

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**TALLES BARBOSA PORTILHO**

**PROJETO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO  
POR AQUISIÇÃO DE DADOS E TELEMETRIA NO  
SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

**VIÇOSA  
2013**

**TALLES BARBOSA PORTILHO**

**PROJETO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO  
POR AQUISIÇÃO DE DADOS E TELEMETRIA NO  
SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 490 - Monografia e Seminário e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Ds. Denilson Eduardo Rodrigues

VIÇOSA  
2013



**TALLES BARBOSA PORTILHO**

**PROJETO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO POR  
AQUISIÇÃO DE DADOS E TELEMETRIA NO SISTEMA DE  
ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 490 - Monografia e Seminário e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 2 de setembro de 2013.

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Prof. Ds. Denilson Eduardo Rodrigues - Orientador  
Universidade Federal de Viçosa

---

Prof. Ds. André Gomes Torres - Membro  
Universidade Federal de Viçosa

---

Msc. Andre Luís Carvalho Mendes - Membro  
Universidade Federal de Viçosa

*Dedico este trabalho às pessoas que lutam de maneira justa e dão o seu melhor para alcançar seus objetivos.*

# *Agradecimentos*

Agradeço a Deus pelas oportunidades e pessoas que fazem parte da minha história.

Aos meus pais, Mizac e Clélia, agradeço pela confiança e incentivo durante toda minha graduação, à minha irmã Géssica, amigos e familiares que sempre trouxeram palavras amigas e de apoio.

À minha namorada Natália pelo companheirismo, incentivo e revisão de textos.

Agradeço ao SAAE de Viçosa, ao Eduardo e amigos do estágio, pelo suporte e pela oportunidade de desenvolvimento deste projeto.

Ao professor Denilson, pela disponibilidade e orientações na execução deste trabalho.

*“O único modo de escapar da corrupção causada pelo sucesso  
é continuar trabalhando.”*

***Albert Einstein***

# *Resumo*

O monitoramento de sistemas e processos, por intermédio de unidades computacionais, gerou elevado desenvolvimento do setor industrial, de um modo geral, aumentando a produção e qualidade, entre outros benefícios.

Este trabalho tem como objetivo demonstrar as etapas para o desenvolvimento de um projeto para o monitoramento por telemetria e datalogger, de um ponto de vazão e pressão no sistema de abastecimento de água, sendo o local de responsabilidade do SAAE de Viçosa/MG.

O equipamento é constituído de duas unidades, uma de aquisição e transmissão de dados, outra de recepção e visualização. A primeira unidade, por meio de transdutores de pressão e vazão, fornecerá sinais para que um microcontrolador possa manipulá-los, e em seguida armazenar os dados em uma memória SD com as respectivas datas com o auxílio de um relógio digital. Os mesmos dados armazenados no SD serão transmitidos por radio frequência (RF) utilizando-se de um módulo Zigbee.

Como na primeira, a segunda unidade é composta por um Zigbee, este recebe os sinais via RF, repassa-os ao microprocessador que mostra em um display.

Como resultado verificou-se o funcionamento da comunicação com o relógio digital, a comunicação entre os microcontroladores, e ainda aquisição dos dados de pressão com boa precisão, entretanto a leitura da vazão necessita de alguns ajustes. A comunicação com o cartão SD não foi verificada ao final do projeto mas foi discutida, gerando um facilitador para trabalhos futuros.



# *Sumário*

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>8</b>
1.1	Instrumentação . . . . .	9
1.1.1	Transdutores de Pressão . . . . .	10
1.1.2	Transdutores de Vazão . . . . .	11
1.2	Microcontrolador . . . . .	12
1.3	Conversor Analógico-Digital . . . . .	12
1.4	Temporizadores . . . . .	13
1.5	Comunicação . . . . .	13
1.5.1	Comunicação Serial Assíncrona . . . . .	13
1.5.2	Comunicação $I^2C$ . . . . .	14
1.5.3	Comunicação SPI . . . . .	15
1.5.4	Transceptores sem fio . . . . .	16
1.6	Telemetria . . . . .	17
1.7	Datalogger . . . . .	17
1.8	Objetivos . . . . .	18
<b>2</b>	<b>Materiais e Métodos</b>	<b>19</b>
2.1	Descrição dos materiais . . . . .	21
2.1.1	Transdutores . . . . .	21
2.1.2	Memória SD . . . . .	21
2.1.3	Relógio Digital . . . . .	23
2.1.4	Transceptores . . . . .	23

2.1.5	Mostrador LCD alfa-numérico . . . . .	24
2.1.6	Microcontroladores . . . . .	25
2.2	Circuitos eletrônicos . . . . .	26
2.3	Programa computacional . . . . .	26
<b>3</b>	<b>Resultados e Discussões</b>	<b>31</b>
<b>4</b>	<b>Conclusões</b>	<b>34</b>
	<b>Referências</b>	<b>35</b>

# 1 *Introdução*

A água é um elemento essencial à vida, utilizada para suprir as necessidades básicas do homem, tais como uso pessoal, agrícola, industrial entre muitas outras. Com o crescente aumento da demanda por este bem e sendo que apenas 0,3% da água está disponível em locais de fácil acesso como em lagos, rios e lençóis subterrâneos pouco profundos, as pessoas vem se preocupando e desenvolvendo pesquisas em diversas áreas de conhecimentos, para que haja um melhor aproveitamento deste bem tão valioso.

A engenharia tem servido de importante base para o desenvolvimento de novas tecnologias, como o monitoramento do setor de tratamento e distribuição de água, que aliados à manutenção preventiva, pesquisa de vazamentos, entre outras práticas, tem gerado resultados surpreendentes. Enquanto o Brasil possui uma taxa média de não faturamento de água em torno de 40%, o Japão é considerado um exemplo com menos de 8% de perdas, sendo o investimento em tecnologia um dos principais fatores responsáveis pelos baixos índices [1].

O monitoramento tem sido um termo bastante utilizado, pois existe a necessidade de melhores rendimentos para aumento de produção, diminuição de gastos ou melhora na qualidade de produtos. Para isto, pode ser utilizado a telemetria, uma forma on-line de supervisionar o sistema, ou utilizando datalogger (traduzido do inglês "registrador de dados") uma maneira off-line de monitoramento.

A aplicabilidade do monitoramento no sistema de saneamento, é verificada facilmente, ao notar que funcionários possuem menos contato com áreas de risco, pois podem realizar suas atividades a distância com o auxílio da telemetria, traz praticidade e eficiência para o sistema, pois com a análise de dados coletados é possível obter informações importantes para o abastecimento de água tais como, diagnosticar pontos de aumento repentino da vazão de água, indicando assim um vazamento, máxima e mínima diária tanto da vazão quanto da pressão da água, aumento ou diminuição do consumo; determinar dias, horário e épocas de maior demanda; realizar estimativas futuras do consumo; e ainda realizar o

controle remoto de conjuntos moto-bombas, que podem ser desligadas nos horários em que as tarifas sejam mais caras, diminuindo assim o custo com funcionários e contas de energia.

Para tanto, este trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema de monitoramento de um ponto de vazão e pressão de água, localizado em uma caixa de concreto no interior do solo, na adutora que abastece o reservatório do bairro Santa Clara na cidade de Viçosa-MG.

O reservatório de Santa Clara é considerado uma área crítica no abastecimento de água do município, pois este se encontra constantemente com baixos níveis de água, em algumas épocas do ano, em dias muito quentes, pode ocorrer a falta de água em algumas residências, havendo assim, a necessidade de se ligar uma segunda bomba para aumentar a vazão, o que conseqüentemente provoca um grande aumento da pressão por conta das grandes perdas de carga na elevatória [2], fazendo com que os riscos de falhas de equipamentos se acentuem.

Para diminuir chances de degradação de equipamentos, atualmente é necessário duas pessoas para se fazer o ajuste da vazão e da pressão no local. Normalmente, um funcionário deve entrar no local da leitura da pressão e vazão, que é de difícil acesso e necessita de cuidados para que não ocorra acidentes, faz então a leitura dos dados e comunica a um outro funcionário que manuseia o registro da segunda bomba, que se encontra aproximadamente a 18 metros.

Assim a criação de um sistema de telemetria, que possa mostrar ao funcionário o valor da vazão e pressão durante a abertura da válvula seria de suma importância, pois facilitará o processo de monitoramento, e juntamente a isso agregando mais valor ao trabalho um datalogger seria adicionado ao circuito, para que os dados pudessem ser armazenados e analisados após a coleta.

## 1.1 Instrumentação

De acordo com a organização norte-americana Instrument Society of America - ISA, um instrumento industrial é todo dispositivo usado para direta ou indiretamente medir e ou controlar uma variável. No contexto deste trabalho, a instrumentação é a base do processo de monitoramento, pois é neste ponto que ocorre a transformação de grandezas físicas hidráulicas contínuas, pressão e vazão de água; em grandezas elétricas, podendo esta ser discreta ou contínua.

A conversão de energia é possível graças a utilização de transdutores que são compostos por dispositivos elétricos, eletrônicos ou eletromecânicos, mas principalmente os sensores, sendo o conjunto responsável por transformar uma forma de energia em outra, e tornar possível a medição de determinada grandeza ou mesmo otimizar seus resultados [3].

### 1.1.1 Transdutores de Pressão

A pressão é, por definição, a relação entre a força normal exercida em uma superfície e a área desta superfície, por isso, muitas vezes, os métodos de medida de pressão e de força se confundem. A pressão pode ser apresentada de duas formas, a primeira na forma de pressão absoluta, ou seja, referida à pressão zero absoluto. A outra, denominada pressão manométrica, é referida à pressão atmosférica no local da medição [3].

Para a conversão da energia mecânica gerada pela pressão, são utilizados sensores de pressão, sendo os mais utilizados:

- Capacitivos
- Piezoresistivos
- Piezoelétrico

Os sensores capacitivos são encontrados em configurações típicas, normalmente em um encapsulamento compacto contendo duas superfícies metálicas paralelas e eletricamente isoladas, uma das quais sendo um diafragma capaz de deformar a uma dada pressão aplicada. Estas duas superfícies, que se comportam como as placas do capacitor, são montadas de modo que a uma pequena flexão mecânica, causada pela aplicação de uma pressão, altera o espaço entre elas criando o efeito de um capacitor variável. A capacitância deve ser detectada por um circuito comparador bastante sensível e amplificado para sinais proporcionais de alto nível [3].

Já os sensores piezoresistivos são fabricados usando técnicas de processamento do silício, comuns na indústria de semicondutores. Por esta razão, grande parte da tecnologia dos semicondutores é empregada em sua fabricação. Este sensor parte do princípio da variação da resistência elétrica pela deformação da estrutura quando sujeita a uma força.

E por fim o material piezoelétrico, que ao sofrer uma alteração de pressão gera uma diferença de potencial, podendo então o material servir como um sensor de pressão.

### 1.1.2 Transdutores de Vazão

Devido a inexistência de sensores capazes de fazer a conversão da vazão diretamente para um sinal elétrico, então recorre-se à combinação de sensores, circuitos eletrônicos, estruturas mecânicas entre outras ferramentas que juntas constituem um aparelho capaz de mensurar a vazão e ainda gerar um sinal elétrico proporcional.

Os mais utilizados em empresas de saneamento são:

- Medidor de vazão tipo turbina
- Medidor de vazão eletromagnético
- Medidor de vazão ultra-sônico
- Calha parshall.

O medidor de vazão tipo turbina, consiste basicamente de um rotor, montado entre buchas em um eixo, que gira a uma velocidade proporcional à velocidade do fluido dentro do corpo do medidor. Um sensor eletromagnético (pick-up) detecta a velocidade de giro do rotor gerando um trem de pulsos que serão transmitidos para um indicador eletrônico que fornecerá uma leitura em vazão instantânea [4].

No medidor de Vazão Eletromagnético a força magnética fará com que o fluido condutor, antes neutro (partículas positivas e negativas misturadas), polarize-se dividindo-se em polo positivo e polo negativo. O fluido agora polarizado pelo campo eletromagnéticos, irá gerar uma corrente, que por sua vez gerará uma tensão induzida que será captada pelos eletrodos. É a partir desta indução de tensão que a medição ocorrerá, sendo que após a passagem pelo campo o fluido irá tornar-se neutro novamente [4].

Baseado no princípio de tempo de trânsito, o medidor de Vazão Ultra-sônico possui dois transdutores que são acoplados na parede externa do tubo, que emitem e recebem pulsos de ultra-som. O tempo de trajeto destes pulsos são analisados por um circuito eletrônico microprocessado que efetuará o cálculo da vazão instantânea. A instalação é efetuada de modo fácil e simples, uma vez que dispensa qualquer tipo de serviço na tubulação como seccionamento ou furação [4].

A medição de vazão em equipamentos do tipo Calha Parshall se dá através de uma relação pré-estabelecida entre a altura da lamina do fluido na calha, demonstrada por meio de escala de graduação fixada no interior da mesma, e sua vazão. Então utilizando

de sensores que possam fornecer esta altura, então obtém-se uma maneira de digitalizar esta vazão [4].

## 1.2 Microcontrolador

Um microcontrolador, possui um funcionamento muito semelhante a um computador, ambos possuem uma unidade de processamento a CPU que executa os programas, a memória Ram onde é armazenado as variáveis voláteis, a memória não voláteis de programa, entre outros periféricos de entrada e saída para a interação homem e máquina. Sendo o microcontrolador utilizados para funções específicas, e o computador de uso abrangente [5].

Entre os periféricos que usualmente compõem os microcontroladores Microchip PIC estão os temporizadores, portas de entrada e saídas digitais, contadores, comunicação serial, conversores analógicos digitais, interrupções, entre outros [6]. Juntamente com as funções citadas anteriormente, o fato de o microcontrolador ser programável trás uma versatilidade enorme, atendendo a diversas aplicações apenas implementando códigos para as funções desejadas.

Para gerar os programas internos do microcontrolador, é necessário que os códigos feitos pelo programador, utilizando as linguagens como Assembly e C sejam convertidos para a linguagem de máquina do microcontrolador utilizando programas específicos e então gravados no PIC através de um dispositivo que faça a interface entre o computador e o microcontrolador.

## 1.3 Conversor Analógico-Digital

Os sinais provenientes da natureza possuem características contínuas, quando estas grandezas são convertidas para sinais elétricos, muitas vezes são utilizados sensores que geram um sinal de corrente ou tensão proporcionais, então deve ser utilizado o conversor analógico-digital para que o microcontrolador possa interpretar estes dados, pois este utiliza somente dados digitais, ou seja discretos, internamente.

A conversão dos sinais pode ser dividida em três partes. A amostragem é a representação do sinal como uma sequência periódica pontual de valores, e quanto maior for número de amostragem no intervalo de tempo melhor será a resolução do sinal. A etapa seguinte consiste na representação aproximada do sinal por um valor, ajustando o valor

obtido na amostragem em um determinado valor, esse processo é chamado de quantização. E por fim é associado números binários à cada valor quantizado [5].

## 1.4 Temporizadores

Os temporizadores são conhecidos como timers, que são circuitos integrados que possuem clock interno, tornando possível relacionar uma dimensão real que é o tempo, com uma variável que representa o estado de um temporizador dentro de um microcontrolador que podem ser de 8 bits ou de 16bits.

Fisicamente, o temporizador é um registro cujo valor está continuamente sendo incrementado a cada ciclo de máquina até chegar ao limite do registrador, então ele começa outra vez. Existem interrupções associadas a este registro, podendo então executar um código arbitrário [7].

## 1.5 Comunicação

A transmissão de sinais na forma de ondas eletromagnéticas, ocorrem em meios guiados como par de cobre entrançado, cabo coaxial ou fibra óptica, e também em meios não guiados como o ar e o vácuo. Podem ser divididas quanto a conectividade, sendo ponto-a-ponto a ligação entre dois dispositivos, e a Multiponto, partilhado por mais de dois dispositivos. Também pode ser dividida pela direcionalidade. A Simplex, caracteriza uma comunicação unidirecional, a Half-duplex, uma comunicação bidirecional alternada e por fim a Full-duplex, comunicação bidirecional simultânea [8].

Em varias aplicações da eletrônica, principalmente em sistemas mais complexos, compostos por vários periféricos deve-se existir uma perfeita comunicação entre todos os elementos, então é necessário que existam formas e protocolos diferentes de comunicação para que se atenda à necessidades específicas da aplicação e componente utilizado.

### 1.5.1 Comunicação Serial Assíncrona

A comunicação serial assíncrona, é caracterizada por ter um sinal inicial que indica e prepara o mecanismo de recepção sobre o começo do envio, que é seguido por um byte que contém a informação que deseja ser transmitida e então um sinal que indica o final do byte enviado, que prepara o receptor para o próximo sinal.





Figura 1: Exemplo de comunicação serial assíncrona e protocolo RS-232

O padrão de comunicação RS-232, é um protocolo de comunicação serial assíncrona muito utilizado, normalmente é composto por um bit de start, 7 ou 8 bits de dados, podendo ter um bit de paridade que é utilizado para comparar com os dados recebidos diminuindo as taxas de erros de transmissão e por fim o bit stop, indicando o fim dos dados como pode ser observado na Figura 1.

A comunicação UART, abreviação do inglês que significa Universal Assíncrona Recepção e Transmissão, utiliza o protocolo RS-232 em 2 vias para se realizar simultaneamente a transmissão e recepção dos dados.

### 1.5.2 Comunicação $I^2C$

O protocolo  $I^2C$ , utiliza 2 fios e o sistema mestre escravo para realizar a comunicação entre vários dispositivos podendo chegar ao número de 127 aparelhos. Uma das linhas é conhecida como SCL, a linha do clock, a segunda linha é a SDA, linha de dados. Para que se consiga a alternância entre os estados alto e baixo nas linhas, é inserido resistências de pullup entre o terminal positivo e as linhas, o que permite que aparelhos que sejam alimentados por diferentes tensões, compartilhem as mesmas vias de comunicação como pode ser observado na Figura 2.

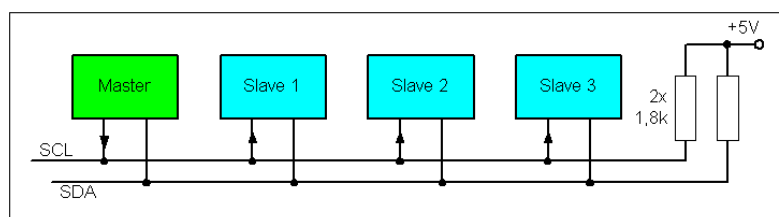


Figura 2: Exemplificação da comunicação  $I^2C$

A linha SCL, é responsável por fornecer o sincronismo entre os periféricos, quando esta se encontra em nível baixo o sinal de SDA pode ser alterado caso contrário o SDA não pode ser alterado. E somente o mestre pode colocar SCL no nível alto, todos os demais são escravos e somente podem por a linha no estado baixo.

No momento no qual não ocorre comunicação, ambas SCL e SDA ficam em estado alto. Quando a linha SCL se encontra em nível alto e a SDA sai do estado alto para o

baixo, é indicado o início de uma comunicação. Para sinalizar o fim da comunicação, a linha SDA vai para estado alto enquanto SCL, já se encontra em estado alto [9].

### 1.5.3 Comunicação SPI

A comunicação SPI, abreviação do inglês (Serial Peripheral Interface - Interface Serial Periférica), permite a comunicação serial entre dois ou mais dispositivos com grandes taxas de transferências e relativamente de fácil instalação. Devido às vantagens provenientes deste padrão, ela é bastante utilizada e pode ser encontrada em vários tipos de microcontroladores.

Esta comunicação exige a existência de um dispositivo que seja utilizado como mestre, que tem a função de controlar a frequência do clock que se encontra na barra conhecida como SCLK. Os outros componentes são escravos, controlados pelo clock do mestre.

Uma outra vantagem, é que o clock pode ser variado, pois a comunicação depende exclusivamente do clock do mestre, ideal nos caso de se utilizar o clocks com menos precisão, como o interno dos microcontroladores, ou o resistivo-capacitivo.

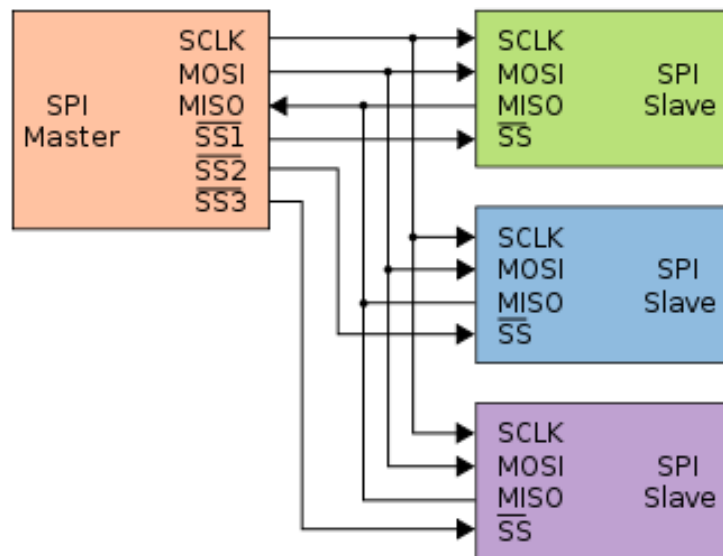


Figura 3: Exemplificação da comunicação SPI

Tanto o mestre quanto os escravos, podem se comunicar ao mesmo tempo, pois possuem duas barras para a transmissão de dados a MOSI (Master Output, Slave Input - Saída do mestre, entrada para o escravo) e a MISO (Master Input, Slave Output - Entrada do mestre, saída para o escravo), e por último a barra SS que identifica o escravo que

esta comunicando com o mestre, sendo então necessário 4 vias para que a comunicação possa ser realizada entre dois dispositivos. Uma exemplificação da comunicação pode ser visualizada na Figura 3.

#### 1.5.4 Transceptores sem fio

Os transceptores são circuitos eletrônicos responsáveis pela comunicação entre dispositivos. Estes possuem internamente transmissores e receptores, podendo assim o mesmo dispositivo ser utilizado para a transmissão e recepção de dados simultaneamente.

A comunicação sem fio traz os benefícios da mobilidade, além da versatilidade da transmissão à longa distância, sendo aplicada cada vez mais, devido à criação de transceptores completos que facilitam aplicações destinadas exclusivamente ao controle de dispositivos como relés, trancas eletromagnéticas, ventilação, aquecimento, motores, eletrodomésticos, brinquedos, aquisição de dados de sensores, como temperatura, luminosidade, umidade, pressão etc.

O padrão ZigBee, desenvolvida pela ZigBee Alliance junto ao IEEE, através da associação de várias empresas, é um tipo de rede WPAN (Wireless Personal Area Network) que usa o padrão ZigBee (IEEE 802.15.4). Os transceptores que utilizam este padrão, buscam proporcionar baixo consumo de energia, baixo custo, segurança, confiabilidade e com funcionamento em rede sem fios baseado em uma norma aberta global [10].

O ZigBee utilizado comumente no Brasil, é o mesmo utilizado nos Estados Unidos pois utiliza a frequência de 2,4 GHz, sendo esta uma frequência livre, não necessitando de licenças especiais, e ainda oferece uma excelente imunidade contra interferências e a capacidade de hospedar milhares de dispositivos em uma mesma rede. Destinado a aplicações industriais, o fator velocidade não é crítico, estando entre 20Kbps a 250Kbps [10].

No padrão ZigBee, existem três classes de dispositivos lógicos que definem uma rede:

- Coordenador ZigBee: 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 ZigBee: 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 poder ser

expandida;

- Dispositivo final ZigBee: É onde os atuadores ou sensores serão hospedados.

Que juntos podem formar redes com as topologias mostradas na Figura 4.

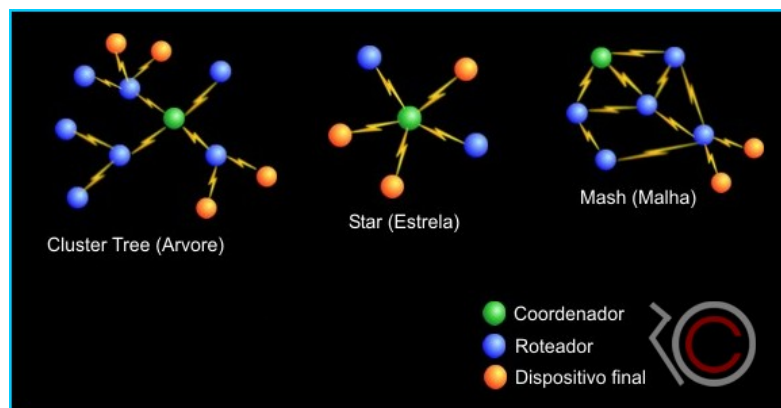


Figura 4: Topologias de redes ZigBee [10]

## 1.6 Telemetria

Telemetria é um conjunto de tecnologias e equipamentos, tais como sensores, microcontroladores, transmissores, receptores, visores, que juntos, possibilitam a aquisição de dados remotamente, e em seguida os transmitem apresentando as informações através de uma Interface Homem Máquina adequada para a aplicação, que pode ser desde um display de 7 segmentos, a um monitor de um computador.

Uma aplicação muito conhecida, são as transmissões dos dados dos sensores e transdutores dos carros de Formula 1 para os boxes (local de concentração da equipe), onde esses dados podem ser analisados instantaneamente, e ainda podem gerar bancos de dados e informações importantes em uma corrida.

## 1.7 Datalogger

Datalogger é um registrador de dados, ele é composto por sensores, um relógio com data precisa, uma memória para armazenar os dados, ligados a uma unidade lógica que faz a junção do sistema.

Normalmente os datalogger são utilizados em locais que não possuem energia ou se encontram em locais onde a comunicação é dificultada por alguma razão, ou até mesmo

em casos que não seja viável grandes investimentos na transmissão de dados. É uma maneira off-line de monitoramento com custo reduzido. O equipamento deve se encontrar próximo à fonte de dados e então é armazenada as informações coletadas pelos sensores, tais como, temperatura, umidade, pressão, velocidade, dados de GPS, entre outros, com as respectivas datas e horas.

## 1.8 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um circuito eletrônico micro-controlado capaz de realizar o monitoramento através da telemetria e datalogger da vazão e pressão de água, em uma adutora.

Dados o objetivo geral, têm-se os objetivos específicos:

- Analisar a estrutura física do local, equipamentos instalados, distâncias, e as grandezas a serem mensuradas;
- Especificar e definir os materiais para a composição projeto;
- Gerar uma simulação dos circuitos eletrônicos através de software;
- Gerar um fluxograma e um algoritmo;
- Programar os microcontroladores;
- Testar o programa na simulação do circuito;
- Configurar a comunicação entre os Zigees;
- Montar um circuito de teste em protoboard;

## *2 Materiais e Métodos*

No município de Viçosa a empresa responsável pelo saneamento básico é o Sistema Autônomo de Água e Esgoto de Viçosa - SAAE, sendo esta uma autarquia municipal, é o local de aplicação do presente projeto. Atualmente, o SAAE atende a 98% da população com água tratada e a 88% com rede de esgoto, distribuindo em média 170 litros de água por segundo para a cidade.

O SAAE possui diversos pontos monitorados por telemetria, datalogger e macro-medição, alguns deles são equipamentos ultrapassados. Sabendo da importância do monitoramento o SAAE tem buscado adquirir novos equipamentos. No ano de 2012, foi adquirido mais de 100 mil reais em equipamentos para este fim, e pretende futuramente revitalizar o sistema de telemetria.

Recentemente, com aumento de demanda por água em algumas regiões, fez com que os conjuntos moto-bombas e adutora que alimentam o reservatório do bairro Santa Clara, se encontrem trabalhando em tempo integral, gerando assim, uma média de bombeamento de 40 litros por segundo sob uma pressão de 100 MCA.

Ao ocorrer uma falha no sistema de abastecimento, seja ela por uma ruptura na adutora, ou qualquer motivo que atrapalhe este bombeamento, ou até mesmo durante períodos muito quentes ou secos, torna-se difícil manter os reservatórios em níveis confiáveis para garantir o abastecimento. Então, o segundo conjunto moto-bomba é ligado em paralelo.

Ligando as bombas em paralelo, a pressão poderia ser demasiadamente grande, então o registro da bomba secundária é somente parcialmente aberta, de modo que se atinja uma vazão de 55 litros por segundo a uma pressão de 130 MCA, que seria um limite seguro para as instalações.

Este local identificado como 1 na Figura 5, e mostrado na Figura 6 é constantemente monitorado por um macromedidor Woltimann, que gera pulsos proporcional ao volume, então um datalogger capaz de interpretar os pulsos, que também esta ligado a uma tomada



Figura 5: Local de aplicação do projeto

de pressão, mostra os dados de vazão e pressão no LCD, podendo também os armazenar.



Figura 6: Medidor de vazão e ponto para tomada de pressão

O local 2 identificado da Figura 5, e mostrado na Figura 7, se encontra a 18 metros de onde os dados da vazão e pressão podem ser visualizados, dificultando assim o procedimento de ajuste da vazão.

O presente projeto poderia substituir o datalogger e ainda transmitir os dados para um LCD próximo à válvula.





Figura 7: Valvulas de controle da vazão e conjuntos moto-bombas

## 2.1 Descrição dos materiais

### 2.1.1 Transdutores

Para realizar a aquisição dos dados da vazão, foi utilizado o macromedidor Woltmann, sendo este do tipo turbina. Estes equipamento, está instalado no local a mais de três anos. Seu funcionamento é baseado em engrenagens que ao serem rotacionadas pelo movimento da turbina, movimenta um acumulador mecânico e uma chave magnética interna, são acionados proporcionalmente ao número de voltas de sua turbina, sendo também proporcional ao volume deslocado de água, a cada 100 litros a chave magnética é fechada. Estes pulsos podem ser capturados e tratados via software para se obter a vazão.

Ao lado do macromedidor, existe uma tomada de água, onde pode ser conectado um sensor de pressão. O equipamento escolhido para esta função é da fabricante Nivitec, pois já são utilizados em outras instalações por ter um baixo nível de ruído e ser bastante robusto. O modelo tem uma faixa de funcionamento de 0 a 200 MCA. Baseado no elemento piezoresistivo, fornece um sinal de 4 a 20 mili amperes, assim com auxílio de um resistor de 240 ohms o sinal pode ser convertido para a escala de 0.96 a 4,8 volts.

### 2.1.2 Memória SD

O armazenamento de dados é feito através de uma memória SD, á qual utiliza o protocolo de comunicação SPI, é alimentado por uma tensão de 3.3V. Como nesta aplicação





Figura 8: Sensor de Pressão

o microcontrolador é alimentado por 5V, é necessário utilizar resistores para que exista uma queda de tensão, juntamente com diodos zener nos pinos de SCLK, SS1, e MOSI para se estabilizar a tensão em 3.3V, já para o pino MISO é necessário um resistor de pull up para que exista a comunicação entre SD e unidade de processamento.

Para facilitar a montagem do hardware foi então utilizado um Modulo SD Card, Figura 9, que possui o suporte para o cartão, e possibilita uma comunicação SPI direta do microcontrolador com o módulo.



Figura 9: Modulo SD Card

O cartão SD deve estar formatado utilizando-se do sistema de arquivos FAT16, para este possa ser utilizado tanto no módulo de aquisição de dados quanto no computador. Com rotinas previamente criadas pelo compilador é possível gerar arquivos no formato .txt ou .csv e gerenciar estes arquivos, podendo salvar dados no mesmo.

### 2.1.3 Relógio Digital

O relógio digital escolhido foi o RTC DS1307 (Real Time Clock - Relógio de tempo real). Este elemento é bastante aplicado por ser de fácil utilização, pois é alimentado por uma tensão de 5 volts e se comunica via protocolo  $I^2C$ . Este componente tem a capacidade de computar com uma boa precisão os segundos, minutos, horas, dias, meses até o ano de 2100. Possui um circuito que detecta falta de energia e consome menos de 500nA no modo bateria com oscilador em funcionamento.

Para facilitar a implementação foi utilizado um módulo RTC completo, com o suporte para a bateria, cristal oscilador, capacitores e resistores para somente ser conectado ao microcontrolador, como pode ser observado pela Figura 10.

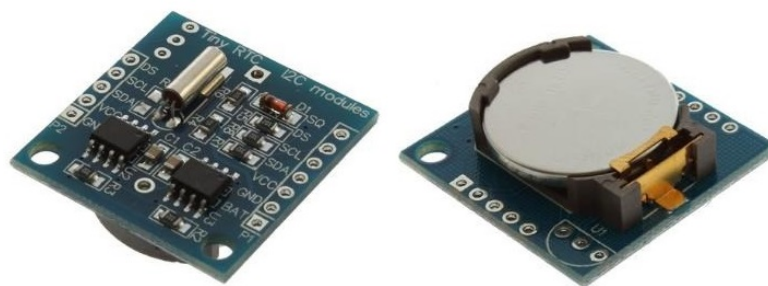


Figura 10: Modulo Clock DS1307

### 2.1.4 Transceptores

Na seção 1.5 foram explicitados os protocolos de comunicação e mais especificamente na parte 1.5.4 o Zigbee foi descrito parcialmente. O modelo utilizado foi o XBEE ZB XB24-Z7WIT-004, que pode ser visualizado na Figura 11. Este transceptor tem como principais características:

- Frequência de transmissão de 2.4 GHz;
- Potência de transmissão de 1,25 mW;
- Sensibilidade do receptor: -96 dBm;
- Alcance Máximo estimado de até 120m;
- Topologias de rede estrela, malha e árvore;
- Modo Sleep consumindo menos de 1 micro ampere;

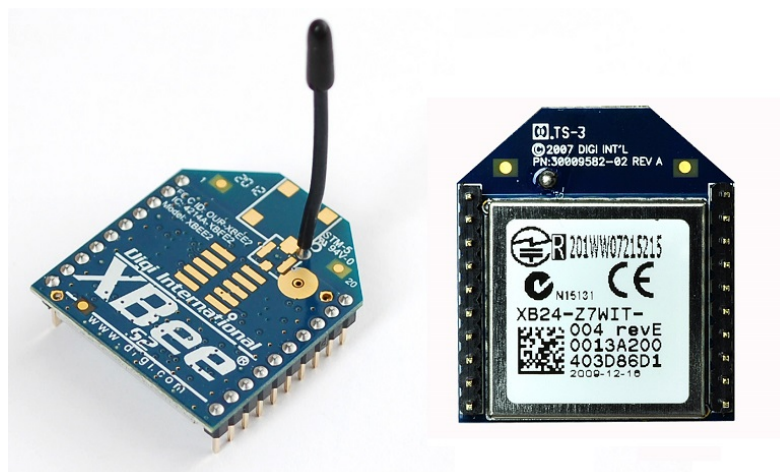


Figura 11: Modulo ZigBee

- Transmissão de até 250 Kbps;
- Antena Wire;
- Alimentado por 3.3V;
- Comunicação com o microcontrolador por USART. Ver Figura 12;

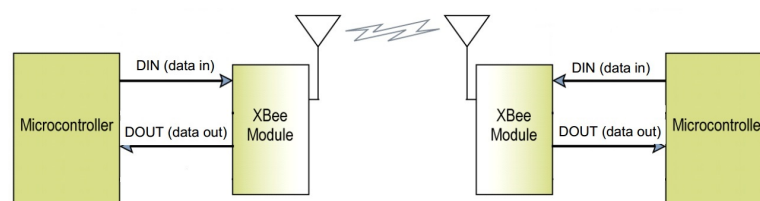


Figura 12: Comunicação entre microcontrolador e XBEE [11]

Então foi aplicada uma comunicação UART direta entre os Zigbee utilizando o a velocidade de 12500bps, sem controle de fluxo, transmissão de 8 bits sem o bit de paridade e um único bit stop. Estas configurações foram realizadas utilizando o software X-CTU fornecido pela propria fabricante.

### 2.1.5 Mostrador LCD alfa-numérico

A interface visual entre máquina e home é bastante utilizada, pois desta maneira é possível captar rápido e precisamente as informações, além de poderem fornecer uma grande quantidade de dados.

Então foi utilizado um mostrador LCD com 16 colunas e 2 linhas, devido ao baixo custo, por ser de fácil utilização e poder fornecer todas as informações necessárias para o projeto. Este dispositivo é conectado ao microcontrolador através de 4 ou 8 pinos de dados, sendo utilizados (D4, D5, D6, D7), um pino de habilitador (E) e outro para a seleção de registro (RS). O LCD pode ser visualizado na Figura 13.



Figura 13: Mostrador LCD

### 2.1.6 Microcontroladores

Foram utilizados dois microcontroladores para a realização deste trabalho. Ambos da fabricante Microchip e conhecidos com PIC 16F876A e 16F628A, se diferenciam basicamente pelo número de pinos, memória interna e funções específicas.

O PIC 16F876A, foi utilizado na unidade principal, a qual realiza a aquisição de dados e os armazena. Para esta função foi alimentado a 5V com um clock de operação de 4MHz, sendo utilizados 19 dos 28 pinos. O microcontrolador é bastante versátil, possui interrupções, temporizadores, conversor ADC, comunicação USART, I2C e SPI, atendendo todas as necessidades do circuito, e pode ser facilmente encontrado no mercado, o que favoreceu a escolha do equipamento para a composição do projeto.

Apesar deste PIC possuir a comunicação SPI, esta foi implementada via software, pois os pinos são compartilhados com a comunicação  $I^2C$ .

Para o modulo secundário foi utilizado o PIC 16F628A, com o clock de 4MHz e alimentado a 5V. O equipamento possui custo bem reduzido e atende as necessidades de comunicação por UART com o Zigbee e tem mais de 6 portas livres para a comunicação com o LCD, utilizando 13 dos 18 pinos.

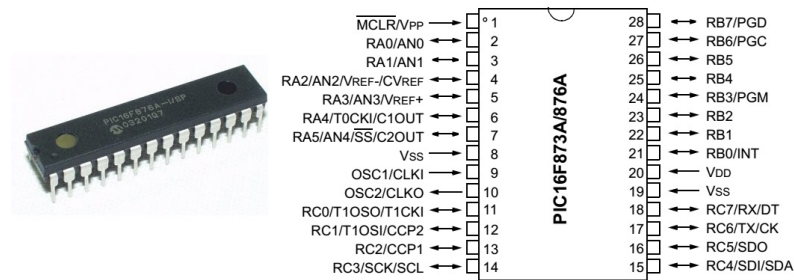


Figura 14: PIC 16F876A e diagrama dos pinos

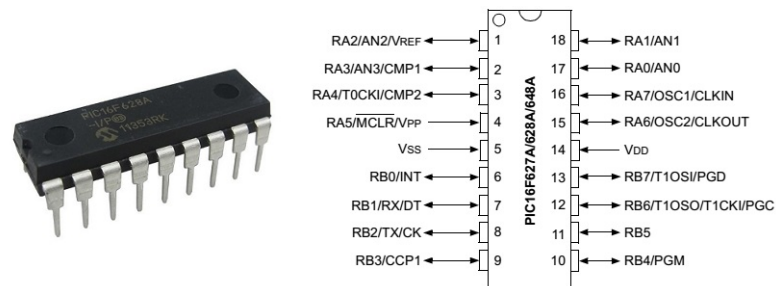


Figura 15: PIC 16F628A e diagrama dos pinos

## 2.2 Circuitos eletrônicos

Com os materiais previamente escolhidos foi então montado uma simulação do circuito eletrônico em um software específico, então testes foram realizados, possibilitando a definição dos componentes, que então foram adquiridos. A simulação pode ser observada na Figura 16.

A simulação não foi realizada exatamente igual ao projeto, pois o software não contemplava todos os elementos, então os sensores foram simulados de forma diferente, e o Zigbee foi retirado fazendo uma comunicação UART direta entre os PICs, e o microcontrolador utilizado na simulação foi o 16f877A pois o mesmo foi utilizado em testes em proto-board na falta do 16f876A, diferenciando basicamente no número de portas.

O diagrama do circuito utilizado na prática foi dividido em 2, um para o sistema de aquisição de dados, outro para o display, estes podem ser visualizados respectivamente nas Figuras 17 e 18.

## 2.3 Programa computacional

Para facilitar o entendimento do software, foi criado um fluxograma que pode ser observado na Figura 19.

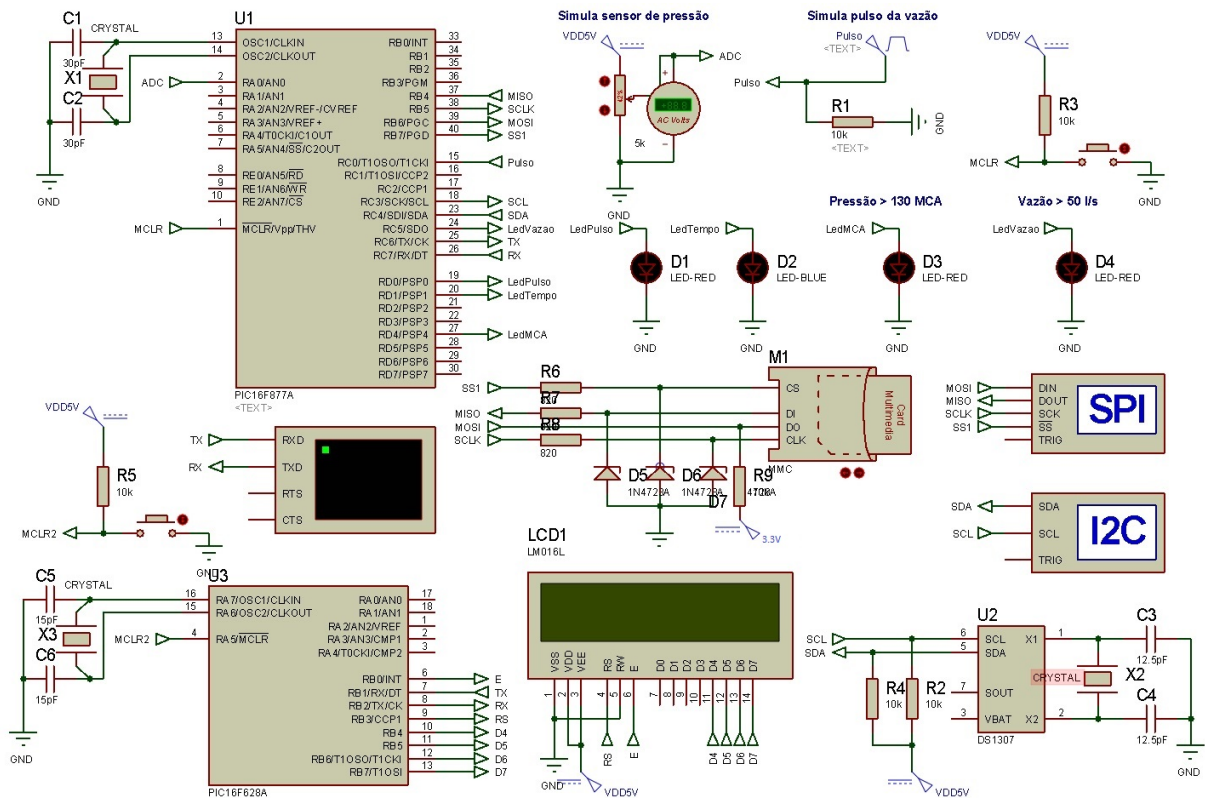


Figura 16: Simulação do circuito eletrônico

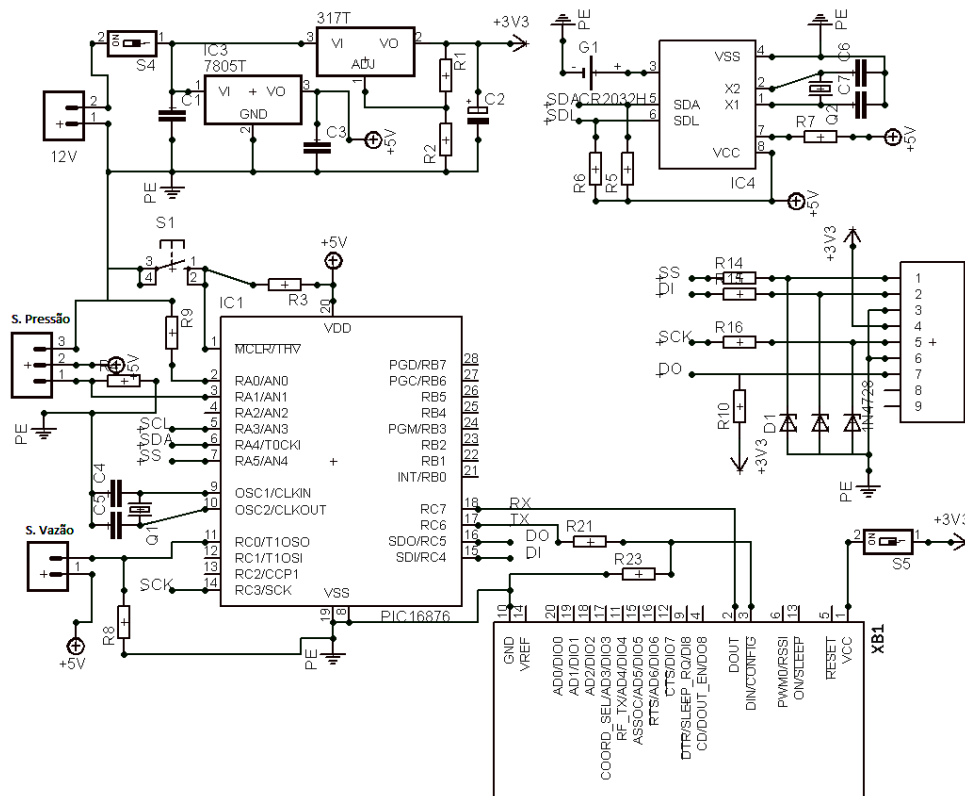


Figura 17: Circuito de aquisição de dados



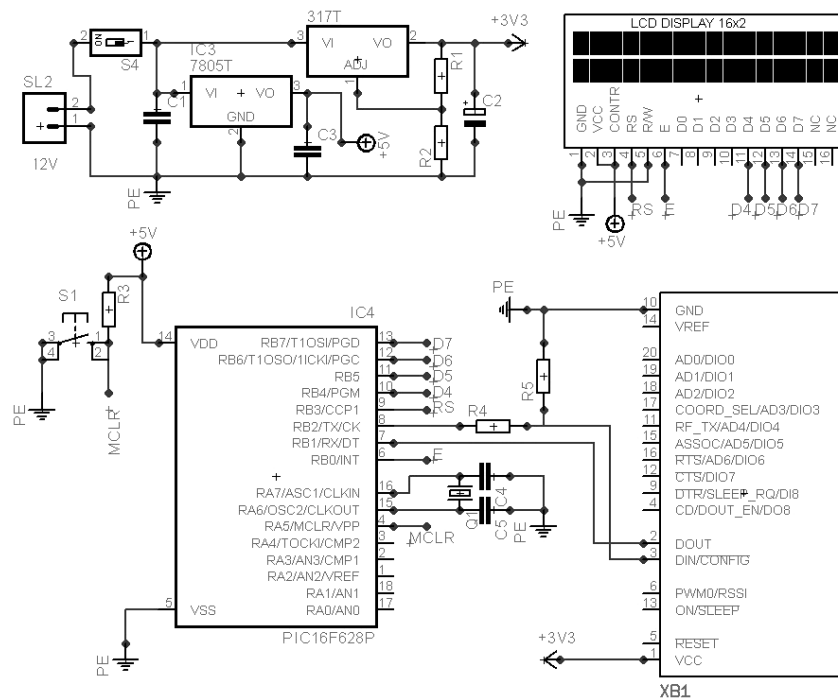


Figura 18: Circuito para o display

O programa é iniciado e então configurado as portas e os seus respectivos tris, que são as configurações das portas como entradas ou saídas. Em seguida mais um bloco de configurações, no qual a conversão AD foi utilizada com 10 bits tendo um total de 1024 valores discretos, como o sensor possui uma pressão máxima de 200 MCA, linearmente representado por uma corrente de 4 a 20 mA, foi utilizado um resistor de 240 ohms gerando um sinal de 0.96 a 4.8V, sendo que 0.96V é representado pelo valor 197 do conversor, sendo então subtraído e obtendo a Equação 2.1.

$$P = 208.33 * \frac{ADC - 197}{827}, \quad (2.1)$$

Onde  $P$  é a pressão em MCA e  $ADC$  é o valor de 0 a 1024 fornecido pelo conversor AD.

A comunicação RS232 em ambos os microcontroladores e Zigbee, foi configurada com velocidade de 12500bps, sem controle de fluxo, transmissão de 8 bits sem o bit de paridade e um único bit stop, utilizando o hardware interno dos componentes. A comunicação  $I^2C$  também foi configurada no hardware diferente da SPI que foi simulada.

Conhecido como prescaler, o divisor de clock do timer1 foi de 8, e 125 valores decimais do seu registrador interno, com o objetivo de gerar uma interrupção a cada mili segundos. Então as interrupções foram habilitadas. Vale ressaltar que as interrupções podem

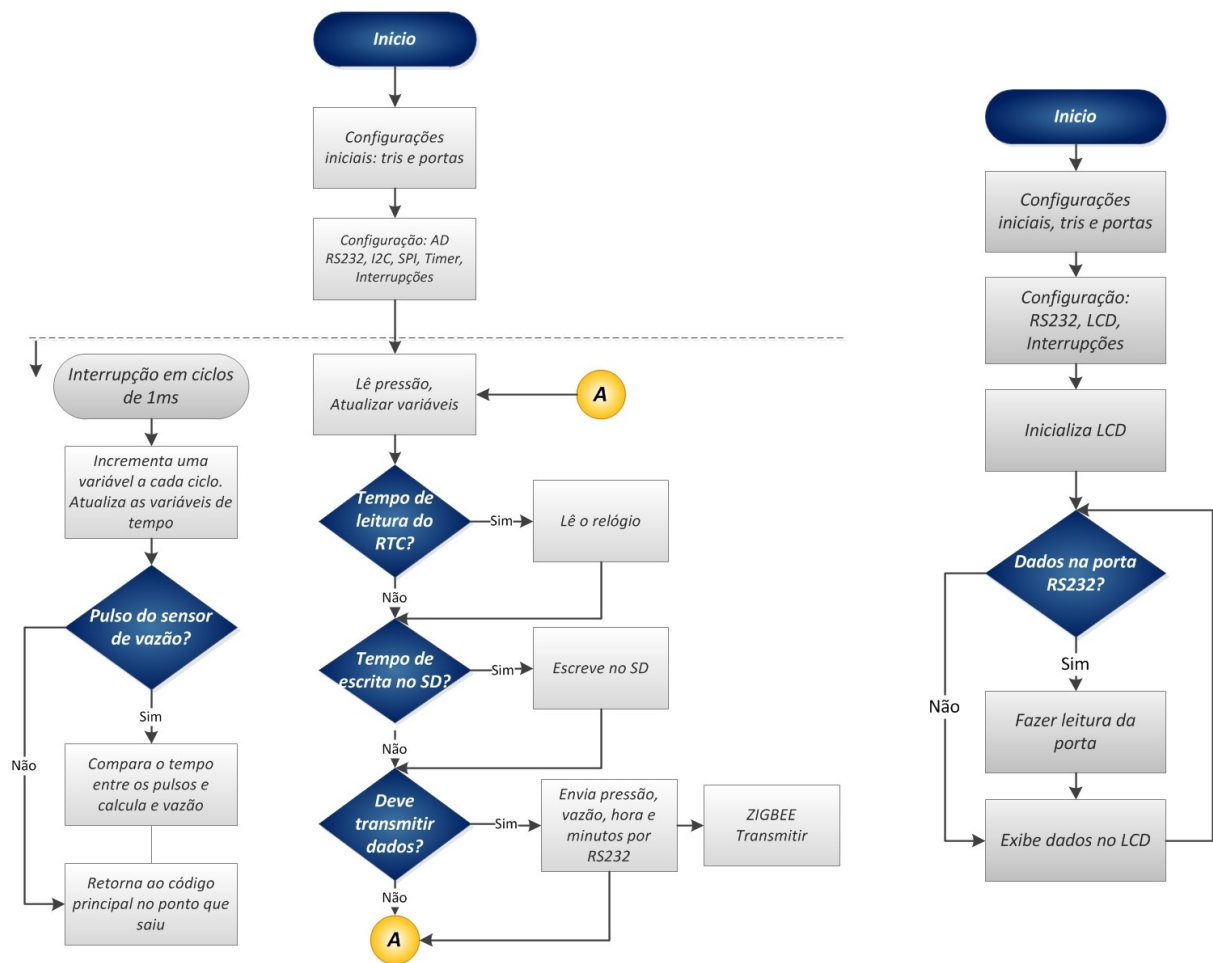


Figura 19: A esquerda o fluxograma para aquisição e transmissão, à direita recepção e visualização

diminuir a eficiência da comunicação implementada via software entre dispositivos, pois estas podem ocorrer durante a transmissão de dados gerando assim uma falha, sendo o caso da comunicação SPI, então durante a escrita no SD, foi desabilitado as interrupções.

Após estas configurações o programa entra em um loop infinito, e a qualquer momento pode ocorrer a interrupção do timer1, exceto no caso da comunicação SPI, quando esta ocorre é incrementada uma variável diretamente relacionada ao tempo de 1 ms, atualiza-se as variáveis de tempo. Se durante a interrupção o pulso do sensor de vazão for identificado então a vazão é calculada pela Equação 2.2.

$$VI = \frac{LP * 1000}{TPS}, \quad (2.2)$$

Onde a variável  $VI$  representa a vazão instantânea, em litros por segundos,  $LP$  é o numero de litros por pulso e  $TPS$  o tempo do período entre o pulso anterior e o pulso atual em mili segundos.



No loop infinito a pressão é lida, atualiza-se as variáveis do processo e verifica se é o momento de fazer a leitura do relógio, nos testes, este tempo foi de 1 em 1 segundo, então se estava no momento, fazia-se a leitura e seguia para a próxima etapa que era de verificar o tempo para gravar no SD, este valor varia de acordo com a aplicação mas é usualmente aplicado o intervalo de 2, 5, 10, 15 minutos, então se for o momento, faz a escrita no cartão e passa para a atividade seguinte, que consiste em verificar se é o momento de transmitir os dados, então se tiver percorrido o intervalo de 1 segundo, enviava os dados. Estes intervalos de tempo de todas as atividades podem ser alterados de acordo com a necessidade.

O segundo fluxograma é responsável por receber os dados e mostrar no LCD, então inicialmente é configurado as portas e tris, em seguida configura-se a comunicação RS232, funções do LCD, e a interrupção por chegada de dados na porta RX de comunicação. Em seguida o LCD é inicializado, e entra em um loop infinito, esperando algum dado chegar ao PIC. Quando uma informação chega na porta de comunicação, é realizado uma interrupção, dentro da função da interrupção é feito a leitura da porta, então se forem os dados que se espera, as variáveis são atualizadas com os valores recebidos e então é exibido no display.

### *3 Resultados e Discussões*

Durante testes, o primeiro resultado positivo obtidos foi ao observar a simulação em funcionamento, demonstrada na Figura 16. Ao configurar a tensão no conversor de 5V, foi obtido 208 MCA, configurando de 0 a 1V, obteve-se 0 MCA, outros valores foram testados obtendo-se resultados precisos. Para testar a comunicação uma variável erro foi implementada e mostrada no visor, que após algumas configurações e a utilização da interrupção para a recepção dos dados, não foi mais incrementada, indicando que a transmissão dos dados com fio na simulação ocorria . A comunicação  $I^2C$  ocorreu de forma satisfatório durante a simulação, isso foi constatado pois uma ferramenta de teste da simulação foi utilizada, e podia-se observar os endereços da memória do relógio DS1307 sendo acessados perfeitamente.

Para análise da aquisição dos pulsos, foi gerado um sinal de frequência de 1Hz, como transdutor de vazão envia pulsos a cada 100 litros seria esperando no visor da simulação 100 l/s, o que não ocorreu, apresentando 140 l/s, 40% maior que o esperado.

A comunicação com a memória SD não foi possível em nenhum momento ser avaliada. Após realizadas pesquisas, foi verificado que o gerenciamento do cartão de memória SD utilizando o sistema de arquivos Fat16, é realizado em pacotes de 512 bytes e os PICs utilizados possuem somente 368 bytes de memória Ram, sendo assim, necessário a utilização de outro microcontrolador para a tarefa, por exemplo um 18f2455 ou o 18f2550, que não geraria grandes dificuldades para a adaptação. Esta análise justifica o não funcionamento da comunicação, mas não elimina outros possíveis problemas de hardware de programação.

Após os testes com a simulação, o circuito foi montado em proto-boards como pode ser observado na Figura 20. Neste ponto, novamente foi observado uma relevante precisão nos dados da pressão e transmissão dos dados via cabo. Em algumas inicializações do circuito, alguns erros relacionados à comunicação UART entre os PICs, foram incrementados no visor do LCD, indicando um tempo para estabilização do circuito.



Figura 20: Montagem do circuito e teste em proto-board

A comunicação  $I^2C$  com o relógio não foi possível de ser avaliada com a montagem do hardware, pois o módulo RTC apresentou problemas, sendo possivelmente danificado em erros ocorridos nos primeiros testes. Então internamente foi implementado um relógio utilizando das interrupções de 1 mili segundo. Após 17 horas do circuito em funcionamento foi gerado um erro de 21 minutos, cerca de 2%, um erro grande para um relógio.

O teste da vazão no circuito, ao contrário da simulação forneceu um valor 65% abaixo do esperado, verificando-se a necessidade de ajustes na leitura da mesma. A contagem do tempo, como foi visto no paragrafo anterior, necessita de ajuste, podendo então ser realizado, uma forma diferente na captura dos pulsos da vazão, como por exemplo um interrupção externa, assim tornaria o timer1 exclusivo para a contagem do tempo. Outra tentativa seria de aumentar o intervalo das interrupções, podendo serem testados 10, 20, 50 mili segundos, ou mesmo maiores no caso da utilização da interrupção externa para receber o sinal da vazão.

Apesar de ter sido realizado a configuração do modulo Zigbee, ainda não foram realizados testes com o dispositivo, espera-se que se o dispositivo estiver configurado corretamente como ponte da comunicação UART, pelo fato de a comunicação com fio ter sido um sucesso, a comunicação utilizando o módulo também o seja, podendo gerar erros possivelmente pela distância entre os dispositivos ou pelo fato do local de transmissão e

recepção serem enclausurados, esse foi o principal motivo da implementação do erro no display. Caso a potência deste modulo não seja o suficiente, ainda poderia ser testado o modulo Zigbee Pro, que possui uma potência de transmissão significativamente maior, e pode ser facilmente adaptado ao circuito, ou a tentativa de um de uma antena externa.

Ao analisar financeiramente o projeto, os gastos com materiais estariam em torno de R\$ 600,00, sendo que os 2 módulos Zigbee ficariam em R\$ 200,00 e o sensor de pressão em R\$ 250,00. O que deve ser realmente levado em consideração é o gasto com a pesquisa e desenvolvimento entorno de 92,6%, pois o tempo gasto para chegar a este ponto do trabalho, foi em torno de 150 horas de pesquisa, um especialista no mercado de trabalho geraria um gasto de R\$ 7.500,00 de mão de obra, totalizando R\$ 8.100,00. Esta é uma análise subjetiva, pois um profissional experiente gastaria menos tempo para desenvolver o mesmo projeto, mas ao mesmo tempo, este necessita de ajustes. Mas um ponto a ser destacado, é que um datalogger sem o sistema de telemetria no mercado tem um valor acima de R\$ 3.500,00.

## 4 *Conclusões*

Dados os objetivos de desenvolver um projeto de aquisição, armazenamento e transmissão de dados, foi verificado um bom resultado. O funcionamento das comunicações *I<sup>2</sup>C* com o relógio, e UART entre os PICs, foram desenvolvidas e testadas com sucesso, assim como a leitura da pressão que gerou bons resultados dentro da precisão do conversor AD.

A leitura da vazão foi diferente do esperado, mas foi verificado um bom cálculo do tempo interno do PIC, e boa captura dos dados da porta de entrada do sensor de vazão, necessitando de ajustes para se chegar a um bom resultado.

Mesmo a comunicação SPI gerenciando o SD e o sistema de arquivos FAT16, não tendo funcionado em nenhum momento, o desenvolvimento da simulação e as pesquisas, geraram bons resultados para implementações futuras, partindo do ponto que micro controlador deve ter mais de 512 bytes de RAM, que as interrupções devem ser desabilitadas durante o envio de dados e que existem compiladores com bibliotecas para tal gerenciamento.

O sistema proposto e implementado em sua grande parte, não pode ser considerado uma inovação, mas seria uma aplicação diferenciada com um objetivo mais específico de auxiliar a o monitoramento de algum ponto com fluxo de líquidos e até mesmo gases que poderiam ser de fácil instalação.

Ao sanar as dificuldades encontradas anteriormente, e adicionando a este sistema um melhor gerenciamento de energia, bateria, e montando-o em uma caixa impermeável quando fechada, seria possível desenvolver um sistema funcional e comercial. Podendo então gerar lucros, devido aos altos preços de equipamentos semelhantes no mercado.

## *Referências*

- [1] SHIMOMURA, M. A situação das perdas no japão. *SANEAS*, n. 27, Sembro/Outubro 2007.
- [2] BRUSTOLINI, E. J. L. *Estudo da eficiência energética da elevatória de água bruta do ribeirão São Bartolomeu - SAAE de Viçosa*. [S.l.], 2012.
- [3] BALBINOT, A. *Instrumentação e Fundamentos de Medidas*. 1. ed. [S.l.]: LTC, 2007.
- [4] CATALAGO NIVETEC. Disponível em: <<http://www.nivetec.com.br/>>.
- [5] DIAS, J. E. A. *Eletrônica, instrumentação e telemetria do veículo UFVBaja*. [S.l.], 2010.
- [6] DATASHEET PIC. Disponível em: <<http://www.microchip.com/>>.
- [7] INSTRUMENTAÇÃO UNB. Disponível em: <[http://lara.unb.br/adolfo/CDig/Tutorial\\_AVR\\_Unball.pdf](http://lara.unb.br/adolfo/CDig/Tutorial_AVR_Unball.pdf)>.
- [8] TRANSMISSÃO de Dados FEUP/DEEC/RCD 2002/03 MPR/JAR. Disponível em: <<http://sigarra.up.pt>>.
- [9] CAETANO, E. S. S. A. *Projeto de um medidor ultrassônico de nível e medidor de turbidez*. [S.l.], 2013.
- [10] MESSIAS, A. R. 2013. Disponível em: <<http://www.rogercom.com/>>.
- [11] DATASHEET Xbee. Disponível em: <<http://www.digi.com>>.