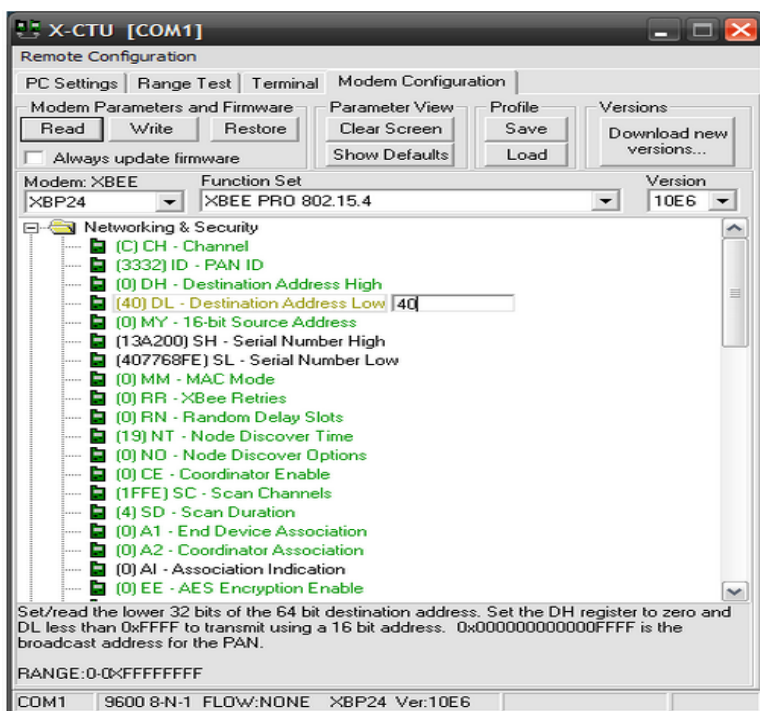


FIGURA 25 - Tela de configuração do X-CTU.

MY – 16 Bit *Source Address*, nomeado em Hexa, é o endereço da base, este é um endereço único para cada nó.

DL – Neste campo utilizaremos o valor “FFFF” indicando uma comunicação *broadcast* entre os nós.

NI- Neste campo utilizou-se uma *string* que idêntica o nó na rede, o seu nome.

Como este modelo de rede opera em modo transparente, não é necessário configurar nenhum outro parâmetro

Com esta configuração, o que for impresso na serial dos módulos remotos (*endpoints*) será enviado para a serial do módulo coordenador conectado ao computador.

3.6 Desenvolvimento do *firmware*

Com o *hardware* definido, definiu-se as especificações do *firmware*: entradas, saídas, tipos de sinais que serão tratados nas interfaces com o usuário etc.

O sensor de efeito Hall envia um sinal quadrado que poderá ser tratado em uma porta digital do microcontrolador. O sensor resistivo, que apenas registra a duração de eventos, baseia-se em um transistor BC547, utilizado como chave.

A princípio, o sinal gerado poderia ser tratado em uma entrada digital, porém durante os testes verificou-se que o sinal gerado oscilava em função do fluxo de água através dos eletrodos, podendo gerar mudança de estado na entrada digital. Assim, optou-se por uma entrada analógica que faz a análise do sinal de entrada em função de um valor de referência. O registro da data de ocorrência de cada evento foi possível com a incorporação de um *Real Time Clock* (RTC), um módulo de leitura, a gravação de cartões SD e um Xbee Shield, adicionados ao projeto para registro de dados e envio dos mesmos, via RF, para um concentrador.

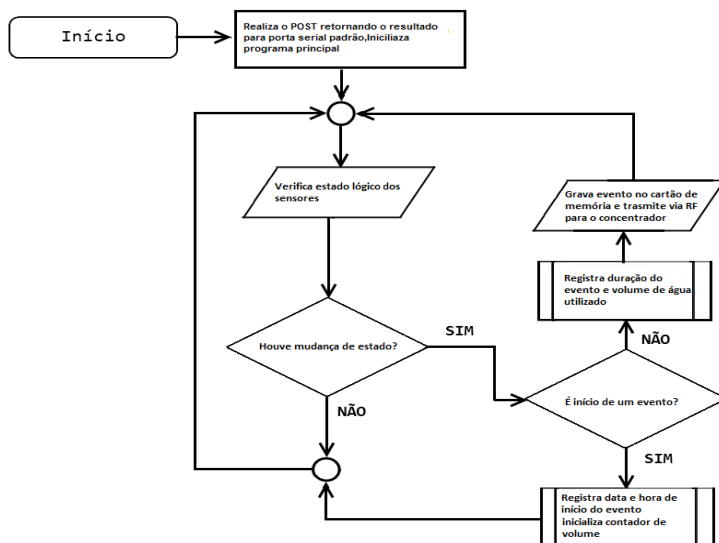


FIGURA 25 - Fluxograma de operação do *smart meter*.

Na Figura 25 apresenta-se o fluxograma simplificado do algoritmo desenvolvido para o *smart meter*.

Utilizou-se o ambiente de desenvolvimento do Arduino

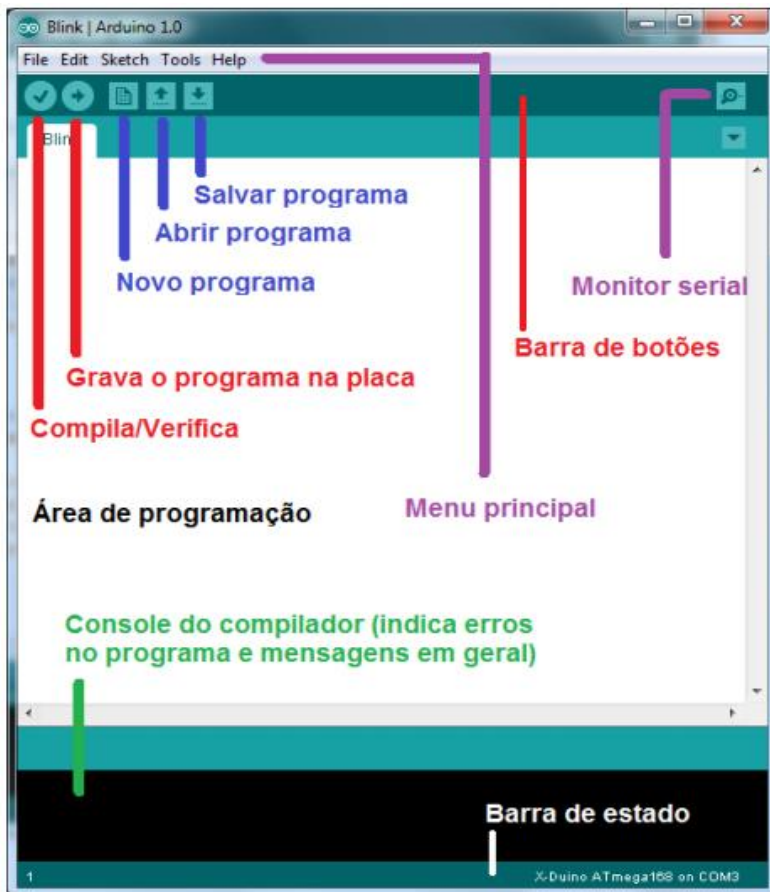


FIGURA 26 - Tela principal do Ambiente de desenvolvimento.

(Versão 1.0.5) como ferramenta de desenvolvimento, Figura 26, por tratar-se de um compilador GCC (C e C++), com interface gráfica desenvolvida em Java. Esta ferramenta está disponível em www.arduino.cc.

No início do desenvolvimento do *firmware* preocupou-se com a forma de interação com usuário, por se tratar de um equipamento específico para pesquisa não julgou-se necessário a utilização de *LEDs* de sinalização, além do *LED* de *power-on*.

Programou-se a inicialização do *smart meter*, Figura 27, para executar um POST (Power-on self-teste), onde é verificado o cartão de memória SD e o módulo *Xbee shield*. Ao término do teste, o programa imprime na serial principal o resultado. Caso ocorra alguma falha, tanto no cartão quanto no rádio. Se não houver alguma anomalia é impressa a data e hora do sistema com uma mensagem de módulo inicializado.

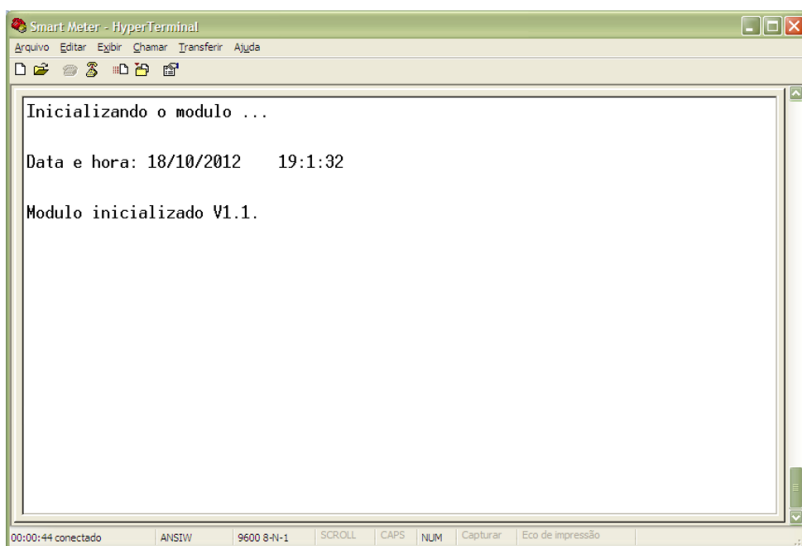


FIGURA 27 - Tela de inicialização do *smart meter*.

O relógio do sistema pode ser configurado pelo usuário através da porta serial, durante os primeiros 30 segundos de inicialização. Nesse período o *firmware* aguarda um comando específico para ajuste do RTC. Este comando consiste na data no formato *Unix Time stamp* precedida da letra “T”.

O *Unix time stamp* é uma representação criada para facilitar as operações aritméticas que são efetuadas com datas pelos sistemas computacionais. Esta representação consiste em

apresentar a data no formato de segundos apenas, o marco inicial desta contagem que é 01/01/1970 às 00:00:00.

Existem programas que podem ser adquiridos gratuitamente, que convertem a data indicada para o formato *Unix Time Stamp*. Quando o usuário envia um comando de ajuste de hora, dentro dos 30 segundos iniciais o relógio do sistema é ajustado e após este tempo o POST é finalizado, exibindo a palavra *time*, indicando que o relógio foi ajustado.

A ideia inicial consistia em desenvolver um programa específico, utilizando a linguagem de programação C ou Java, onde o usuário acessaria um terminal serial e um botão para sincronizar o RTC do *smart meter* com o relógio do computador. Esta ideia não foi implementada, pois não seria possível concluir este programa dentro do prazo previsto.

3.7 O protótipo

O protótipo desenvolvido, Figura 28, apresenta duas entradas para sensores do tipo resistivo e duas entradas para o sensor de efeito Hall. Cada sensor resistivo utiliza uma entrada analógica. Com este microcontrolador tem-se o limite máximo de seis entradas analógicas que podem ser utilizadas para este fim.

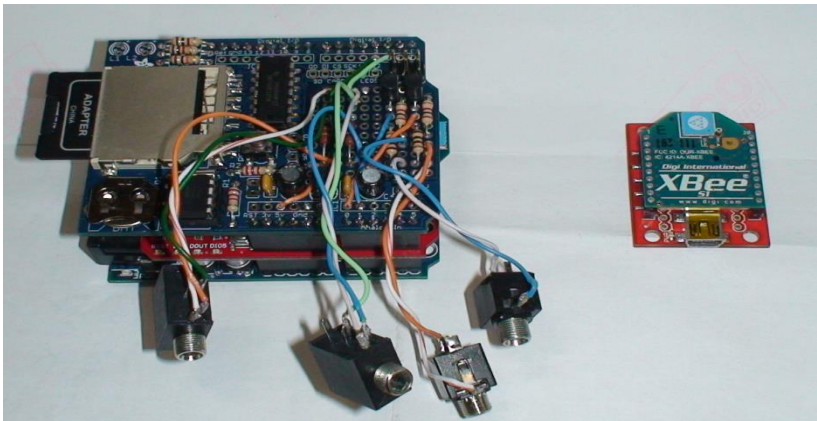
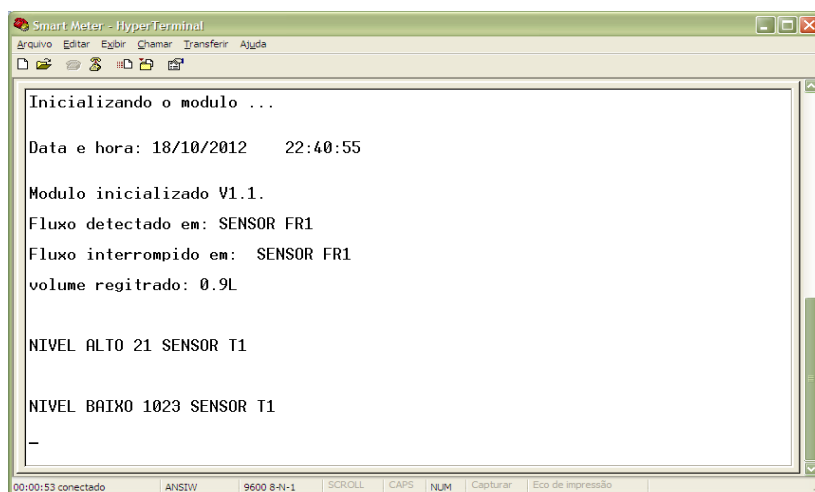


FIGURA 28 - Protótipo montado com módulo coordenador a direita

O sensor de efeito Hall está conectado à porta digital que habilita uma interrupção externa por borda de subida. Optou-se por utilizar apenas as interrupções externas, pois são as únicas que possuem endereço fixo na memória de programa, o que facilitou o tratamento dessas interrupções.

3.8 Controle do protótipo

Durante o procedimento de instalação do *smart meter*, pode-se verificar, conforme a Figura 29, o funcionamento dos sensores através da saída serial que retorna algumas informações referentes aos eventos registrados durante os testes de funcionamento.



```
Smart Meter - HyperTerminal
Arquivo Editar Exibir Chamar Transferir Ajuda

Inicializando o modulo ...

Data e hora: 18/10/2012 22:40:55

Modulo inicializado V1.1.
Fluxo detectado em: SENSOR FR1
Fluxo interrompido em: SENSOR FR1
volume regitrado: 0.9L

NIVEL ALTO 21 SENSOR T1

NIVEL BAIXO 1023 SENSOR T1
-

00:00:53 conectado ANSIW 9600 8-N-1 SCROLL CAPS NUM Capturar Eco de impressão
```

FIGURA 29 - Saída serial de eventos registrados pelo smart meter.

Na implementação dos métodos de leitura e escrita do cartão de memória utilizou-se a biblioteca *SD.h*, que é uma biblioteca disponibilizada com a plataforma de desenvolvimento do Arduino.

Os eventos de consumo de água ficam registrados em um arquivo com extensão csv, compatível com os programas de tratamento de planilhas existentes no mercado.

Sempre que o sistema inicializa, verifica a existência do arquivo log.csv, Figura 30. Caso não seja localizado algum arquivo com este nome no cartão de memória, o sistema está programado para gravá-lo novamente.

	A	B	C	D	E
1					
2	FR1	0.2	22:38:39	18/10/2012	00:00:02
3	FR0	0.13	22:38:55	18/10/2012	00:00:02
4	FR1	0.9	22:39:12	18/10/2012	00:00:02
5	FR0	0.1	22:39:43	18/10/2012	00:00:03
6	FR1	0.9	22:41:13	18/10/2012	00:00:02
7	T1		22:41:29	18/10/2012	00:00:02
8	FR1	0.13	22:41:52	18/10/2012	00:00:02
9	FR0	0.9	22:41:51	18/10/2012	00:00:04
10					

FIGURA 30 - Arquivo log.csv gravado pelo smart meter.

O *smart meter* foi testado com cartões de 8GB, que possibilita a gravação de aproximadamente 222.000 eventos de consumo.

Escreveu-se o programa de forma a finalizar cada evento em 24 horas, ou seja, se o sensor estiver monitorando uma torneira e ela não for fechada, quando o evento completar 24 horas será finalizado e outro evento será iniciado na sequência, ficando evidente que o dispositivo não foi fechado.

Adotou-se esta forma para evitar problemas com o tamanho das variáveis. Assim, na pior das hipóteses, se o sensor trabalhar com o fluxo máximo de 30L/min ter-se-á em 24 horas, aproximadamente 810.000 pulsos contados, o que não extrapolará o tamanho máximo desse tipo de variável (*unsigned Int*).

Um importante diferencial do protótipo desenvolvido é o registro de dados por evento e não por intervalos regulares de tempo.

Na Figura 31 é possível comparar algumas características do protótipo desenvolvido com dois produtos disponíveis no mercado nacional.

FORNECEDOR A Utiliza sensor T-Minol-130	FORNECEDOR B Utiliza sensor SIGNET 2100	PROTÓTIPO Utiliza sensor YIFA HF21
<p style="text-align: center;">Data <u>Logger</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • 4 canais de leitura com possibilidade de expansão; • Memória: 512k bytes, permite ate 400.000 medições; • Período de coleta de dados de 1s até 18 horas; • Dimensões: 8,9 x 11,4 x 5,4 cm; • Peso: 360g ; • Vida útil da bateria: 1 ano. 	<p style="text-align: center;">Data <u>Logger</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • 2 canais de leitura ; • Memória: necessário aquisição de módulo registrador de dados(Transmissor IR) e software para coleta de dados; • 200 dias para uma coleta semanal com intervalo de aquisição de 5 minutos; • Dimensões: 9,6 x 9,6 x 1,23 cm; • Peso: não informado ; • Alimentação 5 - 24 V . 	<p style="text-align: center;">Data <u>Logger</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • 2 canais de leitura com possibilidade de expansão; • Memória: 2GB, permite ate 222.000 medições; • Coleta por evento; • Dimensões: 7 x 8,4 x 3,3 cm; • Peso: 270g; • Alimentação 5 - 24 V .
<p style="text-align: center;">SENSOR</p> <ul style="list-style-type: none"> • Faixa de medição: 1- 84 L/min; • Alimentação: (mecânico); • Erro: 3%; • Dimensões: (13 X 6 X 8)cm; • Socket de Rosca de ½' ; • Peso: 600g . 	<p style="text-align: center;">SENSOR</p> <ul style="list-style-type: none"> • Faixa de medição: 0.38 – 3.8 L/min; • Alimentação: 5-24V @ 1.5mA; • Erro: 3%; • Dimensões: (13,2 X 4,7)cm; • Socket de Rosca de ½' ; • Peso: 151g . 	<p style="text-align: center;">SENSOR</p> <ul style="list-style-type: none"> • Faixa de medição: 1 – 30 L/min; • Alimentação: 5-24V @ 10mA; • Erro: 3%; • Dimensões: (5,6 X 3,3)cm; • Socket de Rosca de ½' ; • Peso: 95g . 

FIGURA 31 - Comparativo entre dois produtos de mercado e o protótipo desenvolvido.

3.9 Custo do projeto

Os custos envolvidos neste projeto referem-se a aquisição de componentes e kits de desenvolvimento conforme o Quadro 5.

QUADRO 5 – Lista de custo de componentes.

Item	Descrição	Quantidade	Preço(R\$)
Arduino 2009	Kit de prototipagem microcontrolado	2	120
Transistor BC547	Chave para sensor resistivo	4	1
Resistores	Circuito chaveador	8	2
Conectores Jack2	Conectar sensores	8	16
Conectores p2	Conectar sensores	8	16
kit leitor de cartão	Gravar dados de consumo	2	130
kit Xbee	Transmissão de dados	1	200
Cartão de memória (2GB)	Gravar dados de consumo	2	30
Sensor de efeito Hall	Deteção de fluxo	2	60
Sensor resistivo	Registrar tempo de consumo	2	30
Total	–	35	R\$ 605

QUADRO 6 – Custo x Preço.

FORNECEDOR A	FORNECEDOR B	PROTÓTIPO
<ul style="list-style-type: none"> • Unidade multi-parameter série 3-8900 • Placa Alimentação • Placa /Entrada/Saída • Sensor de Vazão • Socket de Rosca • Registrador de Dados • IR LINK + Software 	<ul style="list-style-type: none"> • H21-002 / datalogger de armazenamento de dados • T-minol-130 / sensor medidor de vazão de água • Bhw-pro-cd / software para análise de dados 	<ul style="list-style-type: none"> • Arduíno 2009 • Transistores • Conectores Jack 2 • Conectores P2 • Kit leitor de cartão • Kit Xbee • Cartão de memória • 02 sensores de fluxo de efeito Hall • 02 sensores resitivos
<p style="text-align: center;">Preço final R\$6.715,00 + 5% de IPI</p>	<p style="text-align: center;">Preço final R\$ 2.920,00</p>	<p style="text-align: center;">Custo de materiais: R\$ 605,00</p>

No quadro seis apresenta-se o preço final de dois produtos similares (A e B) existentes no mercado nacional e o custo de desenvolvimento do protótipo.

É necessário um levantamento detalhado dos custos envolvidos na produção em larga escala do *smart meter*, tais como processo de certificação e custos na confecção de molde para o gabinete, porém com um custo de desenvolvimento de protótipo na faixa de R\$600,00, acredita-se que seja possível produzir, em larga escala, um equipamento com preço final que seja competitivo no nosso mercado.

4 RESULTADOS

Os testes foram executados em ambiente doméstico, objetivando a validação do funcionamento de todo o conjunto.

Utilizou-se para os testes o seguinte material:

- 01 balde de 18L;
- 01 balança;
- 01 cronômetro;
- 01 sensor de fluxo;
- 01 sensor resistivo de bacia sanitária
- 01 *smart meter*;
- 01 computador para receber os dados transmitidos via RF.

Na Figura 32 verifica-se a instalação do sensor de fluxo na entrada do chuveiro utilizado para testes.



FIGURA 32 - Sensor conectado à entrada do chuveiro.

4.1 Metodologia de testes

O objetivo do teste foi verificar a precisão dos dados registrados pelo *smart meter* em um ambiente doméstico, fazendo a micromedição de consumo, simulada na faixa de vazão operacional do sensor de fluxo (01L/min - 30L/min), em um chuveiro tipo ducha.

A metodologia do teste consistiu em abrir a ducha por um período de tempo que variou entre 50 segundos a 3 minutos, anotando-se o tempo de escoamento e o volume de água utilizado. O volume coletado foi pesado em uma balança de precisão (três dígitos de precisão) e os dados comparados com os registros no *smart meter* e estão tabelados na Figura 33.

Optou-se por pesar o volume de água coletado em cada teste por dificuldade na medição do volume ocasionada pela falta de equipamento volumétrico de precisão (proveta graduada). O peso da água coletada em cada evento aumentou a confiabilidade das medidas efetuadas, uma vez que seriam coletados volumes de até 16L.

Na realização de cada experimento foram necessárias três pessoas com funções distintas, descritas a seguir:

- 1- Controlador do registro do chuveiro e de pesar o volume de água do balde a cada experimento;
- 2- Controlador do cronômetro na determinação do tempo de escoamento;
- 3- Apontador dos dados mensurados.

Considerou-se, para efeito de cálculo, a densidade da água igual a 1g/cm^3 (1Kg igual 01L de água) e descontou-se o peso do balde (435g).

Evento	Eventos mensurados			Eventos registrados (FR1)			Erro (%)		
	Duração	Peso (Kg)	Vazão(L\min)	Duração	Volume(L)	Vazão(L\min)	Duração	Volume	Vazão
1	00:01:30	14,365	9,577	00:01:32	13,900	9,065	-2%	3%	5%
2	00:01:30	14,346	9,564	00:01:34	13,910	8,879	-4%	3%	7%
3	00:01:00	18,348	18,348	00:01:02	17,760	17,187	-3%	3%	6%
4	00:00:50	15,271	18,325	00:00:54	14,850	16,500	-8%	3%	10%
5	00:00:50	15,237	18,284	00:00:54	14,790	16,433	-8%	3%	10%
6	00:03:00	0,998	0,333	Não registrou			Vazão abaixo da precisão		
7	00:01:00	4,285	4,285	00:01:04	4,180	3,919	-7%	2%	9%
8	00:02:00	4,457	2,229	00:02:02	4,210	2,070	-2%	6%	7%
9	00:01:30	3,507	2,338	00:01:32	3,300	2,152	-2%	6%	8%
10	00:01:30	3,909	2,606	00:01:32	3,700	2,413	-2%	5%	7%

FIGURA 33 - Tabela de testes com smart meter.

As diferenças entre os valores registrados no *smart meter* e os valores calculados mantiveram-se dentro da margem de erro especificada pelo fabricante do sensor (3%), para vazões entre, aproximadamente, 20L/min e 3L/min. Abaixo da vazão de 3L/min o erro aumenta, chegando a 6%.

Descartando-se os erros operacionais e considerando-se que os testes estão em reprodutibilidade (operadores diferentes e mesmos materiais (cronômetro, balde e chuveiro)), conclui-se que existe um desvio padrão que aumenta à medida que a vazão diminui, de forma que é possível melhorar a precisão do equipamento, aplicando-se um fator de correção por faixa de vazão, procedimento a ser implementado no *firmware* do dispositivo.

Outra questão verificada foi a diferença de dois ou quatro segundos, entre os tempos medidos e os tempos registrados pelo *smart meter*. Essas diferenças de tempo ocorreram devido a pausa existente no programa (um segundo por varredura).

O Algoritmo impõe uma pausa de um segundo após a verificação de cada sensor, supondo-se que um evento seja iniciado milésimos de segundo após ao início da primeira pausa, este evento só será registrado após o término do loop de verificação dos sensores, como são dois sensores haverá uma diferença de dois segundos no registro do início do evento. O mesmo erro ocorre ao término do evento, que só será registrado após o término do loop de verificação, justificando-se assim a diferença de dois ou quatro segundos.

A solução encontrada foi diminuir esta pausa para 136ms (limite de 8MHz na frequência mínima do sensor), de forma que a maior diferença de tempo entre valores mensurados e os registrados será de 544ms. Observa-se que este é outro fator limitante à inclusão de mais sensores de fluxo, visto que o algoritmo necessita de um tempo mínimo para determinar se o fluxo foi interrompido em cada sensor.

Um segundo tipo de teste foi deixar um sensor resistivo na bacia sanitária durante 24 horas. Após este período verificou-se alguns registros incomuns para este tipo de dispositivo hídrico. No primeiro dia ocorreram 37 acionamentos sendo que 16 registros tinham apenas 02 segundos e dois registros apresentavam algumas horas de duração.

Após mais alguns testes e análise minuciosa do sistema, constatou-se que o sensor estava fora da posição correta. Na posição em que fora instalado não havia fluxo de água constante sobre os eletrodos, para corrigir este problema o sensor foi reposicionado e fixado com fita adesiva.

No caso de medidas mais longas, verificou-se problema com a distância entre as placas metálicas. Em alguns casos uma gota d'água continuava conectando as duas placas e fornecendo um sinal de ativação do sensor. Este problema foi corrigido aumentando-se a distância entre as placas e isolando-se as bordas com tinta esmaltada.

Com relação a transmissão de dados não verificou-se falhas. Durante os testes o sensor do chuveiro também estava conectado e enviou informações de consumo pela rede RF.

Os testes iniciais demonstraram que o equipamento funciona conforme o esperado, além da confiabilidade dos resultados. O modelo de rede proposto mostrou-se eficaz para transmissão de dados em ambientes residenciais.

Com relação ao *firmware*, neste modelo proposto só é possível utilizar o sensor de efeito Hall de $\frac{1}{2}$, pois o cálculo do volume monitorado é feito no próprio algoritmo.

Uma outra proposta seria efetuar o cálculo fora do sistema, configurando-se o módulo para registrar apenas os pulsos e desenvolvendo-se uma *interface web* que faça o cálculo de acordo com a bitola do sensor informado, pois cada sensor tem uma constante de vazão diferente.

5 CONCLUSÕES

O desenvolvimento de equipamentos para micromedição de água e também energia é algo necessário atualmente, a demanda por este tipo de equipamento existe e o protótipo desenvolvido neste trabalho ratifica a possibilidade de concorrer em um mercado que está iniciando.

Durante os testes finais do protótipo obteve-se resultados que demonstram o potencial deste equipamento que é capaz de gravar e transmitir dados referentes a eventos de consumo de água. Os testes realizados demonstraram a precisão do equipamento que operou com uma margem de erro de 6%, sendo possível reduzir o erro para menos de 3% através da implementação de um fator de correção por *software*.

O modelo proposto para transmissão de dados através de uma rede de comunicação IEEE 802.15.4, funcionou conforme planejado, configurando-se como uma perspectiva promissora ao desenvolvimento de equipamentos específicos para pesquisa, onde a coleta de dados em tempo real seja um fator determinante. Verificou-se que é possível adotar o protocolo de comunicação ZigBee, o que trará ao projeto uma série de vantagens, pois operando no modo API, será possível controlar vários parâmetros da rede, além da possibilidade de criptografar os dados enviados, agregando-se segurança ao projeto.

Durante o desenvolvimento deste trabalho observou-se a potencialidade de novas pesquisas, objetivando o desenvolvimento de sensores mais precisos e econômicos.

Percebe-se que a tecnologia ultrassom poderá ser capaz de reduzir os erros de leitura para aproximadamente 0,5%. Do mesmo modo, outra possibilidade de pesquisa poderia ser o desenvolvimento de sensores capazes de gerar a própria energia consumida, a partir do fluxo do líquido monitorado. Aliado ao uso de baterias, torna-se possível a utilização de um rádio em cada sensor, eliminando-se as conexões com fio entre os sensores e o concentrador e otimizando o procedimento de instalação do sistema de micromedição.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARONTI, Paolo; PILLAI, Prashant.; CHOOK, W. C.; CHESSA, Stefano; GOTTA, Alberto; HU, Y.F. **Wireless sensor networks: A survey on the state of the art and de 802.15.4 and ZigBee standards**. Artigo publicado em Journal Computer Communications volume 30 páginas 1655-1695 em 2007. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1238310>. Acesso em: 10 mar. 2014.

EKANAYAKE, Janaka; JENKINS, Nick; LIYANAGE, Kithsiri; WU, Jianzhong. **Smard Grid Technology and Applications**. 1. ed. Reino Unido: Wiley, 2012. 293p.

FARAHANI, Shahin. **ZigBee Wireless Network and Transceivers**. 1. ed. Burlington: Newnes, 2008. 360p.

GERWEN, Rob van; JAARSMA, Saskia; WILHITE, Rob; KEMA, **Smart Metering**. Disponível em: https://www.idc-online.com/technical_references/pdfs/electrical_engineering/Smart_Metering.pdf. Acesso em: 16 Mar. 2014.

HEATH, Steve, **Embedded System Desing**. 2. Ed. Burlington: Newnes, 2003. 430p.

LI, Qing; YAO, Caroline. **Real time concept for embedded systems**. 1. ed. São Francisco: CMP Books, 2003. 320p.

MARWEDEL, Peter. **Embedded System Desing**. 2. ed. Holanda: Springer, 2010. 409 p.

RODRIGUES, Luiz Carlos Sales. **Avaliação da eficiência de dispositivos economizadores de água em edifícios residenciais em Vitória - ES**. 2005. 195 f.. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

TEIXEIRA, Luiz Marcelo **Desenvolvimento de uma aplicação com o protocolo ZigBee aplicado em instrumentação de ensaio de vôo**. 2006 162f. Dissertação (Mestrado Acadêmico) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica.

VIEIRA, Abel Silva. **Uso racional de água em habitações de interesse social como estratégia para a conservação de energia em Florianópolis, Santa Catarina**. 2012 172 f.. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil) – Faculdade de Engenharia ambiental e sanitária, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

WOLF, Waine. **Computers as components – Principles of Embedded Computer System Desing**. 1. Ed. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2001. 544p.

ZIGBEE ALLIANCE, **ZigBee Specification**. Disponível em <http://www.ZigBee.org>. Acesso em: 20 Ago. 2014.