



CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

HAROLDO AUGUSTO TONETTO CHAVES

**PROJETO DE UMA ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA
AUTOMÁTICA**

Lajeado
2013

HAROLDO AUGUSTO TONETTO CHAVES

PROJETO DE UMA ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA AUTOMÁTICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas do Centro Universitário UNIVATES, como parte dos requisitos para a obtenção do título de bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Área de concentração: Automação

ORIENTADOR: Prof. Dr. Ronaldo Hüsemann

Lajeado

2013

HAROLDO AUGUSTO TONETTO CHAVES

PROJETO DE UMA ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA AUTOMÁTICA

Este trabalho foi julgado adequado para a obtenção do título de bacharel em Engenharia de Controle de Automação do CETEC e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: _____

Prof. Ronaldo Hüsemann, UNIVATES

Doutor pelo PPGEE/UFRGS – Porto Alegre, Brasil

Banca Examinadora:

Prof. Anderson Antônio Giacomolli

Graduado em Eng. de Controle e Automação – UNIVATES – Lajeado, Brasil

Prof. Msc. Rafael Rodrigo Eckhardt

Mestre pelo PPGSR- UFRGS – Porto Alegre, Brasil

Coordenador do Curso de Engenharia de Controle e Automação:

Prof. Msc Rodrigo Wolff Porto

Lajeado, novembro de 2013.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família, primeiramente minha amada esposa Daniela que sempre esteve ao meu lado e sempre me deu forças, minha querida e amada filha Júlia e minha digníssima e amada Mãe, pela dedicação em minha educação e sempre que apoiou em todos os momentos de minha vida. Muito obrigado pela compreensão e na ajuda na tomada de decisões de minha carreira.

AGRADECIMENTOS

Agradeço muito a Deus que a mim atribuiu alma e missões pelas quais já sabia que iria batalhar e vencer. Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Ronaldo Hüseemann, que com muita objetividade e clareza me conduziu neste trabalho e por ser um excelente professor e profissional. Agradeço aos meus tios Sr. Gétulio Edson Tonetto e Sra. Clair Kuchak Tonetto por sempre me incentivar e acreditar em minha capacidade. Agradeço também minha prima, a bióloga Jaqueline Fernandes Tonetto, nas idas e vindas da barragem, ajudando na instalação da estação fluviométrica. Agradeço ao Prof. Dr. Odorico Konrad que me incentivou na elaboração e construção da estação fluviométrica. Agradeço aos colegas de trabalho da Ressonare Tecnologias Ambientais e Automação, Sr. Fábio Jr. Secchi e Sr. Luan Araujo dos Santos pelas trocas de ideias e críticas construtivas durante este projeto e pelos momentos de descontração. Agradeço ao Laboratório de Biorreatores pelo financiamento desse projeto. Agradeço aos professores que desempenharam com dedicação as aulas ministradas. Agradeço também aos profissionais da barragem eclusa do município de Bom Retiro do Sul, em especial ao Prof. Msc. José Azambuja, Sr. Mauro, Sr. Luis, Sr. Marcio, enfim a todos, pois sem o auxílio e autorizações para os testes não seria possível desenvolver o equipamento. Aos colegas de curso e amigos que fiz durante todos esses semestres, e que me ajudaram sempre de alguma forma.

RESUMO

Este trabalho descreve o projeto de uma estação fluviométrica automática para monitoramento remoto de nível de rios e lagos utilizando um sensor de pressão diferencial não submersível. O projeto em questão adota um módulo de comunicação que usa tecnologia de celulares possibilitando recursos de telemetria. Este conjunto é capaz de obter e transmitir o nível do rio de forma programada para um servidor, o qual recebe esta informação e distribui para os órgãos responsáveis. Por segurança, os dados são armazenados em um cartão de memória, também instalado na estação. Nesse sistema também é possível interagir com a estação e solicitar informações de nível a qualquer momento através de mensagens de texto de telefone celular, ou até mesmo receber alertas de enchentes ou da ultrapassagem de um nível qualquer pré-configurado. Para validação do funcionamento dos sensores utilizados este sistema foi testado na Barragem eclusa do rio Taquari, no município de Bom Retiro do Sul, onde também foram feitos os testes iniciais com um protótipo.

Palavras-chave: monitoramento, nível de rios, estação fluviométrica automática.

ABSTRACT

This paper describes the design of an automatic flow measuring station for remote monitoring of level of rivers and lakes using a differential pressure sensor is not submersible. The project in question adopts a communication module that uses cellular technology enabling telemetry capabilities. This set is able to obtain and transmit the river level programmatically for a server, which receives and distributes this information to the responsible bodies. For security reasons, the data are stored on a memory card, also installed at the station. In this system it is also possible to interact with the station and request information of level at any time via cell phone text messages, or even receive flood alerts or Overdrive a level any preconfigured. For validation of the functioning of the sensors used this system has been tested on sluice Dam of the Taquari River, in the municipality of Bom Retiro do Sul, where initial tests were also made with a prototype.

Keywords: monitoring, level of rivers, flow measuring station.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema proposto.....	17
Figura 2 - Régua linimétrica demonstrando a cota momentânea do rio Itajaí-Açu.....	20
Figura 3 - Perfil esquemático das formas fluviais dos cursos d' águas.....	20
Figura 4 - Elevação do nível de um rio do nível normal até a sua inundação.....	22
Figura 5 - Estação fluviométrica convencional.....	26
Figura 6 - Estação hidrológica com sensor radar em Belo Horizonte – MG.....	28
Figura 7 - Sensor de pressão absoluta PAA-36XW e MPX2100AP.....	29
Figura 8 - Sensores radar Vegapuls 61 e Sitrans LR250.....	30
Figura 9 - Altura da coluna d'água.....	31
Figura 10–Diferença entre de altura entre os pontos A e B.....	33
Figura 11 - MPX2100DP.....	34
Figura 12 - Cartão SIM.....	35
Figura 13 - Módulo solar fotovoltaico.....	37
Figura 14 - Esquemático ADS1110.....	39
Figura 15 – Arduino.....	40
Figura 16 - Sinal do sensor versus polinômio do sinal do sensor.....	42
Figura 17– Pacote padrão de dados.....	43
Figura 18 - Controlador de cargas e descargas SML 10 A, Unitron.....	45
Figura 19 - Display de LCD.....	45
Figura 20 - TC65T Terminal Cinterion.....	46
Figura 21 - Rotina de programação do módulo GSM.....	47
Figura 22 - Diagrama do software WaterLine.....	50
Figura 23 - Barragem eclusa, Bom Retiro do Sul/RS.....	52
Figura 24 - Canal tranquilizador.....	53
Figura 25 - Estação fluviométrica automática desenvolvida neste trabalho.....	54
Figura 26 - Mangueira de ar comprimido com o contrapeso.....	54
Figura 27 - Placa de aquisição e condicionamento do sinal dos sensores de pressão MPX2100DP.....	55
Figura 28- Momento da instalação do equipamento.....	56
Figura 29 - Equipamento já instalado no local.....	57
Figura 30 - SMS com a resposta da solicitação INFO.....	58
Figura 31 - SMS com a resposta da solicitação WEBI.....	58
Figura 32 - SMS de alerta de nível pré-configurado.....	59
Figura 33 - SMS de erro na gravação do pacote no servidor de FTP.....	59
Figura 34 - Servidor de dados de FTP.....	60

Figura 35 - Menu principal do software WaterLine.....	60
Figura 36 - Monitoramento Online.....	61
Figura 37 - Tela de análise de dados.	62
Figura 38 - Transferir os dados para o computador.....	62
Figura 39 - Configurações do sistema.	63
Figura 40 - SMS de abertura da caixa.	63
Figura 41 - <i>Display</i> de LCD com o nível do rio.....	65
Figura 42– Densímetro.	65
Figura 43 - Provetas graduadas com a mistura.....	66
Figura 44 - Correção: amostras de 03/10 até 10/10.....	67
Figura 45 - Comparativo de correção e compensação de temperatura: amostras de 03/10 até 10/10.....	69
Figura 46 – Gráficos comparativos do equipamento desenvolvido e o sistema de referência de 05/11/2013 até 11/11/2013.	70
Figura 47–Esquemático parte 1.	80
Figura 48 - Esquemático parte 2.....	81
Figura 49 - Esquemático parte 3.....	81
Figura 50 - Esquemático parte 4.....	82
Figura 51 - Esquemático parte 5.....	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Pontos obtidos para equação dos sensores de pressão.	41
Tabela 2– Classificação de alerta e intervalos de tempo.	49
Tabela 3 - Tabela de corrente elétrica consumida.	64
Tabela 4 - Experimento de densidade da água do rio.	66

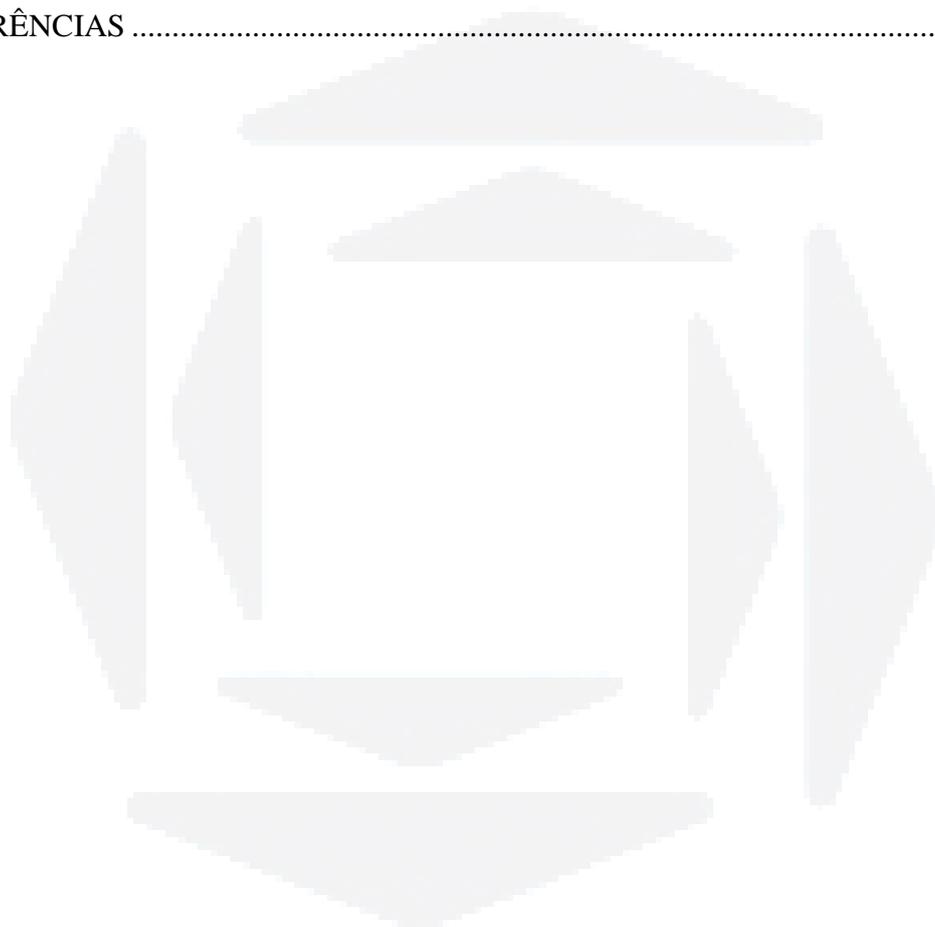
LISTA DE ABREVIATURAS

3GPP:	<i>Third Generation Partnership Project</i>
ANA:	Agência Nacional de Águas
CEOPS:	Centro de Operação do Sistema
CI:	Circuito integrado
EPAGRI:	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
ETSI:	<i>European Telecommunications Standards Institute</i>
FTP:	<i>File Protocol Transfer</i>
FURB:	Fundação Universidade Regional de Blumenau
GSM:	<i>Global System for Mobile Communications</i>
HTTP:	<i>Hipertext Transfer Protocol</i>
PC:	<i>Inter-IC</i>
IMSI:	<i>International Mobile Subscriber Identity</i>
IP:	<i>Internet Protocol</i>
LCD:	<i>Liquid-crystal display</i>
PGA:	<i>Programmable-gain amplifier</i>
PSTN:	<i>Public switched telephone network</i>
PVC:	<i>Polyvinyl Chloride</i>
SDS:	Secretaria de Desenvolvimento Sustentável
SI:	Sistema Internacional
SIM:	<i>Subscriber Identity Module</i>
TCP:	<i>Transmission Control Protocol</i>
W3C:	<i>World Wide Web Consortium</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
2.1 COTAS FLUVIOMÉTRICAS.....	19
2.2 LEITOS FLUVIAIS.....	20
2.3 DESASTRES NATURAIS.....	21
2.4 ENCHENTES E INUNDAÇÕES.....	21
2.5 SISTEMAS DE MONITORAMENTO E ALERTAS.....	23
2.6 SISTEMAS E MÉTODOS DE MEDIÇÃO NÍVEL.....	23
2.6.1 Métodos descontínuos.....	24
2.6.2 Métodos diretos.....	24
2.6.3 Métodos indiretos.....	24
2.7 ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS.....	25
2.7.1 Estações fluviométricas manuais ou convencionais.....	25
2.7.2 Estações fluviométricas automáticas.....	27
2.8 GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE (GSM).....	35
2.8.2 Cartão SIM.....	35
2.9 ENERGIA FOTOVOLTAICA.....	36
3 DESCRIÇÃO DO SISTEMA DESENVOLVIDO.....	38
3.1 COMPONENTES DO HARDWARE.....	38
3.1.2 Sistema de aquisição de dados dos sensores.....	38
3.1.3 Tratamento dos dados.....	40
3.1.4 Armazenamento dos dados.....	42
3.1.5 Sistema de alimentação de energia elétrica.....	44
3.1.6 Mostrador de nível no local.....	45
3.1.7 Transmissão dos dados e funções do módulo GSM.....	45
3.2 SOFTWARE DE MONITORAMENTO.....	50
4 EXPERIMENTAÇÃO PRÁTICA.....	52
4.1 LOCAL DE INSTALAÇÃO E SISTEMA DE REFERÊNCIA.....	52
4.2 FUNCIONAMENTO GERAL.....	53
4.3 SISTEMA DE MEDIÇÃO DE NÍVEL DESENVOLVIDO.....	54
4.4 INSTALAÇÃO.....	56

4.4.1 Resultados do sistema de comunicação.....	57
4.4.2 Resultados do software.....	60
4.4.3 Sistemas auxiliares e infraestrutura de instalação	63
4.4.4 Experimento de densidade da água	65
4.5 COMPENSAÇÃO DE TEMPERATURA DO SISTEMA E CORREÇÃO DE OFFSET	67
4.6 COMPARATIVOS FINAIS.....	69
5 CONCLUSÃO.....	72
REFERÊNCIAS	74



1 INTRODUÇÃO

Quando o leito de um rio ou córrego recebe uma quantidade de chuvas acima de sua capacidade de contenção normal, o excesso de água irá escoar no que é chamado de área de inundação. Esse processo de escoamento pode representar um grande problema para a população de muitas cidades próximas. Segundo dados da Organização das Nações Unidas, o Brasil é atualmente o sexto país do mundo que mais sofre com catástrofes climáticas. Uma a cada três catástrofes climáticas se deve às inundações, formando um histórico com mais de 10 mil registros oficiais entre 1991 e 2010 (MORAIS, 2013).

Nos últimos anos têm-se presenciado o aumento, não só em intensidade, mas na frequência com que os desastres naturais têm acontecido (MARCELINO, 2007). De acordo com Tucci (2003), três motivos agravam essa situação:

- a) Na maioria das cidades brasileiras, não existe restrição quanto ao loteamento de áreas de risco de inundação em seu Plano Diretor Urbano. Muitas vezes, a sequência de anos sem inundações é tomada como justificativa para que empresários loteiem áreas inadequadas;
- b) A invasão indiscriminada de áreas ribeirinhas, que normalmente pertencem ao poder público, pela população de baixa renda;
- c) A ocupação de áreas de encostas ou topos de morros, que são atingidas com menor frequência, mas, quando são, sofrem prejuízos bem maiores que os normais.

A maioria dos desastres naturais que ocorrem no Brasil não pode ser evitada. No entanto, atividades e intervenções humanas podem influenciar diretamente os impactos causados por estes desastres (MARCELINO, 2007). A minimização de danos pode ser buscada pela aplicação de medidas preventivas, como, por exemplo, o acompanhamento constante dos níveis de rios muito próximos às áreas habitadas. Visando contribuir com esta questão, o governo brasileiro aprovou a lei nacional 12.608, que visa proteção e defesa civil. Ela tem como base quinze objetivos. Desse total, onze são voltados para a prevenção e redução de riscos de tragédias ocasionadas por desastres (BRASIL, 2012).

Segundo a Agência Nacional das Águas (2012) a fim de prever ou mesmo evitar enchentes, uma das tarefas mais importantes é o monitoramento das variáveis que possam ocasioná-las, de forma manual ou automática, permitindo informar antecipadamente a população sobre os possíveis riscos. Neste contexto, uma das formas de realizar esse

monitoramento passa pela utilização de estações hidrométricas, que são responsáveis por mensurar o volume de chuvas, a evaporação da água, o nível e a vazão dos rios, a quantidade de sedimentos e a qualidade das águas (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2012).

A estação hidrométrica é uma instalação que incorpora estações fluviométricas, manuais ou automáticas. As estações fluviométricas manuais, segundo a Agência Nacional de Águas (2012), são compostas por no máximo três seções de régua linimétrica, tipo estacas, cujos dados podem ser registrados por observadores, em cadernetas específicas, em, pelo menos, duas leituras diárias, as 07 e 17 horas. Já as estações automáticas são aquelas nas quais os dados são obtidos por sensores, com o auxílio de uma plataforma de coleta de informações, e transmitidos remotamente para um banco de dados. Essas estações são constituídas pelos seguintes componentes: fonte de energia elétrica, *datalogger* (registrador de dados), sensores, sistemas de transmissão e infraestrutura.

Utilizando-se sensores, são facilitadas as tarefas de gerenciamento de bacias hidrográficas, uma vez que, por exemplo, um sensor de nível pode ser utilizado para medir a altura do nível de um rio em regiões críticas. Existem muitas formas de obter essa informação. Entre elas destacam-se: régua linimétrica¹, linígrafos² mecânicos, visores de nível, boias ou flutuadores, sensores por borbulhamento³, pressão diferencial, ultrassom, radar e outros (THOMAZINI e ALBUQUERQUE, 2005).

Em meio a esta variedade de opções, entre modos manuais e eletrônicos, de aquisição da informação sobre o nível da água, o presente trabalho descreve o projeto e desenvolvimento de uma estação fluviométrica automática. Neste trabalho será utilizado um sensor de pressão diferencial (THOMAZINI e ALBUQUERQUE, 2005).

Já existem sistemas de monitoramento de rios com o uso de estações hidrométricas em outras regiões do Brasil. Um deles foi implantado com recursos provenientes do Governo do

¹ Régua linimétrica são utilizadas em acompanhamentos da dinâmica dos níveis d'água em reservatórios, rios, lagos e estuários etc (SUPERINTENDÊNCIA DE GESTÃO DA REDE HIDROMETEOROLÓGICA, 2012).

² Linígrafo é um sistema analógico, composto por uma bóia e um contra peso, o qual é destinado ao registro gráfico contínuo da medição de níveis d'água para qualquer amplitude de variação do nível, utilizado em rios, canais, açudes e reservatórios (HIDROMEC, 2013).

³ Borbulhamento é a injeção de ar ou gás inerte através de tubo de vidro para medir nível de líquidos. Quanto maior a profundidade aumenta-se lenta e continuamente a pressão de suprimento do gás, até que se comece a borbulhar gás. No momento limite que começa o borbulhamento, a pressão aplicada é exatamente igual à pressão exercida pela coluna líquida (THOMAZINI e ALBUQUERQUE, 2005).

estado de Santa Catarina na cidade de Blumenau, no ano de 2008, onde após um evento de precipitação extrema resultou em 24 mortes, seis desaparecimentos, 25.000 desalojados e 5.209 pessoas desabrigadas, totalizando danos da ordem de R\$ 1,1 bilhão apenas no município de Blumenau (SEVERO, CORDERO, *et al.*, 2011)

Esse sistema monitora cinco bacias urbanas no município de Blumenau. Ele é composto de nove estações que enviamos dados do nível do rio em tempo real para o Centro de Operação do Sistema de Alerta de Cheias (CEOPS). A coleta dos dados é feita a cada quinze minutos e a transmissão é feita via comunicação *Global System for Mobile* (GSM). Todas as informações são armazenadas em um banco de dados operado pela Universidade Regional de Blumenau (FURB) para, futuramente, serem utilizados na construção de padrões numéricos, os quais fornecerão informações para gerar alertas antecipados contra enxurradas bruscas (DEFESA CIVIL, 2013).

Além do CEOPS, a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) também têm o sistema instalado, o qual é baseado em sensores de radar para medir nível do rio, sendo que esses equipamentos se uniram aos sensores de pressão já existentes para o mesmo fim. Um sistema para a mesma tarefa, montado também na cidade de Blumenau pelo poder público do município, utiliza 50 sensores digitais de nível distribuídos em 16 m de uma régua, instalada no pilar central de uma ponte (DEFESA CIVIL, 2013).

Em diversas ocasiões, no site da defesa civil de Blumenau, onde as informações do nível do rio são disponibilizadas, o nível informado nesta página fica estagnado por um grande período de tempo, dando a entender ao usuário que o sistema não está em atividade (LATORRE, 2012). Isso ocorre pelo método adotado de medição do rio, que envolve um aparato de sensores em série distantes um do outro, de metro em metro. Conforme o nível aumenta os sensores vão ficando submersos, calculando assim a altura da água na régua na vertical.

Tendo em vista que os sistemas existentes podem ser melhorados, a proposta deste trabalho, através de pesquisas desenvolvidas, é a aplicação de uma técnica diferente de utilização dos sensores de pressão diferencial, que na maioria dos casos, ficam submersos e expostos a ambientes muito agressivos. E nos piores casos, sofrem com umidade em excesso, que pode prejudicar a operação de sensores de pressão diferencial, causando o entupimento do tubo capilar que comunica o sensor com a pressão atmosférica. Estes fatos podem levar a erros nas medições (CIRAN-EPAGRI, 2012).

O equipamento desenvolvido, ilustrado na Figura 1, é composto por um módulo de comunicação GSM, um sistema de alimentação autônomo baseado em energia fotovoltaica, um sensor de nível de líquidos e um sistema microcontrolado para adquirir e gerenciar os dados dos sensores, ou seja, um *datalogger*. As outras partes que compõem o projeto são o servidor de dados e o sistema gerencial, que irá receber as informações gravadas no servidor de dados.

Figura 1 - Sistema proposto.



Fonte: Autor

Para agrupar e interligar todos os componentes do sistema foi instalado no rio uma placa de circuito impresso, a qual foi incorporada a um sistema de configuração para informações de calibração do sensor no local, um sistema de armazenamento de dados para guardá-los em intervalos a cada 1 hora, conforme recomenda a Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (2012), um sensor de temperatura e

o sensor de nível de líquido. No sistema de alimentação autônoma foi previsto a utilização de baterias estacionárias para armazenamento de energia, e para centralizar e abrigar os equipamentos será utilizada uma caixa de painel elétrico.

Este projeto visa atender uma demanda de medir o nível de um rio com elevação de até 20 m de altura, que é compatível com o caso da barragem Eclusa do rio Taquari no município de Bom Retiro do Sul. Deste modo, será necessário utilizar dois sensores de pressão diferencial em série, cada um cobrindo 10 m, totalizando uma cobertura de sensores de 20 m acima do marco inicial ou zero.

A escolha do sistema GSM se deu por vantagens de não só transportar voz, mas por apresentar funcionalidades como o acesso à internet sem fio, serviços de mensagens de texto, pacotes de dados e serviços multimídia, o que facilita a gravação de dados em servidores ou mesmo para o envio de alertas (SANTOS, 2004).

A comunicação GSM baseia-se em um sistema de telefonia móvel digital, que atualmente é o principal sistema de celular utilizado em todo o planeta (TELECO, 2013). A escolha, neste caso, simplifica a implantação de monitoramento por telemetria, que consiste na coleta e transmissão de dados remotos para fins de medição, controle e monitoramento à distância (SANTOS, 2004).

A técnica proposta de medição sem contato direto traz mais segurança para o sensor de pressão diferencial, pois este não fica submerso como em alguns sistemas atuais, como é o caso do sistema instalado na barragem eclusa em Bom Retiro do Sul. Além disso, modernos sensores de pressão são contemplados com um sistema de compensação de temperatura, tem um custo muito baixo e seu tamanho é bem reduzido, comparado a outros tipos de sensores para este mesmo fim. Bastante utilizados em projetos eletrônicos, por serem precisos e se adaptarem bem a aplicações portáteis (SHTARGOT, MIRZA e QAZI, 2012).

Durante o desenvolvimento deste trabalho, foram feitos diversos testes com o sensor de pressão diferencial, implementados através de um sistema protótipo. Os testes tiveram como objetivo a validação das funcionalidades dos sensores, para que assim fosse projetado o sistema definitivo.

Este documento está dividido da seguinte forma: o Capítulo 2 deste trabalho traz uma revisão de literatura sobre as tecnologias envolvidas no projeto; o Capítulo 3 apresenta mais detalhes da solução proposta; o Capítulo 4 descreve os testes e resultados obtidos com o equipamento desenvolvido e o Capítulo 5 traz as conclusões deste trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A hidrometria é a ciência da medida e análise das características físicas e químicas da água, inclusive dos métodos, técnicas e instrumentação utilizados (PROSSIGA, 2003).

Segundo Santos *et al.* (2001), medição de vazão em hidrometria é todo processo empírico utilizado para determinar a vazão de um curso de água. Em outras palavras, a vazão é medida do volume de água que passa através de uma seção transversal por unidade de tempo.

A aplicação de modelos matemáticos em hidrometria fornece dados para a medição das vazões (líquidas e sólidas), dos níveis de água em rios, lagos e represas, índices pluviométricos (chuva), entre outros parâmetros que interessam ao estudo da água na natureza (SISTEMA ESTADUAL DE INFORMAÇÕES AMBIENTAIS E RECURSOS HÍDRICOS, 2011).

De acordo com Pereira *et al.* (2003), dentro da hidrometria pode-se mencionar a fluviometria, que compreende as medições de vazões, velocidade e cotas de rios. Os dados fluviométricos são imprescindíveis para os estudos de aproveitamentos hidroenergéticos, como o planejamento de uso dos recursos hídricos, previsão de cheias, gerenciamento de bacias hidrográficas, saneamento básico, abastecimento público e industrial, navegação, irrigação, transporte e meio ambiente de modo geral.

Neste sentido, a fluviometria permite quantificar o regime dos rios, caracterizando suas grandezas básicas e os diversos parâmetros e curvas representativas. As grandezas são analisadas numa seção localizada no rio ou canal por uma estação fluviométrica (DA SILVA, 2009).

2.1 Cotas fluviométricas

Os níveis ou cotas fluviométricas são os valores obtidos por meio de régua linimétrica ou linígrafos para permitir a análise da vazão fluvial em uma determinada seção transversal de um rio (PUERTA, 2011). A fim de exemplificar, na Figura 2 pode-se verificar a cota momentânea do rio Itajaí-Açu demonstrada pela régua linimétrica.

Figura 2 - Régua linimétrica demonstrando a cota momentânea do rio Itajaí-Açu.

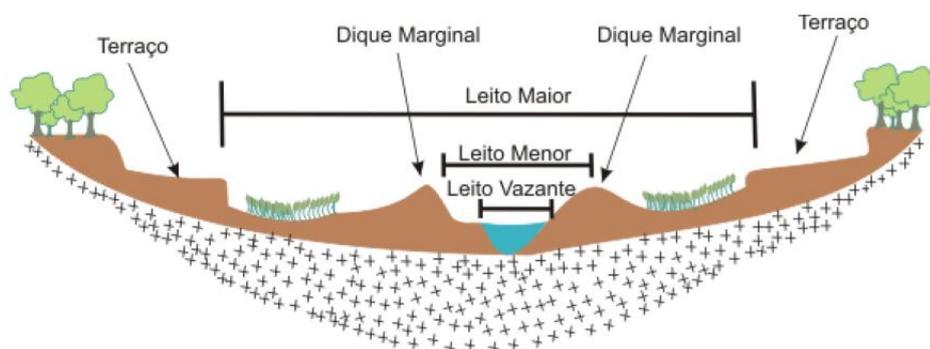


Fonte: (DEFESA CIVIL, 2013)

2.2 Leitos fluviais

O leito fluvial é denominado como sendo o canal de escoamento de um rio, tendo alguns atributos como maior, menor e vazante. A Figura 3 demonstra esta classificação.

Figura 3 - Perfil esquemático das formas fluviais dos cursos d' águas.



Fonte: (REIS, 2001)

O leito maior é definido como o leito menor mais a planície de inundação, sendo ocupado somente em épocas de inundações. O leito menor é definido pelos diques marginais, onde o escoamento da água é constante, impedindo o crescimento de vegetação. O leito vazante está dentro do leito menor, acompanhando a linha do rio de maior profundidade. Este leito é responsável pelo escoamento das águas em época de estiagem (CENTRO DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA E CULTURAL, 2013).

2.3 Desastres naturais

Os desastres são citados como o resultado de eventos adversos que proporcionam grandes impactos para a população, sendo caracterizados principalmente em função de sua origem, isto é, da natureza do fenômeno que o desencadeia (TOBIN e MONTZ, 1997).

Na natureza ocorrem vários tipos de eventos responsáveis pela estruturação da paisagem em geral. Se eles se deslocarem sobre um sistema social, pode-se gerar uma situação de muito perigo para as pessoas e seus bens. Caso aconteça com muita intensidade, ocasionando danos e prejuízos irreparáveis, é considerado um desastre (MARCELINO, 2007).

Dentre esses fenômenos, podem-se citar as enchentes e as inundações urbanas (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2013).

2.4 Enchentes e inundações

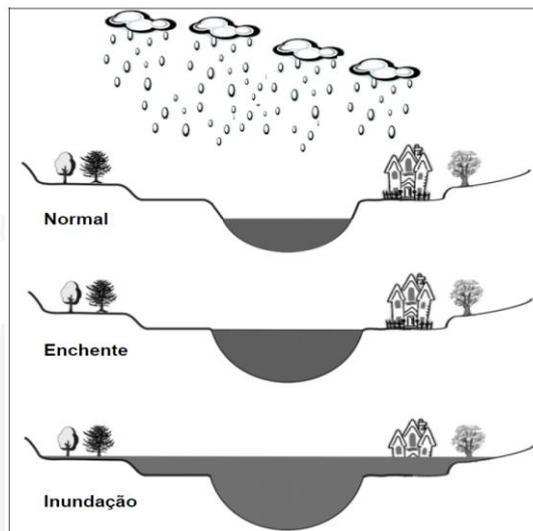
Teoricamente, a enchente é um fenômeno que resulta da insuficiência provisória de um canal de drenagem de conter, em seu leito menor ou calha habitual, o volume de água por ele recebido, o que leva ao extravasamento da água excedente (DELGADO, 2000).

Outra característica das enchentes é a elevação do nível d'água no canal de drenagem devido ao aumento da vazão, atingindo a cota máxima do canal, porém, sem extravasar (DEFESA CIVIL – CEDEC, 2011). A enchente em áreas ribeirinhas, que pelo seu processo natural o rio ocupa o seu leito maior, em média tem um tempo de retorno do evento superior a dois anos (TUCCI, 2003).

A inundação é um tipo particular de enchente, onde a elevação do nível da água normal atinge tal magnitude que as águas não se limitam à calha habitual do rio, extravasando para áreas marginais. Segundo Delgado (2000), a ocorrência de inundações está atrelada à união de fatores de ordem hidrológica e meteorológica, relacionados aos movimentos e

mudanças de estado da água na baixa atmosfera, na superfície e subsolo. A diferença entre enchente e inundação pode ser vista na Figura 4.

Figura 4 - Elevação do nível de um rio do nível normal até a sua inundação.



Fonte: (GOERL e KOBIYAMA, 2005)

Existem vários tipos de inundações, dentre as quais pode-se citar (DEFESA CIVIL - MG, 2013):

- a) Inundações repentinas, bruscas ou enxurradas, que ocorrem em regiões de relevo acentuado ou montanhoso. Surgem pela presença de grande quantidade de água num curto espaço de tempo, arrastando grande quantidade de materiais. À medida que escoam, têm grande poder destruidor.
- b) Inundações lentas ou de planície. Nestas as águas elevam-se de forma paulatina e previsível, mantendo-se em situação de cheia durante algum tempo e, a seguir, escoam gradualmente. Normalmente são cíclicas e nitidamente sazonais.
- c) Inundações em cidades ou alagamentos abrangem as águas acumuladas no leito das ruas e nos perímetros urbanos, por fortes precipitações pluviométricas, em cidades com sistemas de drenagem deficientes. Nestes alagamentos, o extravasamento das águas depende muito mais da drenagem, que, quando deficiente, dificulta a vazão das águas acumuladas e das precipitações locais. O

evento está diretamente relacionado com a redução da infiltração natural nos solos urbanos, a qual é gerada por:

- a) compactação e impermeabilização do solo;
- b) pavimentação de ruas e construção de calçadas;
- c) construção adensada de edificações;
- d) desmatamento de encostas e assoreamento dos rios;
- e) acumulação de detritos em galerias pluviais;
- f) insuficiência da rede de galerias pluviais.

2.5 Sistemas de monitoramento e alertas

O sistema de alerta tem o papel de prevenir inundações com antecedência, diminuindo os prejuízos com a remoção das pessoas das áreas de risco. Além disso, o sistema de alerta é essencial para os eventos que atingem com menor frequência as cotas maiores, onde as pessoas sentem-se seguras (TUCCI, 2003). Inundações bruscas necessitam de emissão de alertas pelos centros locais de previsão. O sistema de monitoramento, previsão e consequente alerta da ocorrência de inundação deve ser local (GOERL e KOBİYAMA, 2005).

No estado de Santa Catarina, a bacia hidrográfica do rio Itajaí, devido à sua grande extensão e instabilidade, demonstrou a necessidade de monitoramento. Em dezembro de 2008 começaram a ser instaladas as novas estações telemétricas em pontos estratégicos ao longo do rio Itajaí-Açu, através de uma parceria entre a Secretaria de Desenvolvimento Sustentável (SDS) do Estado de Santa Catarina e a Fundação Universidade Regional de Blumenau (FURB). As estações de monitoramento enviam dados de nível do rio e dados pluviométricos com intervalos de quinze minutos, modificando a frequência das informações em casos de risco de enchente. Os dados são transmitidos via celular ou satélite e centralizados no Centro de Operação do Sistema de Alerta da bacia hidrográfica do rio Itajaí-Açu (CEOPS), em Blumenau (DA SILVA, 2009).

2.6 Sistemas e métodos de medição nível

A medição de nível, ainda que muito simples em seus conceitos de aplicação, requer na prática estratégias e técnicas avançadas, principalmente para fins operacionais (CASSIOLATO, 2010).

Araujo (2009) descreve nível como a altura do conteúdo de um reservatório. Ainda comenta que através de sua medição é possível avaliar o volume estocado, fazer o balanceamento de materiais e aumentar a segurança e controle de alguns processos. Os três métodos básicos de medição de nível são:

- a) Descontínuo
- b) Direto
- c) Indireto

A seguir os três métodos são descritos:

2.6.1 Métodos descontínuos

Na medição descontínua, tem-se a indicação do nível somente no momento que este atinge certos pontos especificados, como, por exemplo, quando o nível atinge o máximo ou o mínimo do reservatório (CASSIOLATO, 2010).

2.6.2 Métodos diretos

A medição direta pode ser feita medindo-se diretamente a distância entre o nível do líquido e uma referência previamente definida. Uma das formas de obter-se a medida através desse método é a observação visual, utilizando-se réguas, visores de nível, boias etc. (CASSIOLATO, 2010).

2.6.3 Métodos indiretos

Na medição indireta, o nível é obtido indiretamente em função de outra grandeza física, a ele relacionado. Um exemplo disso é a medição da grandeza pressão, que abrange manômetros de tubo em “U”⁴, de níveis de borbulhador, de níveis de diafragma⁵, sensores de pressão diferencial, entre outros. Outro exemplo é através de propriedades elétricas que

⁴O manômetro de tubo em “U” é construído basicamente em tubo em forma de “U” preenchido com fluido manométrico até a sua metade, com extremidades abertas para a atmosfera. Seu princípio de funcionamento consiste na aplicação de pressão num de seus ramos o que leva o líquido descer por este ramo e a subir no outro (THOMAZINI e ALBUQUERQUE, 2005).

⁵Chave de nível diafragma é um método indireto de medição de nível, que mede o mesmo por meio de pressão. É formada por um corpo flexível, mergulhado no líquido a certa profundidade. A pressão exercida pelo líquido é transmitida pelo diafragma ao ar contido na caixa que está em contato com o manômetro de pressão (THOMAZINI e ALBUQUERQUE, 2005).

englobam sensores de nível capacitivos, detector de nível condutivo, radioativos, ultrassônicos, laser, etc (CASSIOLATO, 2010).

Percebe-se que houve uma adesão na indústria de instrumentação em desenvolver equipamentos relacionados aos sensores de pressão diferencial, que no caso são indicados para medição de rios, sensores de pressão absoluta e sensores de radar para aplicações envolvendo a medição de nível de rios e lagos (BLAINSKI, GARBOSSA e ANTUNES, 2012). Nas subseções 2.7.2.1 a 2.7.2.3 serão abordados os três tipos de sensores mais usualmente empregados para esta aplicação.

2.7 Estações fluviométricas

A estação fluviométrica é constituída, em síntese, de dispositivos para obtenção da cota fluviométrica, seção de medição de vazão e referências de nivelamento. É um posto de observação permanente do regime fluvial do rio (ELETROBRÁS, 2000).

O estudo da vazão de um curso d'água exige a instalação de uma estação fluviométrica, onde serão feitas, regularmente, observações de altura do nível da água e realizadas as medições de descarga líquida (ELETROBRÁS, 2000).

Em uma estação fluviométrica os dispositivos de medição do nível da água, régua linimétrica, devem estar instaladas e devidamente referenciadas a uma cota conhecida e materializada no terreno, instalados em uma seção do rio, em locais que ofereçam facilidades para a leitura das cotas ou medição de vazão, com fácil acesso por terra ou por barcos, próximos de pontes, etc (BOULOMYTIS, 2011).

A Agência Nacional de Águas realiza o monitoramento hidrometeorológico em aproximadamente 1.075 estações fluviométricas, distribuídas nas 12 regiões hidrográficas brasileiras. Esta rede hidrometeorológica possui aproximadamente 283 estações telemétricas obtendo dados hidrológicos em tempo real e disponibilizando-os em um site na internet (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2012).

2.7.1 Estações fluviométricas manuais ou convencionais

Nas estações fluviométricas convencionais sua composição se dá por lances de régua linimétrica, conforme vista na Figura 5, cujos dados podem ser registrados por observadores,

em cadernetas específicas, em, pelo menos, duas leituras diárias, às 07h e 17h. (SUPERINTENDÊNCIA DE GESTÃO DA REDE HIDROMETEOROLÓGICA, 2012).

Figura 5 - Estação fluviométrica convencional.



Fonte: (SUPERINTENDÊNCIA DE GESTÃO DA REDE HIDROMETEOROLÓGICA, 2012)

A Eletrobrás (2000), aconselha o uso de régua em alumínio anodizado, com escala centimétrica estampada, com comprimento de 1,0 m. A estação deverá ter pelo menos um observador que deve conhecer bem o local ou ser morador da região. Esse observador será orientado para anotar as leituras de régua e lhe será fornecida uma caderneta de campo. Em caso de uma enchente extrapolar o lance de régua, este observador deverá marcar com uma pequena estaca a altura atingida (ELETROBRÁS, 2000).

A cota fluviométrica também pode ser obtida através de registradores contínuos, chamados linígrafos. Esses equipamentos, semi-automáticos, não dispensam o comparecimento de um operador na realização de tarefas de manutenção e troca de materiais, tais como papel para gráficos, penas, tinta, etc (ELETROBRÁS, 2000).

A escolha do local para instalação da estação fluviométrica deverá seguir alguns critérios, como por exemplo o acesso ao local de implantação da estação, que deverá ser permanente e o trecho do rio onde se localizará a estação deverá ser reto. Na seção de medição de vazão, o escoamento deverá ser laminar (tranquilo) sem turbulências ou redemoinhos. Faz-se necessário ainda que as margens sejam estáveis e suficientemente altas para impedir que, nas cheias, o rio transborde (ELETROBRÁS, 2000).

A Resolução Conjunta da ANEEL/ANA nº 03, de 2010, não condiciona a instalação de réguas linimétricas, também não fala sobre a realização de leituras convencionais. Porém, recomenda ao menos a instalação de lances de réguas na seção do rio, para facilitar a observação das cotas durante a realização de medições e para a verificação do ajuste dos sensores de nível. As estações convencionais são comumente visitadas a cada três meses para manutenção e ajustes (SUPERINTENDÊNCIA DE GESTÃO DA REDE HIDROMETEOROLÓGICA, 2012).

2.7.2 Estações fluviométricas automáticas

Esse tipo de estação tem como objetivo mensurar o nível do mar, rios, lagos, poços etc, automaticamente, enviando esses dados pela internet, através de um sistema GSM ou satélite. Os dados enviados pelo equipamento ficam armazenados em servidores onde o usuário possui a senha para acessar os mesmos na internet em qualquer lugar do mundo.

Além de mensurar nível, a estação também pode medir outras variáveis como o índice de chuva, a velocidade e direção do vento, assim como outros diversos sensores existentes (SUPERINTENDÊNCIA DE GESTÃO DA REDE HIDROMETEOROLÓGICA, 2012).

Essas estações são constituídas dos seguintes componentes:

- a) Fonte de energia;
- b) *datalogger* (registrador de dados);
- c) sensores;
- d) sistemas de transmissão;
- e) infraestrutura.

O bom funcionamento das estações fluviométricas automáticas também depende da integração adequada de seus componentes, muitas vezes de fabricantes diferentes (SUPERINTENDÊNCIA DE GESTÃO DA REDE HIDROMETEOROLÓGICA, 2012).

Na Figura 6, pode-se ver uma estação hidrológica instalada na cidade de Belo Horizonte, com o propósito de monitorar precipitações e o nível do rio. Os dados são transmitidos via GSM a cada 10 minutos para um banco de dados que tem a função de gerenciar condições ou eventos críticos. Além de monitorar as duas variáveis, precipitação e nível do rio, o sistema envia alarmes via SMS para os órgãos de Defesa Civil e Prefeitura. A

partir desses dados são tomadas decisões antecipadamente evitando tragédias (HOBECO SUDAMERICA, 2011).

Figura 6 - Estação hidrológica com sensor radar em Belo Horizonte – MG.



Fonte: (HOBECO SUDAMERICA, 2011)

A transmissão de dados das estações hidrológicas tem como base aqui no Brasil a resolução conjunta ANEEL/ANA nº 03, de 2010, que determina que os dados, coletados pelos equipamentos automáticos e telemétricos, deverão ser transmitidos para uma central de apoio, de responsabilidade das entidades operadoras das estações de monitoramento, em intervalos mínimos de 1 hora, onde deverão ser armazenados em uma base local, processados, qualificados e transmitidos para a ANA (ANEEL, 2010).

A infraestrutura abrange todas as estruturas necessárias ao funcionamento adequado da estação, como suportes, cercados, abrigos, aterramento. A qualidade dos dados adquiridos depende em grande parte de uma correta instalação da infraestrutura, especialmente dos sensores (SUPERINTENDÊNCIA DE GESTÃO DA REDE HIDROMETEOROLÓGICA, 2012)

2.7.2.1 Sensores de pressão absoluta

Na maioria das vezes a pressão é medida tendo por referência à pressão atmosférica, que é a que corresponde ao ambiente natural em locais abertos. Essa pressão é denominada

relativa. Entretanto, em várias aplicações é importante que a pressão seja medida em relação ao vácuo. Nesse caso, obtém-se a medida absoluta da pressão (BRAGA, 2007).

Para exemplificar utilizações práticas, podem-se citar alguns modelos comerciais dos sensores que utilizam esse método de medição (Figura 7):

- a) Sensor PAA-36XW - Pressão absoluta: Este sensor é indicado quando a pressão atmosférica é medida com outro transmissor sendo o nível calculado como a diferença entre o valor absoluto e a pressão ambiente (KELLER DRUCK, 2012).
- b) MPX2100AP: Muito parecido com o MPX2100DP, que mede pressão diferencial, utiliza o método de pressão absoluta (FREESCALE SEMICONDUCTOR, 2008).

Figura 7 - Sensor de pressão absoluta PAA-36XW e MPX2100AP.



Fonte: (KELLER DRUCK, 2012) e (FREESCALE SEMICONDUCTOR, 2008)

2.7.2.2 Sensor radar

Este tipo de sensor pode ser aplicado na medição de nível de líquidos em geral, com ênfase em tanques e reservatórios (BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2007). O sensor radar possui uma antena que emite pulsos eletromagnéticos na faixa de frequências entre 5 e 30

GHz. Existem os sensores do tipo radar por pulso funcionando quando a distância entre a antena e a superfície a ser medida é calculada em função do atraso entre a emissão de um pulso descontínuo e a recepção do pulso refletido, e ainda do tipo radar por frequência modulada, quando é emitido um sinal contínuo de frequência variável, e o receptor avalia a diferença de frequência entre o sinal emitido e refletido (BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2007).

Na Figura 8 podem-se ver dois sensores comerciais para medição de nível, um do fabricante Siemens e outro do fabricante Vega. Os mesmos possuem resoluções na faixa de 2 a 5 mm, e alcances da ordem de 1 a 35 m (VEGA, 2012 e SIEMENS, 2012).

Figura 8 - Sensores radar Vegapuls 61 e Sitrans LR250.



Fonte: (VEGA, 2012 e SIEMENS, 2012)

2.7.2.3 Sensores de pressão diferencial

O método de medição por pressão diferencial é regido por alguns passos imprescindíveis para que torne possível utilizá-lo.

2.7.2.3.1 Pressão da coluna de líquido

Conceitualmente, segundo Halliday *et al.* (2009), o Teorema de Stevin, descreve que a pressão desenvolvida por um fluido depende exclusivamente da sua altura, dando assim, uma explicação para o chamado paradoxo hidrostático ou pressão hidrostática, definida pelo produto do peso específico pela gravidade e altura da coluna desse líquido (Figura 9).

Esta relação é apresentada na equação 1.

$$P = \delta \cdot g \cdot h \quad (1)$$

Onde:

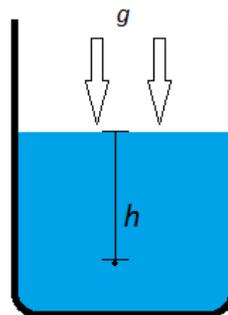
P é a pressão exercida pelo líquido, em quilo pascal (kPa);

δ é a densidade do líquido, em quilograma por metro cúbico (kg/m^3);

g é a aceleração da gravidade, em metros por segundo ao quadrado (m/s^2);

h é a altura da coluna de água, em metros (m).

Figura 9 - Altura da coluna d'água.



Fonte: Autor

Em um fluido qualquer, a pressão não é a mesma em todos os pontos. Porém, se um fluido homogêneo estiver em repouso, então todos os pontos numa superfície plana horizontal estarão à mesma pressão (HALLIDAY, RESNICK e WALKER, 2009). Considerando que os pontos A e B estão no interior de um fluido de densidade definida, a diferença de nível entre

esses pontos é h . Como o líquido está em equilíbrio, a força resultante que atua no sistema deve ser nula, desta forma tem-se que:

$$P_A = \delta \cdot g \cdot h_A \quad (2.a)$$

$$P_B = \delta \cdot g \cdot h_B \quad (2.b)$$

$$P_A - P_B = (\delta \cdot g \cdot h_A) - (\delta \cdot g \cdot h_B) \quad (2.c)$$

$$h = P_A - P_B \quad (2.d)$$

$$h = \delta \cdot g \cdot (h_A - h_B) \quad (2.e)$$

Onde:

P_A é a pressão no ponto A, em kPa;

P_B é a pressão no ponto B, em kPa;

δ é a densidade do líquido, em quilograma por metro cúbico (kg/m^3);

g é a aceleração da gravidade, em metros por segundo ao quadrado (m/s^2);

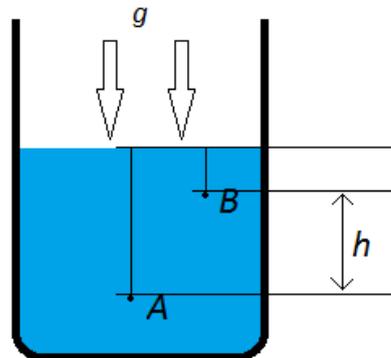
h_A é a altura do ponto A, em metros;

h_B é a altura do ponto B, em metros;

h é a diferença de altura entre os dois pontos, A e B, em metros.

Com a equação 2.e pode-se obter a diferença de altura entre os pontos A e B conforme se pode ver na Figura 10. Utilizando essa técnica pode-se obter assim o nível do líquido a ser mensurado.

Figura 10–Diferença entre de altura entre os pontos A e B.



Fonte: Autor

2.7.2.3.2 Densidade

Segundo Young *et al.* (2008) a densidade é definida como a massa dividida por unidade de volume. No Sistema Internacional (SI) a unidade de densidade é o quilograma por metro cúbico (kg/m^3), mas a grama por centímetro cúbico (g/cm^3) também é muito empregada.

Um material homogêneo, por exemplo, gelo ou ferro possuem a mesma densidade em qualquer uma de suas partes. Além disso, dois objetos feitos com o mesmo material têm a mesma densidade, mesmo que tenham massas e volumes diferentes. Esse fato se dá pela razão entre a massa e o volume (equação 3) ser a mesma nos dois objetos (YOUNG e FREEDMAN, 2008).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3)$$

Onde:

ρ é a densidade (kg/m^3)

m é a massa (kg)

V é o volume (m^3)

2.7.2.3.3 Sensor Freescale Semiconductor MPX2100DP

O dispositivo MPX2100DP (Figura 11), da série MPX2100, é um sensor de pressão de piezo-silício, o qual proporciona uma tensão de saída com 0,25% de linearidade diretamente proporcional à pressão aplicada. O sensor é um diafragma de silício único, monolítico com a função de medir uma fina película resistiva integrada (FREESCALE SEMICONDUCTOR, 2008).

Este sensor é composto por um chip encapsulado, projetado para não haver deslocamento ou até mesmo vazamentos de ar comprimido. Além disso, este sensor foi desenvolvido com compensador de temperatura, fazendo com que as variações de temperatura não afetem o resultado de suas medições (FREESCALE SEMICONDUCTOR, 2008).

Suas principais características são:

- a) temperatura compensada de 0° C a +85 °C;
- b) faixa de medição de 0 kPa até 100 kPa;
- c) consumo de corrente de 6 mA;
- d) sensibilidade de 0,4 mV/kPa.
- e) baixo custo.

Figura 11 - MPX2100DP.



Fonte: (FREESCALE SEMICONDUCTOR, 2008)

Segundo seu fabricante, Freescale (2008), este sensor tem uma sensibilidade de 0,4 mV/kPa, e pode sofrer uma sobrepresão de até 400 kPa ($P1 > P2$), onde P1 é uma das entradas de pressão e P2, respectivamente, a outra entrada.

2.8 Global system for mobile (GSM)

O GSM é uma tecnologia de telefonia celular digital aberta, empregada para transmissão de voz e dados. O sistema GSM foi inicialmente idealizado para ser um sistema de uso restrito em países europeus. Pouco tempo depois de sua implantação percebeu-se que seu alcance poderia ser global, mas para isso algumas alterações em seus serviços tiveram que ser realizadas. O padrão GSM foi originalmente desenvolvido pelo ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*). Atualmente o 3GPP (*Third Generation Partnership Project*) é o mantenedor e responsável pelo padrão.

O lançamento da primeira rede GSM ocorreu em 1991, na Finlândia. O padrão GSM foi adotado no Brasil em 2002, possuindo uma largura de canal de 200 kHz, com oito (13 kbits/s) ou 16 (5,6 kbits/s) usuários por canal, sobre uma largura de banda disponível de 75 MHz (1785 – 1710 MHz) (SVERZUT, 2008). Atualmente existem, somente no Brasil, mais de 264 milhões de assinantes (TELECO, 2013).

2.8.2 Cartão SIM

Uma das principais funcionalidades do sistema GSM é a interface para cartão SIM (*Subscriber Identity Module*), que é um cartão inteligente (*smart card*). Este cartão contém informações importantes, como seu número de série, o número de identificação único do assinante conhecido como IMSI (*International Mobile Subscriber Identity*), Ki (uma chave para autenticação) e outras informações do usuário, como por exemplo, a lista de contatos (NOLDUS, 2006). A Figura 12 apresenta um cartão SIM.

Figura 12 - Cartão SIM.



Fonte: (RICKNAS, 2012)

Este cartão é utilizado para autenticação do usuário na rede GSM. Quando o assinante coloca o cartão em um aparelho celular e liga o aparelho, o mesmo inicia um processo de

registro na rede GSM da operadora baseado em informações contidas no cartão. A utilização do cartão SIM traz maior segurança tanto para o usuário como para a operadora, permitindo ainda que o usuário possa trocar de aparelho sem perder suas informações de autenticação e dados (IEC, 2007).

2.9 Energia fotovoltaica

O efeito fotovoltaico faz com que células solares convertam diretamente a energia do sol em energia elétrica, de forma estática, silenciosa, não poluente e renovável (RÜTHER, 2004).

O sol pode ser considerado como um reator a fusão nuclear trabalhando a cerca de 100.000.000 °C, a uma distância da terra de cerca de 150.000.000 km. Em seu movimento de translação ao redor do Sol, a Terra recebe 1.410 W/m² de energia. Desse montante, aproximadamente 19% é absorvido pela atmosfera, 35% é refletido pelas nuvens, sendo o restante, 46% é absorvido pela superfície terrestre. Ao passar pela atmosfera terrestre, a maior parte da energia solar está na forma de luz visível e luz ultravioleta (SOLAR ENERGY, 2012). Módulos solares fotovoltaicos (Figura 13) convertem diretamente a energia da luz do sol em energia elétrica confiável, limpa e sem interferências externas. Matrizes de células solares são associadas de forma a produzir a tensão desejada pelo efeito fotoelétrico (FONTES, 2013).

Os módulos solares fotovoltaicos atendem diversas aplicações como suprimento de energia para estações remotas de telecomunicações, telemetria e para embarcações (SOLENERG ENGENHARIA E COMERCIO LTDA, 2009).

Figura 13 - Módulo solar fotovoltaico.



Fonte: (YOMACAMA EMPREENDIMENTOS, 2013)

Qualquer equipamento, ao prever armazenamento de energia, utiliza baterias estacionárias (banco de baterias), dimensionadas geralmente para suprir a demanda necessária, possibilitando a autonomia do equipamento. Incorpora também controlador ou regulador de carga, que carrega adequadamente a bateria, protege contra sobrecargas e descargas excessivas, evita o retorno de energia para o módulo, etc.

3 DESCRIÇÃO DO SISTEMA DESENVOLVIDO

O sistema proposto foi desenvolvido com o intuito aplicar o método de medição por pressão diferencial utilizando um sensor MPX2100DP. Este teve por objetivo medir o nível do rio, comprovando que o método de medição consegue desempenhar bem o papel de aquisição de nível de líquidos, neste caso rios e lagos. Esta subseção está dividida em duas partes, hardware e software, para facilitar o entendimento.

3.1 Componentes do hardware

A estação fluviométrica automática, deste trabalho, funciona coletando as informações de nível do rio utilizando dois sensores de pressão diferencial MPX2100DP, tratando os dados obtidos em um sistema microcontrolado, armazenando as informações no próprio equipamento em um cartão de memória, transmitindo os dados de tempos em tempos via GSM.

Neste equipamento também foi previsto um sistema de alimentação com energia fotovoltaica, envolvendo um controlador de cargas e descargas e uma bateria estacionária.

Além disso, a solução proposta armazena as informações em um servidor de dados, divulgando os dados para o usuário através de um software, alertando quando necessário sobre eventos programados e interagindo com o usuário quando solicitado através de mensagens SMS.

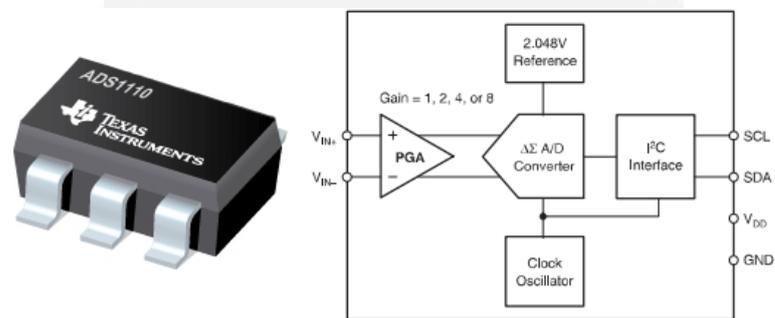
3.1.2 Sistema de aquisição de dados dos sensores

A placa de circuito impresso (apêndice A), que realiza o trabalho de aquisição e condicionamento do sinal do sensor, tem o propósito de ser um sistema integrado que une os sensores de pressão diferencial, um cartão de memória, um condicionador de sinais, um multiplexador analógico diferencial, um sistema de comunicação serial e um conjunto de indicadores luminosos e indicativos.

Mais especificamente, o conjunto para adquirir o sinal dos sensores é composto por três componentes, um primeiro deles é o CI ADS1110 (Figura 14), que é um conversor analógico-digital (A/D), feito pelo fabricante Texas Instruments. Algumas características deste CI são:

- a) autocalibração;
- b) entradas diferenciais;
- c) 16 bits de resolução;
- d) protocolo de comunicação I²C;
- e) alimentação de 2,7V a 5,5V.

Figura 14 - Esquemático ADS1110.

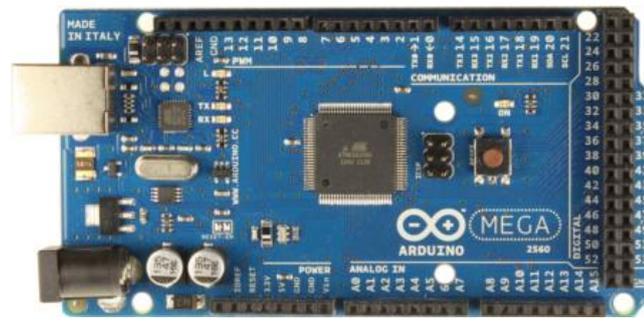


Fonte: (TEXAS INSTRUMENTS, 2003)

O ADS1110 pode realizar conversões com taxas de 15, 30, 60, ou 240 amostras por segundo. Ele é composto por um amplificador operacional de ganho programável, que oferece amplificação interna de sinais ou ganhos de até oito vezes (TEXAS INSTRUMENTS, 2003).

Os dados coletados pelo ADS1110 são tratados por uma placa de desenvolvimento chamada Arduino (Figura 15), que é uma placa de prototipação baseado em um microcontrolador da família AVR do fabricante ATMEL, modelo ATmega 2560. Ele é composto por 54 pinos de entrada ou saídas digitais, controlador USB e uma entrada de alimentação. Além disso, suporta a comunicação I²C que é um tipo de barramento de comunicação utilizado por microcontroladores (EISENREICH e DEMUTH, 2002). O Arduino fez-se necessário pela grande quantidade de pinos de entradas ou saídas digitais, onde neste projeto foram utilizadas 19 desses pinos. Outro motivo de ter-se escolhido essa placa de desenvolvimento foi pela facilidade de sua programação, o qual se utiliza bibliotecas prontas de código aberto.

Figura 15 – Arduino.



Fonte: (ARDUINO, 2013)

Pela necessidade de se fazer a leitura de 2 sensores de pressão diferencial, utilizou-se um multiplexador analógico do modelo HEF4052B.

Este multiplexador possui quatro entradas de sinais analógicos diferenciais, como é o caso dos sensores de pressão utilizado. São capazes de adquirir sinais em suas entradas de e enviar para sua única saída. Ele pode ser controlado pelo microcontrolador do Arduino, acionando suas duas entradas digitais nos pinos 9 e 10. Por exemplo, se selecionar-se a configuração 00, ou seja, 0 V nos dois pinos, o CI direciona a entrada analógica “0” para a sua saída; se seleciona-se 01, o mesmo direciona a entrada “1” para a saída; 10 direciona a entrada “2” para a saída, e assim sucessivamente. Desta forma, basta selecionar o canal o qual se quer adquirir sinal através de desses dois bits de seleção (NXP SEMICONDUCTORS, 2011).

Quando ocorre o direcionamento do sinal do sensor pelo HEF4052B para o ADS1110, este amplifica o sinal em quatro vezes, conforme defino em seu PGA, portanto, se o sinal do sensor MPX2100DP estiver em fundo de escala, ele terá um valor de tensão de 40 mV, compatível com o ADS1110, o qual suporta até 2 V de tensão de entrada (TEXAS INSTRUMENTS, 2003). O ADS1110 converte essa tensão em informação digital e envia um número decimal para o Arduino através do barramento I²C, conforme o ganho que lhe foi programado, neste caso o valor máximo lido do sensor MPX2100DP é de 466 que equivale 10 m de profundidade ou 100 kPa de pressão inserida na entrada do sensor, chamada P1.

3.1.3 Tratamento dos dados

O valor enviado pelo ADS1110 e recebido pelo Arduino, referente ao sinal do sensor 0, representa o sensor que cobre os primeiros 10 metros de profundidade, este pode variar o seu valor representado por um número decimal que vai de 73 até 466, equivalendo 0 kPa e

100 kPa, respectivamente. Devido a linearidade de 0,25% deste sensor (FREESCALE SEMICONDUCTOR, 2008), precisou-se implementar uma equação de segunda ordem. Para isso fez-se necessário amostrar cinco valores para formular a equação. Os valores foram obtidos através de uma simples calibração do sensor em vários níveis de profundidade conforme demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Pontos obtidos para equação dos sensores de pressão.

Valor do ADS1110 (X)	Altura do líquido em metros (Y)
73	0,00
157	2,50
251	5,00
350	7,50
466	10,00

Fonte: Autor

A equação foi construída utilizando-se o software Microsoft Excel versão 2007, a resolução do equipamento deste trabalho, segundo a equação formulada, ficou em 3 cm.

A equação 4, foi aplicada no software de controle do Arduino, a qual trata o sinal recebido dos sensores (Figura 16).

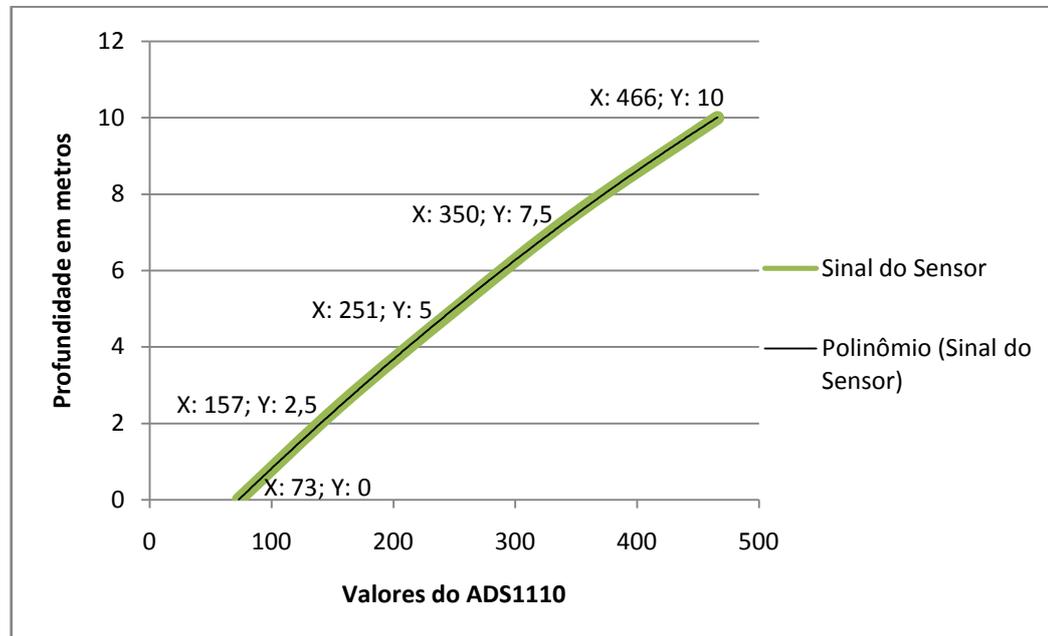
$$Y = -0,00001X^2 + 0,032X - 2,299 \quad (4)$$

Onde:

Y é o valor convertido em metros.

X é o valor obtido do ADS1110.

Figura 16 - Sinal do sensor versus polinômio do sinal do sensor.



Fonte: Autor

Os sinais dos sensores são somados, após passar pela equação, resultando no nível do rio que está sendo mensurado. Além disso, também foram implementados no código do microcontrolador o cálculo das médias de níveis da hora e do dia, inclusive seus máximos e mínimos.

Na seção de resultados os dados de comparação com o sistema de referência serão apresentados.

3.1.4 Armazenamento dos dados

Continuando a descrição de funções acrescentadas na placa, projetou-se para que as informações tratadas sejam armazenadas em um cartão de memória com 4 GB de espaço para armazenamento de dados. Este sistema funciona como *backup* de dados e é armazenado no local. Os pacotes salvos ocupam 400 bytes, portanto a memória suportará armazenar 10,7 milhões de pacotes, demonstrada no cálculo abaixo:

$$NP = \text{MemSD}/BP \quad (5)$$

Onde:

NP é o número de pacotes que o cartão de memória suporta;

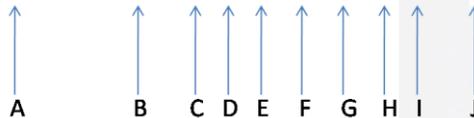
MemSD é a memória total do cartão;

BP é a quantidade de *bytes* do pacote padrão.

O pacote padrão de dados armazenado no cartão de memória detalha-se da seguinte forma, separados por ponto-e-vírgula:

Figura 17– Pacote padrão de dados.

10/09/2013,13:40:43;1.81;0.00;0;824;34;1.81;0;1.81;1.81;



Fonte: Autor

Onde:

- A. Data, hora;
- B. nível do rio no momento, em metros, sensor 0;
- C. nível do rio no momento, em metros, sensor 1;
- D. estado do lacre da caixa, em número binário;
- E. tensão da bateria, indiretamente em nível de A/D;
- F. temperatura da placa, em graus Celsius;
- G. nível médio do dia, em metros;
- H. nível médio da hora, em metros;
- I. nível máximo do dia, em metros;
- J. nível mínimo do dia, em metros.

O estado do lacre da caixa de painel elétrico indica quando a mesma foi aberta, até pelo fato de que este equipamento possa em alguma situação ser instalado em uma região onde precise de um sistema de segurança. Nestas circunstâncias quando o lacre, neste caso

uma chave de fim de curso, for violado, a placa controladora do sistema envia para o módulo GSM um pacote de dados contendo o byte de informação indicando esta ação, este por sua vez envia de imediato uma mensagem SMS para o telefone do monitor do sistema contendo a seguinte frase “A caixa que abriga o sistema (nome do local) foi aberta! Hora: hh:mm:ss”. O envio desta mensagem se repete a cada dois minutos enquanto a caixa estiver aberta.

Todas as informações são salvas de 30 em 30 segundos, ou seja, 2880 gravações diárias, comandadas pelo envio da data e hora, enviado pelo módulo GSM, por comunicação serial para o Arduino. Quando este envia a data e hora, o microcontrolador do Arduino faz uma rotina leitura dos sensores, cálculo das médias e de gravação do pacote no cartão de memória.

Com essa frequência de gravação definida, o cartão de memória deve armazenar os dados durante aproximadamente 10,2 anos, sem precisar ser substituído, esse cálculo pode ser visto na equação 6:

$$(NP \div \text{gravDiárias}) \div \text{diasAno} \cong \text{tempoArm} \quad (6)$$

Onde:

NP é o número de pacotes que o cartão de memória suporta (10.737.418);

gravDiárias é a quantidade de pacotes gravados diariamente (2880 gravações);

diasAno são a quantidade de dias em 1 ano (365 dias);

tempoArm é o tempo em anos que o cartão irá armazenar os dados (10,2 anos).

3.1.5 Sistema de alimentação de energia elétrica

Para que o equipamento pudesse ser instalado em locais de difícil acesso foi previsto um sistema de alimentação por energia fotovoltaica, o qual é composto por um controlador de cargas e descargas e por uma bateria estacionária.

Para isto foi escolhido um controlador de cargas e descargas comercial, da marca Unitron, modelo SML 10 A (Figura 18), este controlador possui tensão nominal de 12 ou 24 V com troca automática, suporta uma corrente máxima de saída de 10 A, é de fácil instalação, tem dimensões reduzidas e seu consumo em repouso é de apenas 4 mA (UNITRON ENGENHARIA, INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA, 2013).

Figura 18 - Controlador de cargas e descargas SML 10 A, Unitron.



Fonte: (UNITRON ENGENHARIA, INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA, 2013)

Por questões de espaço no painel elétrico foi utilizada uma bateria, de chumbo-ácida regulada por válvula, comercial da marca Unipower com dimensões reduzidas (151 x 94 x 100 mm), tensão nominal de 12 V, capacidade nominal de 7 Ah e compatível com aplicações de energia fotovoltaica (UNIPOWER, 2013).

3.1.6 Mostrador de nível no local

Foi previsto para este projeto um *Liquid-crystal display* (LCD) de 16x2 caracteres (Figura 19), esses módulos LCD são interfaces de saída muito útil em sistemas microprocessados, pois facilitam a visualização das informações no local. Estes módulos podem ser gráficos e a caracter. Os módulos LCD gráficos são encontrados com resoluções de 122x32, 128x64, 240x64 e 240x128 dots pixel, e geralmente estão disponíveis com 20 pinos para conexão (BARBACENA e FLEURY, 1996).

Para o equipamento desenvolvido neste trabalho o *display* auxilia na calibração dos sensores e para operadores que tem acesso local ao equipamento.

Figura 19 - Display de LCD.



Fonte: (SKPANG ELETRONICS, 2013)

3.1.7 Transmissão dos dados e funções do módulo GSM

Esta seção é uma das mais importantes neste projeto, pois sem ela não é possível monitorar remotamente o nível rio a ser medido. Para esse monitoramento e gerenciamento do

sistema foi utilizado o módulo GSM chamado TC65T Terminal, o qual faz o controle de data e hora e de quando enviar ou requer alguma informação da placa Arduino, muito parecido com um sistema mestre escravo, onde o mestre seria o módulo GSM e o escravo o Arduino. O TC65T Terminal fabricado pela empresa Cinterion, representado pela Figura 20, é um equipamento que combina um módulo *Quad-Band*, que pode operar em quatro faixas de frequências diferentes (GSM 850/900/1800/1900 MHz), e um microcontrolador ARM© *CoreBlackfin*© DSP, modelo ARM7EJ-S (CINTERION WIRELESS MODULES, 2008).

Figura 20 - TC65T Terminal Cinterion.



Fonte: (CINTERION WIRELESS MODULES, 2008)

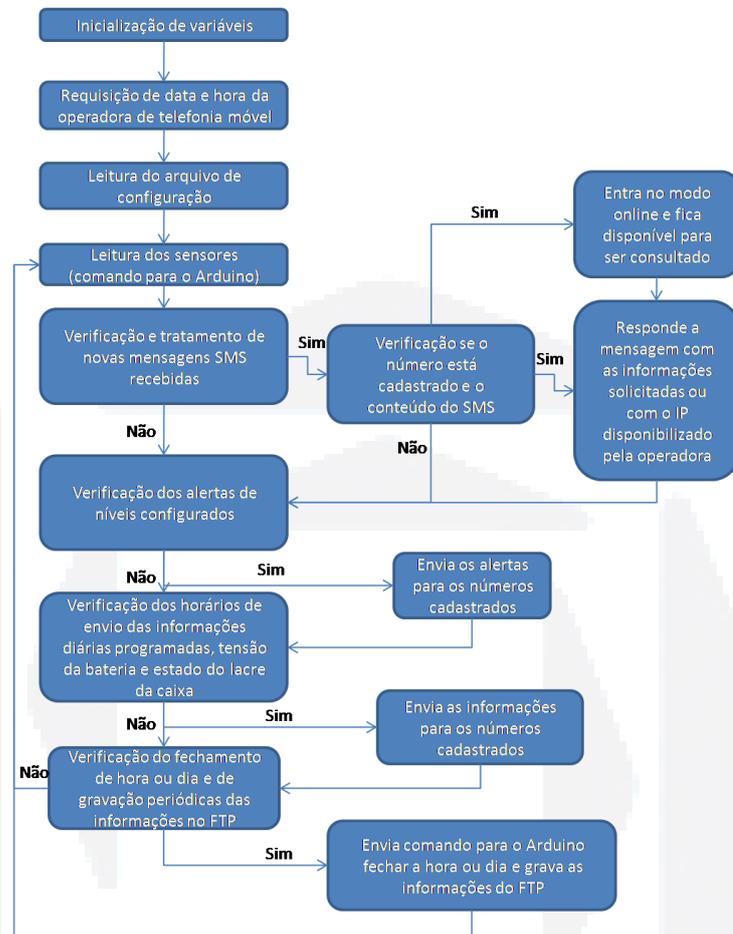
O módulo TC65T está preparado para desempenhar funções de SMS, ligações telefônicas, FTP e *web service*⁶. Todas as funções tiveram que ser desenvolvidas no módulo em linguagem Java J2ME⁷, além de serem personalizadas para esta aplicação.

No diagrama da Figura 21 pode-se ver com detalhes a rotina de programação do módulo.

⁶ *Web service*, é definido pela *World Wide Web Consortium (W3C)*, como um meio padrão de interoperabilidade entre diferentes aplicações de software, rodando em uma variedade de plataformas diferentes. Tem uma interface descrita em um formato processável por máquinas. Tipicamente transportadas por *Hipertext Transfer Protocol (HTTP)* e um conjunto com outros padrões relacionados a rede (WORLD WIDE WEB CONSORTIUM, 2004).

⁷ Java J2ME é uma linguagem de programação que utiliza uma tecnologia que possibilita o desenvolvimento de aplicações para sistemas embarcados. (ORACLE CORPORATION, 2013).

Figura 21 - Rotina de programação do módulo GSM.



Fonte: Autor

Esta rotina representa todas as funções que o módulo executa inicializando pela criação de todas as variáveis utilizadas no programa; requerendo a data e a hora da operadora de telefonia móvel para manter seu sistema atualizado; lendo os arquivos de configuração, os quais contem os números de telefones dos usuários cadastrados, o horário dos avisos e alertas e o numero de telefone do seu próprio cartão SIM; após inicia-se os envios dos comandos para que o Arduino execute a leitura dos sensores e responda para o módulo, alimentando as variáveis que serão utilizadas nas funções descritas nas próximas subseções.

3.1.7.1 SMS de informações

Sempre quando o usuário envia um SMS com a solicitação, o módulo responde com a informação solicitada somente para o usuário que a requereu. Para que isto ocorra o usuário deve envia um SMS para o módulo GSM que compõe equipamento com a palavra “INFO”.

A mensagem de resposta é composta pelo nome do local de instalação, a data e hora que o sistema enviou a mensagem, o nível do rio no momento do envio, o estado do lacre da caixa que abriga o sistema, a tensão da bateria que alimenta o sistema, a temperatura dos sensores de pressão diferencial MPX2100DP, o nível médio da hora, o nível médio do dia, o nível máximo do dia e o nível mínimo do dia.

3.1.7.2 Web service para monitoramento em tempo real

Esta função, que foi criada no módulo, é a de *web service*, na qual o módulo GSM é indexado a um endereço de IP criado pela operadora de telefonia móvel, deixando disponíveis seus arquivos de dados para que possam ser acessados pela internet a qualquer momento. Para que esta função seja ativada no módulo o usuário deverá enviar uma mensagem SMS com a palavra “WEBI”, após alguns segundos o usuário recebe um SMS contendo a frase, “Acesse o IP: <http://186.254.168.185/online>” para poder acessar as informações em tempo real no software de monitoramento. O endereço de IP muda a cada solicitação de acesso a função *web service*. Este endereço é seguido da palavra “online”, a qual define um arquivo do módulo que é atualizado a cada 2 minutos.

Este arquivo “online”, do módulo GSM, contém todas as informações do pacote padrão de dados, atualizado de dois em dois minutos.

3.1.7.3 Horário de verão

Para que o sistema não fique desatualizado com a troca para o horário de verão, basta que o usuário envie uma mensagem SMS com a palavra “HORA”, desse ponto em diante o módulo atualiza seu RTC (*Real-time clock*), que nada mais é que o relógio do sistema. O usuário recebe a um SMS de confirmação: "Sistema de monitoramento (cliente). Hora atualizada: hh:mm:ss.”

3.1.7.4 Alertas de nível

O sistema também envia alerta de nível, estas mensagens podem ser configuradas para serem enviadas periodicamente.

Na mensagem pode-se ver o título de alerta e sua classificação, o local onde está instalado o equipamento, o nível do rio e a hora que a informação foi enviada.

Na Tabela 2 podem-se ver as classificações de alerta e intervalos de tempo de envio de SMS para o monitor do sistema.

Tabela 2 – Classificação de alerta e intervalos de tempo.

Alertas	Nível em metros	Intervalo de tempo
1	> 6 e <= 13	30 min.
2	> 13 e <= 16	1 h
3	> 16 e <= 17	1 h
4	> 17	2 h

Fonte: Autor

3.1.7.5 Gravação de dados no servidor de FTP

A função de FTP foi configurada para gravar os dados no servidor com intervalos de 15 minutos, assim os dados serão gravados automaticamente, sem necessidade de solicitação. Quando ocorre uma falha na gravação do pacote no servidor de FTP o módulo GSM acumula esse pacote e tenta enviar no próximo minuto. Se mesmo assim não conseguir, o mesmo ficará tentando enviar até que a transmissão ocorra com sucesso.

Para que o usuário fique informado sobre esses eventos, um SMS é enviado com a frase “Erro na gravação de arquivo!”

3.1.7.6 SMS de informações diárias automáticas

No sistema que controla o módulo GSM também implementou-se uma função de envio de informações diárias automáticas, a mensagem é idêntica a resposta do envio da palavra “INFO”, porém são enviadas sem necessidade de solicitação.

3.1.7.7 Sistema de banco de dados

Os dados são gravados pelo módulo GSM em um diretório de FTP de um servidor de dados. As informações são armazenadas de forma cronológica em um arquivo de texto. O formato destes dados segue o mesmo modelo descrito na Figura 17. Estes dados podem ser acessados e analisados pelo software criado para este sistema.

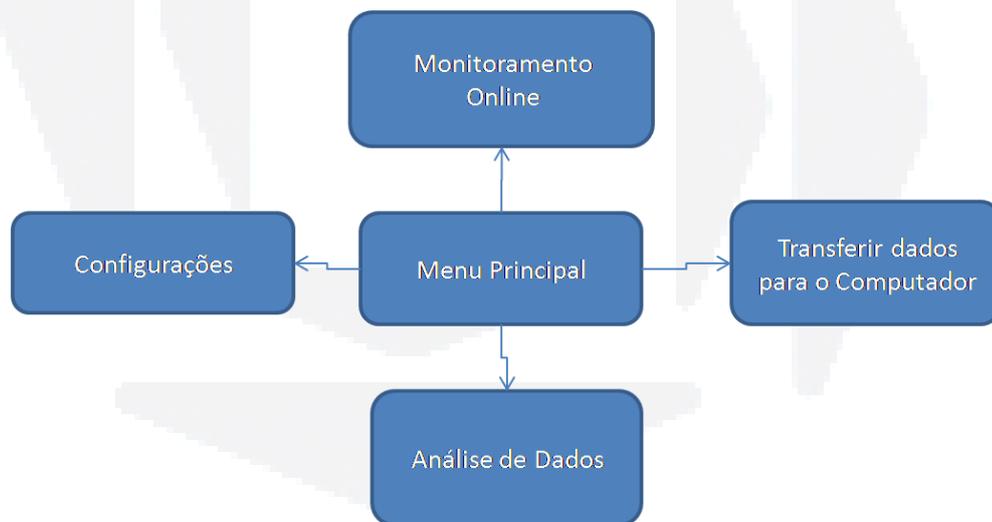
A pasta dos arquivos formados pelo envio de informações do módulo pode ser visualizada por um software navegador de internet, mas não deverá ser utilizada pelo usuário final, pois ainda não passaram por tratamento e não contém nenhum recurso de análise de dados ou gráficos, serve somente para hospedar os dados.

3.2 Software de monitoramento

O software desenvolvido em linguagem Java, aqui chamado de WaterLine, coleta os dados do servidor de FTP e mostra de forma organizada e legível ao usuário final, o monitor do sistema. Em alguns casos o usuário precisará estar conectado a internet para conseguir visualizar os dados, mas isto será tratado nas próximas subseções.

No diagrama da Figura 22, abaixo, é pode-se ver como o software está organizado.

Figura 22 - Diagrama do software WaterLine.



Fonte: Autor

3.2.1 Sistema de gerenciamento em tempo real – Modo online

Para que fosse possível fazer um monitoramento da estação fluviometria desenvolveu-se uma tela de monitoramento em tempo real, a qual coleta informações do módulo GSM de tempos em tempos conforme programado pelo usuário. O sistema faz a leitura de um arquivo chamado “online.txt” que está armazenado no módulo.

Através da função descrita na subseção 3.1.7.2, que fala sobre *web service* para monitoramento em tempo real programada no módulo, com esta tela é possível acessar as

informações que o módulo recebe da placa de aquisição de dados dos sensores. As informações do arquivo “online.txt” são atualizadas no módulo em, aproximadamente, 2 minutos.

Nesta opção foi previsto um sistema em que o usuário possa gerar arquivos .CSV (*comma-separated values*), com as informações do período em que estiver coletando dados.

3.2.1 Modo de análise de informações e gráficos

Nesta opção, é possível visualizar os dados de um período selecionado, por exemplo, de 18/10/2013 até 22/10/2013. Estes dados serão listados na tabela que compõe a tela, também será apresentado um gráfico contendo as informações de nível.

Esta tela também permite que o usuário gere arquivos .CSV com as informações do período selecionado.

Para que a análise de dados possa ocorrer é necessário que o usuário transfira as informações do servidor de FTP para o seu computador, isso poderá ser feito através do botão “Transferir os dados”, que também compõe este software. Desta forma o usuário não precisará estar conectado a internet para analisar esses dados.

Para que o sistema tivesse mais flexibilidade de configurações desenvolveu-se uma opção relacionando todas as informações da estação, do servidor de FTP e do software, centralizando-as. Desse modo podem-se cadastrar os dados referentes ao acesso ao servidor de FTP, o local onde serão salvos os arquivos de dados e também o número de telefone para acesso a estação fluviométrica por mensagens SMS.

4 EXPERIMENTAÇÃO PRÁTICA

Este capítulo descreve a metodologia para o desenvolvimento e instalação do equipamento final proposto e seus resultados de hardware, software e comunicação.

4.1 Local de instalação e sistema de referência

O equipamento, conforme já mencionado, foi instalado na barragem eclusa, no município de Bom Retiro do Sul/RS onde também foram feitos os testes do sensor. Este local é seguro, de fácil acesso, a 1 km da cidade e não sofre ações de vandalismo (Figura 23).

Figura 23 - Barragem eclusa, Bom Retiro do Sul/RS.



Fonte: Autor

Além de todas as vantagens apresentadas do local de instalação, a principal se deu pelo fato de que neste local já exista uma estação fluviométrica em atividade, registrando os dados de nível do rio na internet, instalada em um poço tranquilizador que, por sua vez, possui vasos comunicantes que equalizam internamente ao poço (Figura 24), o nível d'água do rio (RODRIGUES, 2002). Esse equipamento serviu como sistema de referência para a validação do equipamento desenvolvido neste trabalho.

Figura 24 - Canal tranquilizador.



Fonte: Autor

As informações do sistema de referência são armazenadas durante 4 h no módulo GSM, sendo que de trinta em trinta minutos o sistema armazena os valores dos níveis registrados pelo sensor. Quando o sistema completar as 4 h de armazenamento o módulo envia as informações para a pasta de FTP do servidor de dados. As informações podem ser visualizadas através de um site na internet.

4.2 Funcionamento geral

A estação fluviométrica automática, que foi desenvolvida neste trabalho, funciona coletando as informações de nível do rio utilizando dois sensores de pressão diferencial, tratando os dados obtidos em um sistema microcontrolado, armazenando as informações no próprio equipamento em um cartão de memória, transmitindo os dados de tempos em tempos via GSM. Além disso, ela armazena as informações em um servidor de dados, divulgando-os para o usuário através de um software, alertando quando necessário sobre eventos programados e interagindo com o usuário quando solicitado através de mensagens SMS.

O equipamento desenvolvido foi abrigado em uma caixa metálica de painel elétrico conforme pode ser visto na Figura 25.

Figura 25 - Estação fluviométrica automática desenvolvida neste trabalho.



Fonte: Autor

4.3 Sistema de medição de nível desenvolvido

O sistema de medição de nível proposto neste trabalho inicia-se com a coleta de informações dos dois sensores de pressão diferencial, MPX2100DP, em série, cobrindo 20 m de coluna d'água.

Para enviar a pressão referente ao nível para cada conexão de entrada dos sensores, foi utilizada uma mangueira, própria para ar comprimido de 6 mm de diâmetro, a qual suporta uma pressão máxima de 10 bar ou 1000 kPa. Também para que esta mangueira permanecesse bem alinhada, até o nível mais baixo atingido por ela, fez-se necessário utilizar um contrapeso, neste caso um contrapeso de 140 g (Figura 26), a qual mantém a ponta coletora de pressão sempre no ponto mais baixo a ser mensurado.

Figura 26 - Mangueira de ar comprimido com o contrapeso.



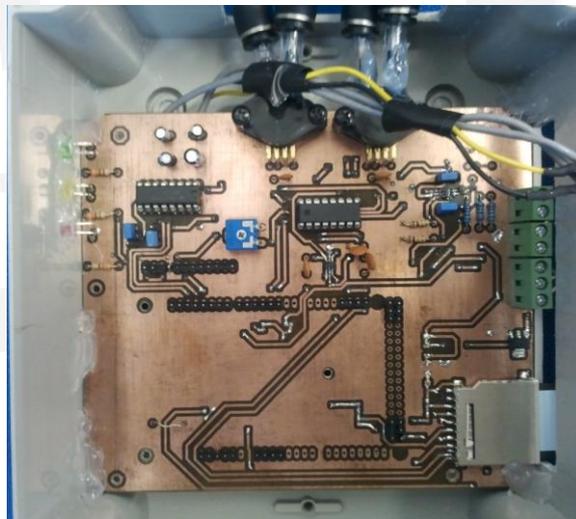
Fonte: Autor

A utilização deste sistema permite ao sensor ficar fora da água, localizado na placa eletrônica central do equipamento. Desta forma o sensor não sofre com pressões muito altas, pois não fica submerso, a muitos metros de profundidade.

Esta metodologia também faz com que o sensor não sofra com o entupimento do tubo capilar, por condensação da água em seu interior. Se em algum momento entupisse o tubo capilar, a água condensada iria atrapalhar a leitura de um dos lados de entrada de pressão, no caso a atmosférica, que é conduzida até o sensor pelo tubo capilar. Nesta situação como se projetou, o sensor recebe a pressão do nível da água pelo tubo capilar, quando a água condensar, ela continuará a enviar sua pressão, pois a parte condensada vai se mover junto com a pressão inserida do tubo capilar, se deslocando para cima ou para baixo.

A placa de circuito impresso (Figura 27), a qual é representada pelo esquemático do apêndice A, realiza o trabalho de aquisição e condicionamento do sinal do sensor. Após desenvolvida foi acondicionada e fixada em uma caixa de plástica.

Figura 27 - Placa de aquisição e condicionamento do sinal dos sensores de pressão MPX2100DP.



Fonte: Autor

4.4 Instalação

A instalação do equipamento ocorreu no dia 10/09/2013, no canal tranquilizador da jusante da barragem, este tem uma extensão total de 22 metros, desde o leito vazante até o seu comprimento máximo.

Desde o dia da instalação os dados estão sendo gravados no servidor de FTP, no cartão de memória instalado no equipamento e as mensagens estão sendo enviadas conforme programadas ou solicitadas. Porém durante este tempo foi necessário fazer vários ajustes de configuração na infraestrutura, para isso foram utilizados lacres e presilhas para o acabamento final, para o melhor acondicionamento do equipamento no e integração ao ambiente no qual foi instalado. Também se fez ajustes dos sistemas eletrônicos do equipamento, calibração e configurações de uma nova equação para o cálculo do nível.

Na Figura 28 é possível verificar o momento da instalação no canal da jusante, onde também se encontram os canais da montante e da câmara eclusa.

Figura 28- Momento da instalação do equipamento.



Fonte: Autor

No dia 10/03/2013 foram necessárias 6 horas para que ficasse concluída a instalação e configuração do equipamento, em outros dias foram feitos somente ajustes rápidos demandando um tempo não maior que 2 horas por vez.

Na Figura 29 é possível verificar-se a versão final da instalação e o local de acondicionamento do equipamento, sobre a caixa protetora foi colocado o sistema de referência.

Figura 29 - Equipamento já instalado no local.



Fonte: Autor

4.4.1 Resultados do sistema de comunicação

Durante o período em que o equipamento este em funcionamento todos os sistemas de comunicação do módulo GSM foram testados, o primeiro teste foi com as mensagens SMS de solicitação de informações para o módulo.

Na Figura 30 pode-se ver o resultado da solicitação de informações com o envio da palavra “INFO”. Onde o módulo respondeu com as informações momentâneas.

Figura 30 - SMS com a resposta da solicitação INFO.



Fonte: Autor

As informações diárias sem solicitação foram programadas conforme o cronograma de horários de coleta de níveis, feitas pelos operadores da barragem eclusa no município de Bom Retiro do Sul, local onde o equipamento está instalado. A primeira mensagem é enviada às 07 h e 30 mim, a segunda às 12 h e 30 mim e a terceira às 17 h 30 mim. Todos os telefones cadastrados no sistema recebem o SMS, que é dividido em duas partes, conforme mostrado anteriormente na Figura 30.

Outra solicitação feita para o módulo foi a de abertura do monitoramento em tempo real, o qual depende do envio da palavra “WEBI”, esta função conforme já explicado anteriormente, permite ao operador monitorar as informações do arquivo “online” que está armazenado no módulo e são atualizadas a cada 2 minutos (Figura 31).

Figura 31 - SMS com a resposta da solicitação WEBI.



Fonte: Autor

Os alertas de níveis pré-configurados foram testados com a elevação do rio na barragem eclusa, no dia 14/11/2013, onde o nível da jusante estava com “alerta 1”, 7,40 m.

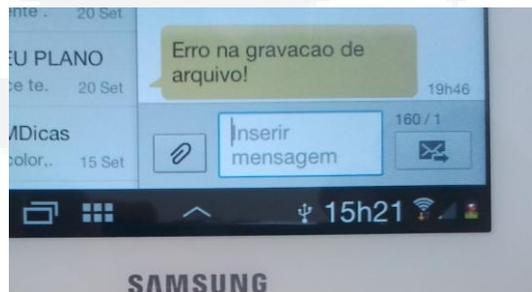
Figura 32 - SMS de alerta de nível pré-configurado.



Fonte: Autor

Foi possível constatar também que houve erros nas tentativas de gravação das informações no servidor de FTP, isto pode ser verificado pelo recebimento da mensagem configurada para este evento, caso acontecesse. Na Figura 33 pode-se ver essa mensagem.

Figura 33 - SMS de erro na gravação do pacote no servidor de FTP.

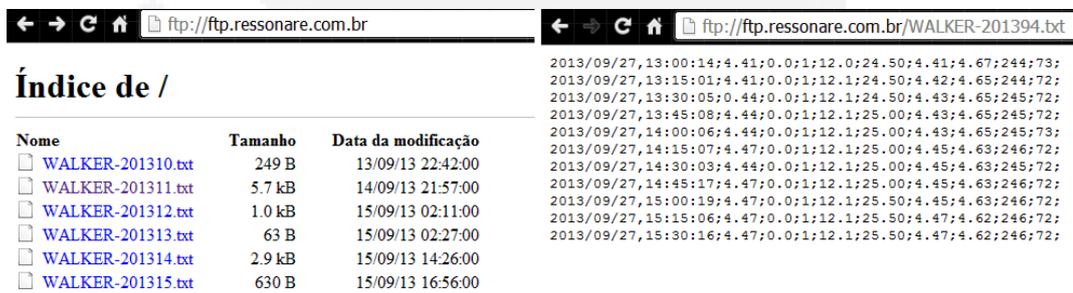


Fonte: Autor

4.4.2 Resultados do software

Nesta seção podem-se ver os resultados do software o qual foi muito utilizado para a análise e comparações dos dados do equipamento. O software se baseia nos dados gravados no servidor de FTP o qual forma vários arquivos em uma pasta destinada a armazenar-los em ordem cronológica. Esta pasta é consultada pelo software com acesso controlado e seguro (Figura 34).

Figura 34 - Servidor de dados de FTP.



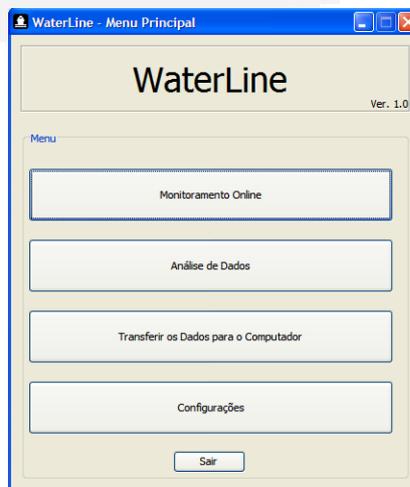
Nome	Tamanho	Data da modificação
WALKER-201310.txt	249 B	13/09/13 22:42:00
WALKER-201311.txt	5.7 kB	14/09/13 21:57:00
WALKER-201312.txt	1.0 kB	15/09/13 02:11:00
WALKER-201313.txt	63 B	15/09/13 02:27:00
WALKER-201314.txt	2.9 kB	15/09/13 14:26:00
WALKER-201315.txt	630 B	15/09/13 16:56:00

2013/09/27,13:00:14;4.41;0.0;1;12.0;24.50;4.41;4.67;244;73;
 2013/09/27,13:15:01;4.41;0.0;1;12.1;24.50;4.42;4.65;244;72;
 2013/09/27,13:30:05;0.44;0.0;1;12.1;24.50;4.43;4.65;245;72;
 2013/09/27,13:45:08;4.44;0.0;1;12.1;25.00;4.43;4.65;245;72;
 2013/09/27,14:00:06;4.44;0.0;1;12.1;25.00;4.43;4.65;245;73;
 2013/09/27,14:15:07;4.47;0.0;1;12.1;25.00;4.45;4.63;246;72;
 2013/09/27,14:30:03;4.44;0.0;1;12.1;25.00;4.45;4.63;245;72;
 2013/09/27,14:45:17;4.47;0.0;1;12.1;25.00;4.45;4.63;246;72;
 2013/09/27,15:00:19;4.47;0.0;1;12.1;25.50;4.45;4.63;246;72;
 2013/09/27,15:15:06;4.47;0.0;1;12.1;25.50;4.47;4.62;246;72;
 2013/09/27,15:30:16;4.47;0.0;1;12.1;25.50;4.47;4.62;246;72;

Fonte: Autor

A interface da tela principal do software WaterLine (Figura 35) é simples e permite a escolha de quatro opções, todas elas já descritas anteriormente. Dessa forma pode ser instalado em computadores com poucos recursos hardware.

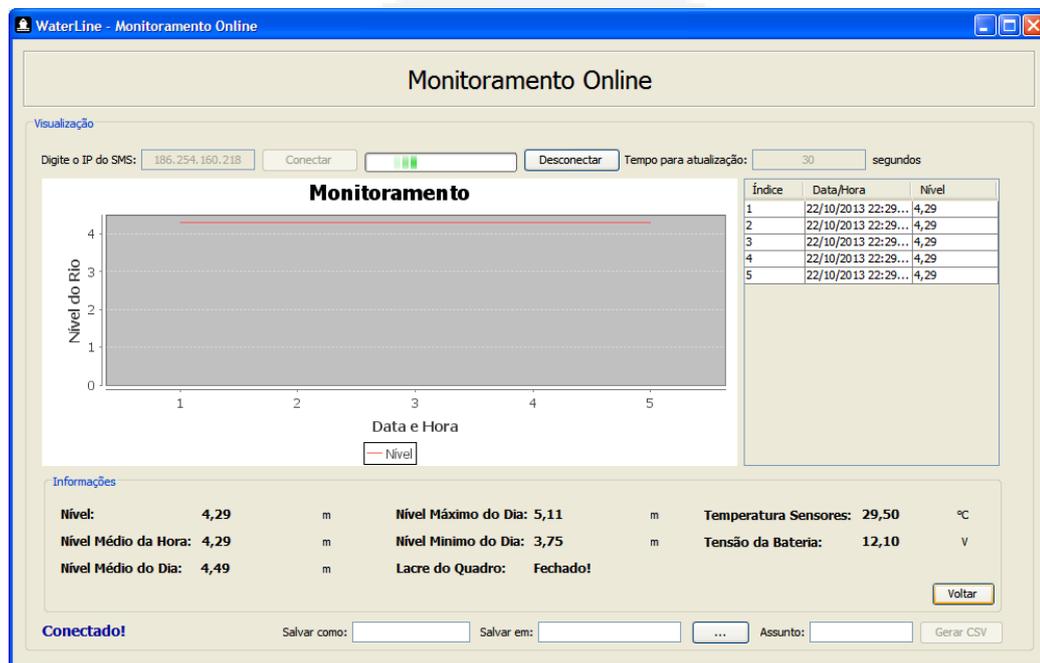
Figura 35 - Menu principal do software WaterLine.



Fonte: Autor

A tela de monitoramento online é muito importante para que no caso o operador opte em ficar visualizando informações do equipamento com atualizações em um curto período de tempo. Na Figura 36 pode-se ver um exemplo de utilização prático, onde o endereço recebido, após o envio da palavra “WEBI”, no SMS foi “186.254.160.218”, o tempo escolhido para atualização, ou coleta de novas informações do módulo, foi de 30 segundo.

Figura 36 - Monitoramento Online.



Fonte: Autor

Fizeram-se várias análises de dados durante o tempo de adaptações e ajustes do equipamento para isto utilizou-se a opção do software “Análise de dados” (Figura 37) a qual permite visualizar um gráfico com o nível do local a ser medido, uma tabela contendo a data e a hora da amostra, nível instantâneo, o nível médio da hora, o nível médio do dia, o nível máximo do dia, o nível mínimo do dia, se o lacre está fechado ou aberto, a temperatura dos sensores de nível e a tensão da bateria do equipamento. Nesta tela também pode-se ver as opções de salvar as informações que compõe a tabela em arquivo de formato .CSV.

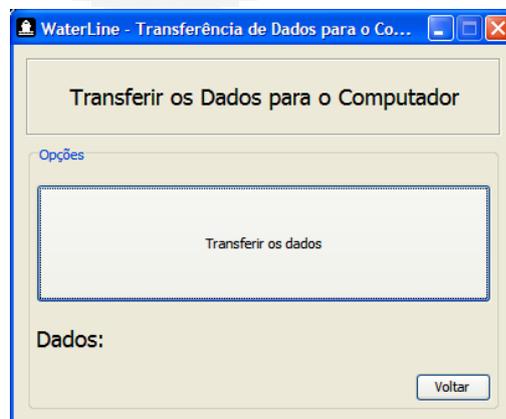
Figura 37 - Tela de análise de dados.



Fonte: Autor

Conforme descrito no projeto do software é preciso transferir os dados do servidor de FTP para o computador no qual está instalado. A tela para esta transferência pode ser vista na Figura 38.

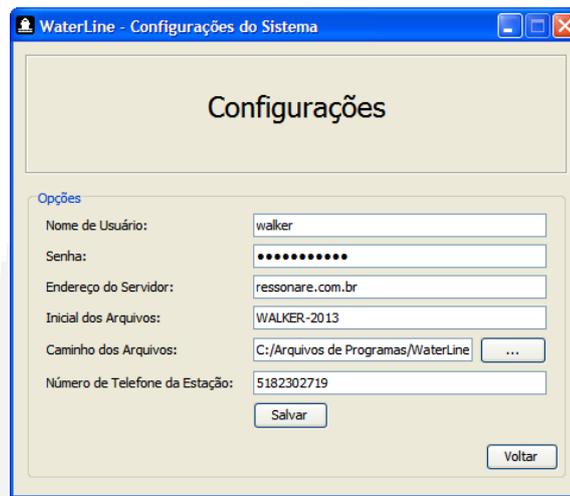
Figura 38 - Transferir os dados para o computador.



Fonte: Autor

O software WaterLine é genérico e pode consultar informações de outras estações fluviométricas do mesmo formato descrito neste documento, para isto foi criada a tela de configurações que, conforme mostrado na Figura 39, recebe as informações e personaliza o mesmo para buscar informações de outras estações.

Figura 39 - Configurações do sistema.



Fonte: Autor

4.4.3 Sistemas auxiliares e infraestrutura de instalação

Além das informações de nível, também são armazenadas informações sobre o estado do lacre da caixa de painel elétrico, da temperatura da placa e da tensão da bateria. Essas informações são relevantes para o monitoramento remoto do sistema.

Figura 40 - SMS de abertura da caixa.



Fonte: Autor

O sistema de dimensionamento e consumo de energia foi calculado com base no funcionamento diário e consumo de corrente do sistema montado e em plena operação. Esta ação já estava prevista por ser necessário dimensionar as baterias para que o equipamento fique ativo durante muitos dias sem receber energia solar, a chamada fase crítica.

No local, não foi possível efetuar a instalação de painel solar, por motivo de restrições de acesso as instalações superiores da estrutura na barragem eclusa. Entretanto todo o sistema foi projetado para a ligação do painel solar, em substituição está sendo utilizada uma fonte de alimentação chaveada, 12 V @ 2A, a qual está conectada ao controlador de carga nas respectivas entradas do painel solar.

O consumo do equipamento chega a 360 mA de pico, tem um consumo médio de 260 mA. Quando utilizado a rede GSM para envio de mensagens o consumo sobe para 320 mA, e quando é utilizada a comunicação FTP e *web service* o consumo aumenta para 360 mA. Com essas informações foi possível efetuar os seguintes cálculos de dimensionamento:

Tabela 3 - Tabela de corrente elétrica consumida.

Ação	Corrente (mA)	Horas de utilização, considerando-se 24 horas de operação.	Total de corrente consumida (mA)
Operação normal	260	22,398	5823,45
Envio de SMS	320	0,002	0,66
FTP e <i>web service</i>	360	1,6	576

Fonte: Autor

O total de corrente consumida em 24 horas de operação é de aproximadamente 6400 mA, portanto a corrente média de consumo por hora é de 266,6 mA.

Considerando-se que foi instalado no equipamento uma bateria de 12 V capaz de fornecer 7000 mAh, e sabendo-se que o total de consumo diário do equipamento chega em 6400 mA, é possível dizer que o sistema tem uma autonomia de aproximadamente 25 h, sem nenhuma fonte de alimentação externa.

Quando o painel elétrico é aberto pode-se ver o *display* LCD (Figura 41), o qual traz informações do nível do rio instantâneo. Sua atualização é feita a cada 30 segundos e pode ser

desligado quando o painel elétrico vai ser fechado, esse desligamento previne o consumo desnecessário de energia elétrica no caso da utilização de energia fotovoltaica.

Figura 41 - Display de LCD com o nível do rio.



Fonte: Autor

4.4.4 Experimento de densidade da água

Para garantir que a densidade da água, no momento de uma enchente ou inundação, não afetasse as medições do sensor, foram feitos testes de densidade com a água de um rio local, o rio Taquari. Tentou-se demonstrar que a água do rio não muda significativamente sua densidade quando se misturam com outros materiais que estão em suas margens, por exemplo, terra, areia, pedaços de madeira etc. Nesta comprovação utilizou-se um densímetro (Figura 42), que permite determinar a densidade de um líquido com relação a uma calibração pré-definida, por exemplo, em gramas por centímetro cúbico (g/cm^3).

Figura 42– Densímetro.



Fonte: Autor

Foram feitas seis medições, todas contendo 1 litro de água do rio mais uma quantidade de outros materiais retirados da margem do rio, misturados e inseridos em uma proveta graduada (Figura 43). Utilizou-se um densímetro com faixa de operação de 1 g/cm³ até 1,5 g/cm³. Os resultados podem ser vistos na Tabela 4.

Tabela 4 - Experimento de densidade da água do rio.

Amostra	Terra/Areia/Outros (g)	Densidade (g/cm³)
1	0	1,000
2	100	1,005
3	200	1,007
4	300	1,010
5	400	1,030
6	500	1,050
7	600	1,075

Fonte: Autor

Figura 43 - Provetas graduadas com a mistura.



Fonte: Autor

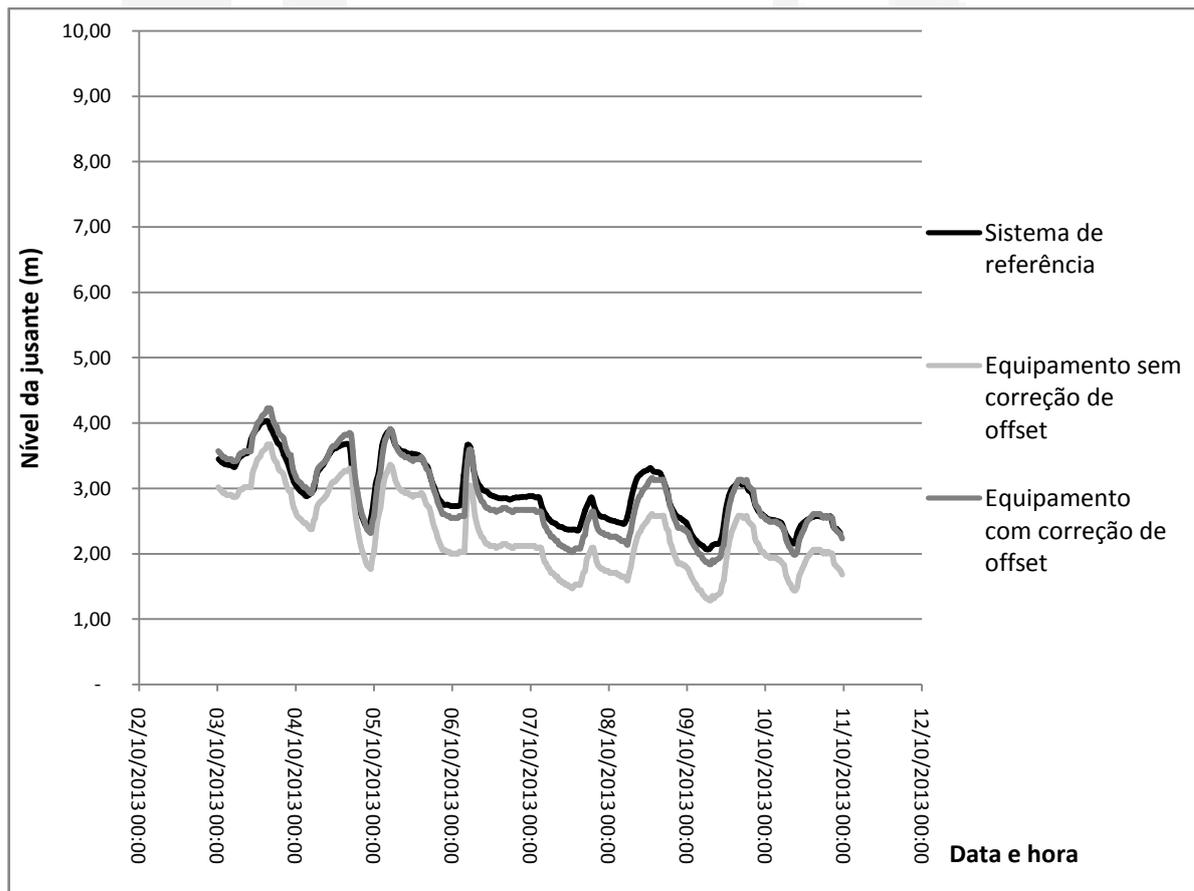
Quando se adicionou quantidades a partir de 500 g de outros materiais na água, esta já não representava uma condição ideal para fluir no canal de um rio, pois estava muito grossa e barrenta. Mesmo assim sua densidade não representava grande diferença, menos de 7% em relação à densidade inicial.

4.5 Compensação de temperatura do sistema e correção de *offset*

Após um longo período de amostragem que foi de 10/09/2013 até 10/10/2013, fez-se possível comparar os resultados. Neste período ocorreram muitas oscilações de nível, muitas vezes bruscas, variando mais de 1 metro por hora, tanto subindo quanto descendo o nível.

Percebeu-se que estavam ocorrendo erros que se modificavam em função de outros fatores, com diferenças entre 20 cm e 60 cm. Para compensar as diferenças primeiramente tentou-se ajustar os valores somando-se em todas as medições do sistema, 45 cm, que foi um valor médio entre as diferenças encontradas. Esta correção pode ser vista no gráfico na Figura 44.

Figura 44 - Correção: amostras de 03/10 até 10/10



Fonte: Autor

Para corrigir outra parte dos erros, fez-se uma correlação entre a temperatura ambiente e os níveis coletados, sendo assim, uma compensação de temperatura do sistema. Pois como

já se sabe o volume de certa quantidade fixa de gás à pressão constante aumenta linearmente com a temperatura (BROWN, LEMAY e BURSTEN, 2005). Esse cálculo foi feito com base nas maiores diferenças analisadas, que vão do dia 05/10 até dia 09/10, intervalo que o sistema não apresentou redução do erro mesmo com a soma de 45 cm, conforme descrito anteriormente.

A compensação da temperatura deu-se analisando o período de 05/11 a 11/11, onde houve variação de temperatura e nível. Para que essas diferenças fossem visualizadas projetou-se um gráfico correlacionando temperatura (em graus Celsius) e erro (em centímetros) de 468 amostras, a partir daí determinou-se a equação de compensação (7) a ser somada com a equação dos sensores (4). A equação foi obtida utilizando-se o software Microsoft Excel, versão 2007.

$$CT = -0,069 \times Temp + 2,302 \quad (7)$$

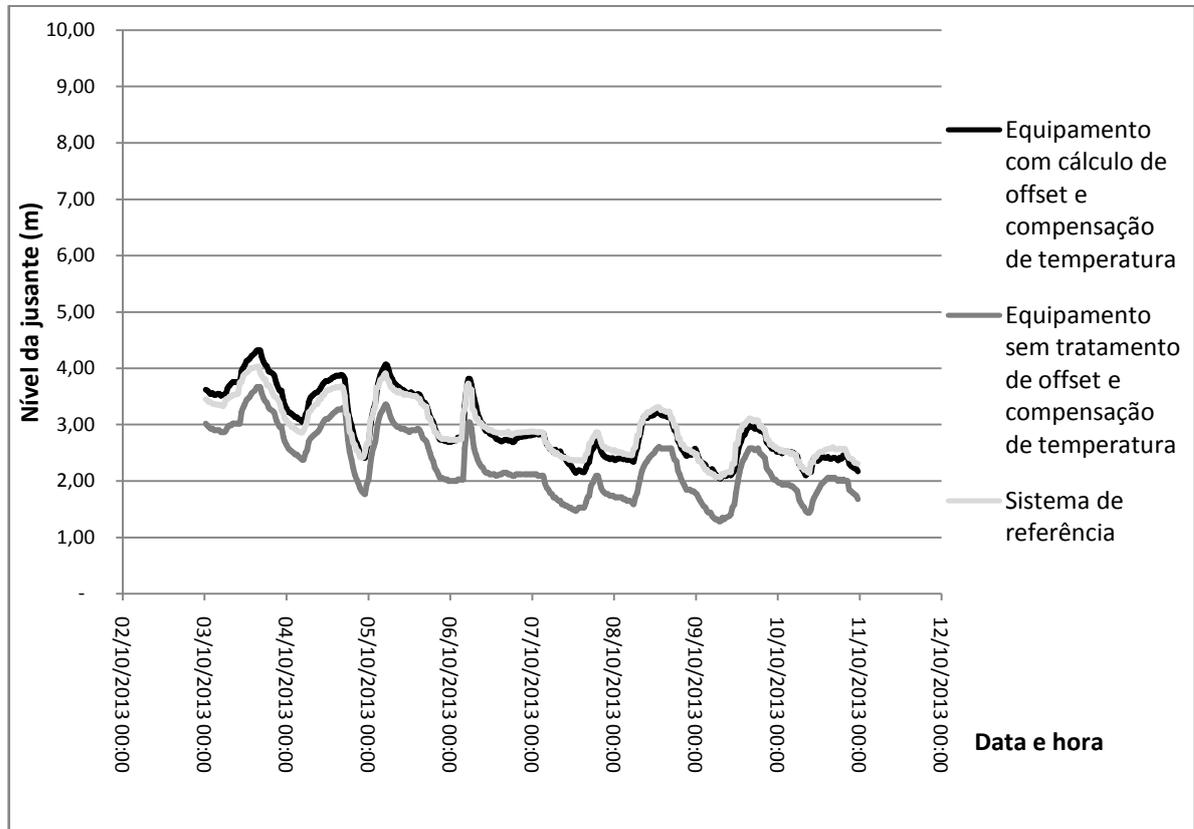
Onde:

CT é o valor a ser somado na equação 4, em centímetros;

Temp é a temperatura, em graus Celsius.

No gráfico da Figura 45 pode-se verificar o resultado da aplicação da equação da temperatura para corrigir o erro do sistema.

Figura 45 - Comparativo de correção e compensação de temperatura: amostras de 03/10 até 10/10

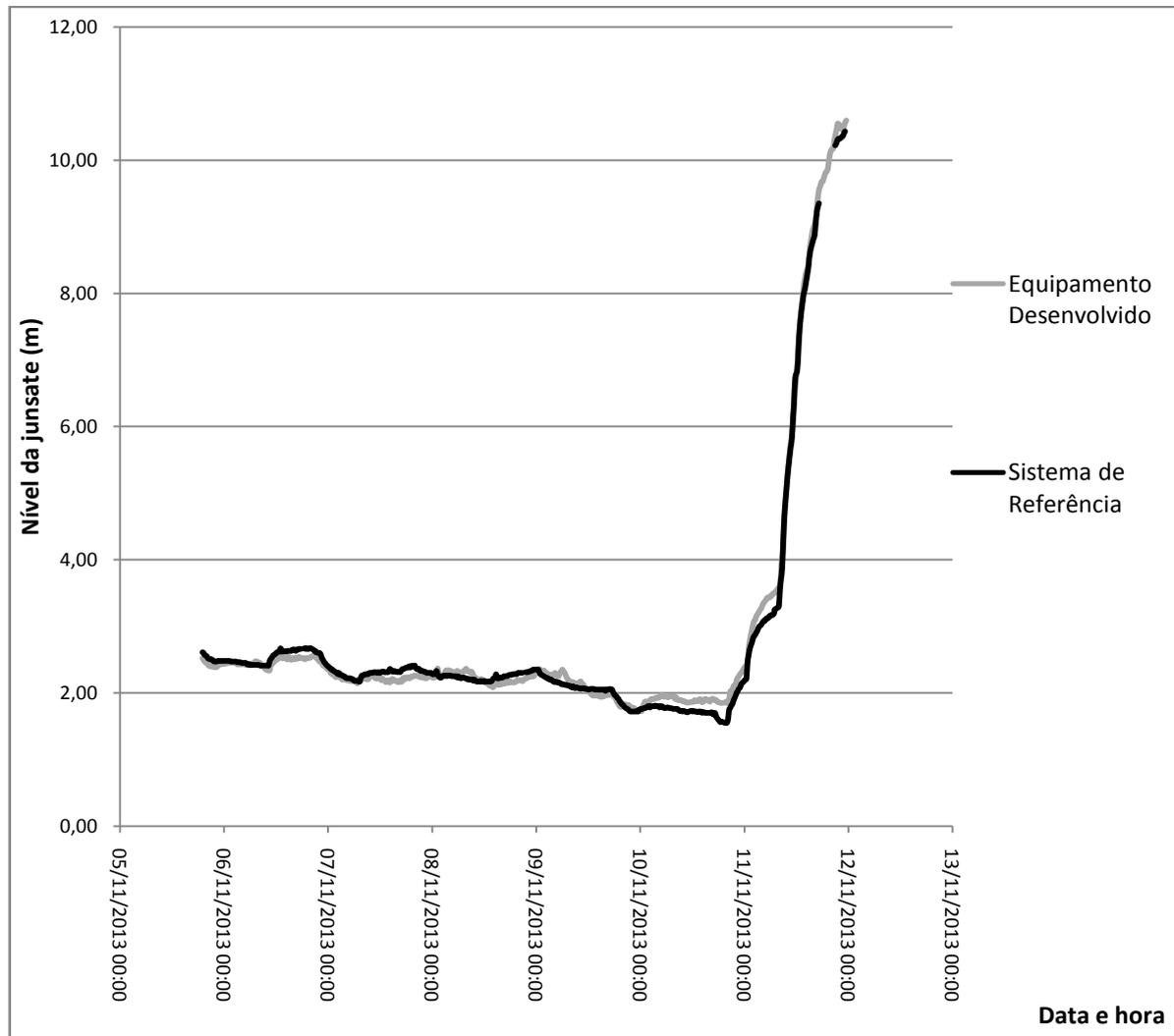


Fonte: Autor

4.6 Comparativos finais

O momento mais adequado escolhido, após todos os ajustes no equipamento, abrange de 05/11/2013 até 11/11/2013, onde se verifica oscilações de vão de 1,57 m até 10,40 m (Figura 46), estes dados foram retirados de seus respectivos softwares de análise.

Figura 46 – Gráficos comparativos do equipamento desenvolvido e o sistema de referência de 05/11/2013 até 11/11/2013.



Fonte: Autor

Mais detalhadamente, no gráfico construído na Figura 46, podem-se ver os dois resultados sobrepostos, demonstrando os valores com o mesmo intervalo de tempo. Durante o período de análise dos dados o tempo de gravação das informações do sistema de referência foi modificado pelos seus gestores, este passou a gravar os dados no servidor a cada 15 minutos e equipamento desenvolvido, por sua vez, já estava gravando os dados a cada 15 minutos. A partir daí os dados compilados estavam sem diferença de quantidade e tempo entre as amostras.

Após a análise de 594 amostras e aplicação das correções necessárias, pode-se dizer que o equipamento desenvolvido apresentou um erro médio de 1,36%, em fundo de escala,

em relação ao sistema de referência. Apresentando uma diferença máxima de 0,37 cm (3,49%) e mínima de 0,00 cm.



5 CONCLUSÃO

O equipamento desenvolvido neste trabalho se mostrou funcional para estes tipos de aplicações, monitoramento de nível de rios e lagos. Após o projeto, o desenvolvimento e a instalação, pode-se comprovar que o equipamento tem um baixo custo, se comparado com os sistemas comerciais de alguns fabricantes internacionais que são vendidos no Brasil.

Pode-se destacar como vantagens desse equipamento, além do já citado anteriormente, o método de aplicação dos sensores, onde neste caso não ficam submersos e dependentes de encapsulamentos metálicos de proteção para seus circuitos eletrônicos; a facilidade de visualização das informações no local, pois é composto por um *display* de LCD e mantém o operador atualizado sem precisar entrar na internet para verificar o nível da água; envia mensagens configuráveis periódicas para telefones celulares; é possível solicitar informações através de mensagens SMS a qualquer momento; pode ser monitorado em tempo real através de *web service*; o sistema é composto por um software de análise de dados, o qual gera arquivos compatíveis com softwares de planilhas eletrônicas; por segurança tem armazenamento de dados no local e em servidores de FTP; pode ser dimensionado para profundidades maiores que 20 metros, através do uso de mais sensores.

Como desvantagens o sistema apresenta certa complexidade de instalação, pois sua calibração demanda muito tempo devido aos diferentes tamanhos de mangueiras de ar comprimido que levam a pressão da água até o sensor; precisa-se compensar a temperatura das mangueiras utilizando um sensor de temperatura, pois a pressão varia conforme temperatura; o sistema não se comporta bem em condições de variações bruscas de níveis, pois apresentou lentidão na mudança de direção, por exemplo, quando nível estava por um longo tempo aumentando e começou a diminuir; seu erro médio é considerável para aplicações onde exija maior precisão.

Entende-se até o momento que os erros ocorreram em função da localização do sensor de temperatura, que está na placa muito próximo aos sensores. Com isso não é possível obter uma compensação de temperatura adequada, pois essa informação deveria ser coletada mais próxima das mangueiras, no ambiente dos canais tranquilizadores.

Para ações futuras, planejam-se modificações no sistema de transmissão, optando por um plano de dados pós-pago; pretende-se do mesmo modo colocar um sensor de temperatura

mais próximo das mangueiras de ar comprimido além de diminuir o tamanho da placa, utilizando-se somente o microcontrolador ao invés da placa Arduino.



REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Dados Hidrológicos em Tempo Real. **Agência Nacional de Águas**, 2012. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/informacoeshidrologicas/informacoeshidro.aspx>>. Acesso em: 23 abr. 2013.

ANEEL. **RESOLUÇÃO CONJUNTA Nº 3**. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Brasília. 2010.

ARAÚJO, M. V. D. Sistemas de Medidas e Instrumentação. **Departamento de Engenharia de Computação e Automação - UFRN**, 2009. Disponível em: <<http://www.dca.ufrn.br/~acari/Sistemas%20de%20Medida/Material%20de%20sala%20de%20aula/Sistemas%20de%20Medidas%20e%20Instrumenta%E7%E3o%20-%20parte%203.pdf>>. Acesso em: 23 abr. 2013.

ARDUINO. Arduino Mega 2560. **Arduino CC**, 2013. Disponível em: <<http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>>. Acesso em: 23 set. 2013.

BALBINOT, A.; BRUSAMARELLO, J. V. **Instrumentação e Fundamentos de Medidas**. Rio de Janeiro: LTC, v. 2, 2007.

BARBACENA, I. L.; FLEURY, C. A. Docs. **UNICAMP**, 1996. Disponível em: <<ftp://ftp.dca.fee.unicamp.br/pub/docs/ea079/complementos/Lcd.pdf>>. Acesso em: 11 nov. 2013.

BLAINSKI, É.; GARBOSSA, L. H. P.; ANTUNES, E. N. **Estações hidrometeorológicas automáticas: recomendações técnicas para instalação**. EPAGRI. Florianópolis, p. 19. 2012.

BOULOMYTIS, V. T. G. IV Workshop. **Rede Litoral**, 2011. Disponível em: <http://www.redelitoral.ita.br/4workshop/TrabAp/Sessao_2/Sessao_02_Vassiliki.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2013.

BRAGA, N. C. Sensores absolutos de pressão. **Saber Eletrônica**, São Paulo, n. 413, jul. 2007.

BRASIL. **Lei nº 12.608**, de 10 abr. 2012.

BROWN, T. L.; LEMAY, H. E.; BURSTEN, B. E. **Química, A Ciência Central**. 9ª Edição. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

CASSIOLATO, C. Medição de Nível. **Smar**, São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.smar.com/newsletter/marketing/index39.html>>. Acesso em: 19 abr. 2013.

CENTRO DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA E CULTURAL. BACIAS HIDROGRÁFICAS. **UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**, 2013. Disponível em: <http://www.cdcc.usp.br/bio/mat_bacias.htm>. Acesso em: 30 maio 2013.

CINTERION WIRELESS MODULES. **TC65 Terminal - Hardware Interface Description**. Munich, p. 60. 2008.

CIRAN-EPAGRI. Relatório 2012 Ciran-Epagri. **Ciran-Epagri**, 2012. Disponível em: <http://ciram.epagri.sc.gov.br/ciram_arquivos/arquivos/portal/relatorio_2012.pdf>. Acesso em: 05 maio 2013.

DA SILVA, G. S. **Sistema de Informações para apoiar o sistema de alerta da bacia do Itajaí**. Blumenau: UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU, 2009.

DEFESA CIVIL – CEDEC. Enchente. **Coordenadoria Estadual de Defesa Civil**, 2011. Disponível em: <<http://www.defesacivil.to.gov.br/enchente/>>. Acesso em: 22 abr. 2013.

DEFESA CIVIL - MG. **Como Agir Em Inundacoes**. Defesa Civil - Minas Gerais. Belo Horizonte. 2013.

DEFESA CIVIL. Boletim Diário da Defesa Civil. **Prefeitura Municipal de Blumenau**, 2013. Disponível em: <<http://www.blumenau.sc.gov.br/previsao/wpboletim.aspx>>. Acesso em: 24 abr. 2013.

DELGADO, P. R. PROCESSOS DE INUNDAÇÃO E SITUAÇÃO DE RISCO AMBIENTAL. **Sanare**, Curitiba, v. 13, jan. 2000.

EISENREICH, D.; DEMUTH, B. Chapter 11 – The I2C Bus. **Designing Embedded Internet Devices**, Burlington, 2002. 433–466.

ELETROBRÁS. **Diretrizes para estudos e projetos de Pequenas Centrais Hidroelétricas**. Brasília: Eletrobrás, 2000.

FONTES, B. W. Energia Fotovoltaica. **Ecocasa**, 2013. Disponível em: <<http://www.ecocasa.com.br/energia-fotovoltaica.asp>>. Acesso em: 31 maio 2013.

FREESCALE SEMICONDUCTOR. Sensor Datasheet. **Freescale**, 2008. Disponível em: <http://www.freescale.com/files/sensors/doc/data_sheet/MPX2100.pdf?fp=1&WT_TYPE=Data%20Sheets&WT_VENDOR=FREESCALE&WT_FILE_FORMAT=pdf&WT_ASSET=Documentation>. Acesso em: 09 maio 2013.

GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M. CONSIDERAÇÕES SOBRE AS INUNDAÇÕES NO BRASIL. **Laboratório de Hidrologia da UFSC**, 2005. Disponível em: <http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/ABRH2005_inundacoes.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2013.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, v. Volume 2, 2009.

HIDROMEC. LINÍGRAFO VERTICAL. **HIDROMEC**, 2013. Disponível em: <http://www.hidromecc.com.br/hidrometria/index.php?option=com_content&view=article&id=109&Itemid=123>. Acesso em: 19 abr. 2013.

HOBECO SUDAMERICA. **Hidrologia Urbana**. Hobeco Sudamerica. Rio de Janeiro. 2011.
IEC. Global System for Mobile. **EAP**, 2007. Disponível em: <http://edu.eap.gr/pli/pli23/documents/Parallila_Keimena/GSM.pdf>. Acesso em: 15 maio 2013.

KELLER DRUCK. Highly Precise Level Transmitters Series 36 X W. **Keller Druck**, 2012. Disponível em: <http://www.keller-druck.com/home_e/paprod_e/36xw_e.asp>. Acesso em: 15 maio 2013.

LATORRE, R. Destaque. **Blumenews**, 2012. Disponível em: <<http://www.blumenews.com.br/site/destaque/item/1946-a-r%C3%A9gua-de-medi%C3%A7%C3%A3o-do-rio-itaja%C3%AD-tem-funcionado-como-deveria?html>>. Acesso em: 07 maio 2013.

MARCELINO, E. V. Publicações. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**, 2007. Disponível em: <<http://www.inpe.br/crs/geodesastres/conteudo/publicacoes/conceitosbasicos.pdf>>. Acesso em: 19 abr. 2013.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Controle de Inundações. **Cidades**, 2013. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/aguas-urbanas/controle-de-inunda%C3%A7%C3%B5es>>. Acesso em: 22 abr. 2013.

MORAIS, G. Câmara Notícias. **Câmara dos Deputados**, 2013. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/camaranoticias/radio/materias/REPORTAGEM-ESPECIAL/436569-ENCHENTES----O-BRASIL-E-6-PAIS-DO-MUNDO-QUE-MAIS-SOFRE-COM-CATASTROFES-CLIMATICAS-BLOCO-1.html>>. Acesso em: 19 abr. 2013.

NOLDUS, R. Introduction to GSM Networks. **Wiley**, 2006. Disponível em: <http://media.wiley.com/product_data/excerpt/49/04700169/0470016949.pdf>. Acesso em: 20 maio 2013.

NXP SEMICONDUCTORS. HEF4052B - Dual 4-channel analog multiplexer/demultiplexer. **NXP Semiconductors**, 2011. Disponível em: <http://www.nxp.com/documents/data_sheet/HEF4052B.pdf>. Acesso em: 23 set. 2013.

ORACLE CORPORATION. Recursos da Ajuda. **Java**, 2013. Disponível em: <http://www.java.com/pt_BR/download/faq/whatis_java.xml>. Acesso em: 2013 nov. 11.

PEREIRA, R. D. S.; NETO, A. D. S.; TUCCI, C. E. M. **Princípios da Hidrometria**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 3. 2003.

PROSSIGA. Portal de Recursos Minerais. **Prossiga**, 2003. Disponível em: <http://recursosminerais.ibict.br/glossario/glossario_h.html>. Acesso em: 21 abr. 2013.

PUERTA, L. L. **ANÁLISE MULTITEMPORAL DA ÁREA DO CANAL DO ALTO RIO PARANÁ NA**. Maringá: Universidade Estadual de Maringá. 2011. p. 89.

REIS, F. A. G. V. GEODINÂMICA EXTERNA. **UNESP**, 2001. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter11.html>>. Acesso em: 05 maio 2013.

RICKNAS, M. Macworld. **Site da Macworld**, 2012. Disponível em: <www.macworld.com.au/news/apple-battles-nokia-rim-and-motorola-over-nano-sim-standard-48192/>. Acesso em: 29 Novembro 2012.

RODRIGUES, M. S. Juno Unifei. **Unifei**, 2002. Disponível em: <<http://juno.unifei.edu.br/bim/0031193.pdf>>. Acesso em: 11 nov. 2013.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. 1. ed. Florianópolis: UFSC / LABSOLAR, 2004.

SANTOS, D. S. **Rastreamento e Telemetria de Veículos Usando a Comunicação de Dados de Alta Velocidade Disponível na Telefonia Celular. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrônica e da Computação)**. Divisão de Engenharia Eletrônica - Instituto Técnico da Aeronáutica. São José dos Campos-SP. 2004.

SANTOS, I. et al. **Hidrometria Aplicada**. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, LACTEC, 2001.

SEVERO, D. L. et al. SISTEMA DE MONITORAMENTO DE BACIAS URBANAS NO MUNICÍPIO DE. **XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Maceió, 27 nov. 2011.

SHTARGOT, J.; MIRZA, S.; QAZI, M. Liquid-Level Measurement System Uses a Compensated Silicon Pressure Sensor and Precision Delta-Sigma ADCs, Part 1. **Maxim Integrated**, 2012. Disponível em: <<http://www.maximintegrated.com/app-notes/index.mvp/id/5319>>. Acesso em: 07 maio 2013.

SISTEMA ESTADUAL DE INFORMAÇÕES AMBIENTAIS E RECURSOS HÍDRICOS. Monitoramento Ambiental. **SEIA**, 2011. Disponível em: <<http://www.seia.ba.gov.br/monitoramento-ambiental/hidrom-trico>>. Acesso em: 19 abr. 2013.

SKPANG ELETRONICS. LCD Displays. **Skpang Eletronics**, 2013. Disponível em: <http://www.skpang.co.uk/catalog/lcd-displays-16x2-lcd-5v-c-91_206.html>. Acesso em: 11 nov. 2013.

SOLAR ENERGY. Energia Solar. **Solar Energy**, 2012. Disponível em: <<http://www.solarenergy.com.br/energia-solar/>>. Acesso em: 25 maio 2013.

SOLENERG ENGENHARIA E COMERCIO LTDA. A energia elétrica gerada por um dos nossos sistemas fotovoltaicos têm diversas aplicações práticas. **Solenerg**, 2009. Disponível em: <<http://www.solenerg.com.br>>. Acesso em: 11 nov. 2013.

SUPERINTENDÊNCIA DE GESTÃO DA REDE HIDROMETEOROLÓGICA. **Orientações para Operações das Estações Hidrométricas**. Agência Nacional de Águas. Brasília. 2012.

SVERZUT, J. U. **Redes GSM, GPRS, EDGE e UMTS: Evolução a caminho da quarta geração (4G)**. São Paulo: Érica Ltda, 2008.

TELECO. Teleco. **Teleco**, 2013. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/ncel.asp>>. Acesso em: 19 abr. 2013.

TEXAS INSTRUMENTS. Datasheet. **Texas Instruments**, 2003. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads1110.pdf>>. Acesso em: 17 maio 2013.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. D. **Sensores industriais: fundamentos e aplicações**. São Paulo: Erica, 2005.

TOBIN, G. A.; MONTZ, B. E. **Natural hazards**. New York: The Guilford Press, 1997.

TUCCI, C. E. M. Inundações Urbanas. **Procuradoria Geral da República - Ministério Público Federal**, 2003. Disponível em: <http://4ccr.pgr.mpf.gov.br/institucional/grupos-de-trabalho/residuos/docs_resid_solidos/drenagem1.PDF>. Acesso em: 19 abr. 2013.

UNIPOWER. Baterias. **Unipower**, 2013. Disponível em: <<http://www.unipower.com.br/index.php?/UP1270.html>>. Acesso em: 11 nov. 2013.

UNITRON ENGENHARIA, INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA. OUTROS CONTROLADORES. **Unitron**, 2013. Disponível em: <<http://unitron.com.br/portal/index.php/produtos/energia-solar1/controlador-de-carga/item/115-outros-controladores>>. Acesso em: 12 nov. 2013.

WORLD WIDE WEB CONSORTIUM. Web Services Architecture. **W3C**, 2004. Disponível em: <<http://www.w3.org/TR/ws-arch/#id2260892>>. Acesso em: 11 nov. 2013.

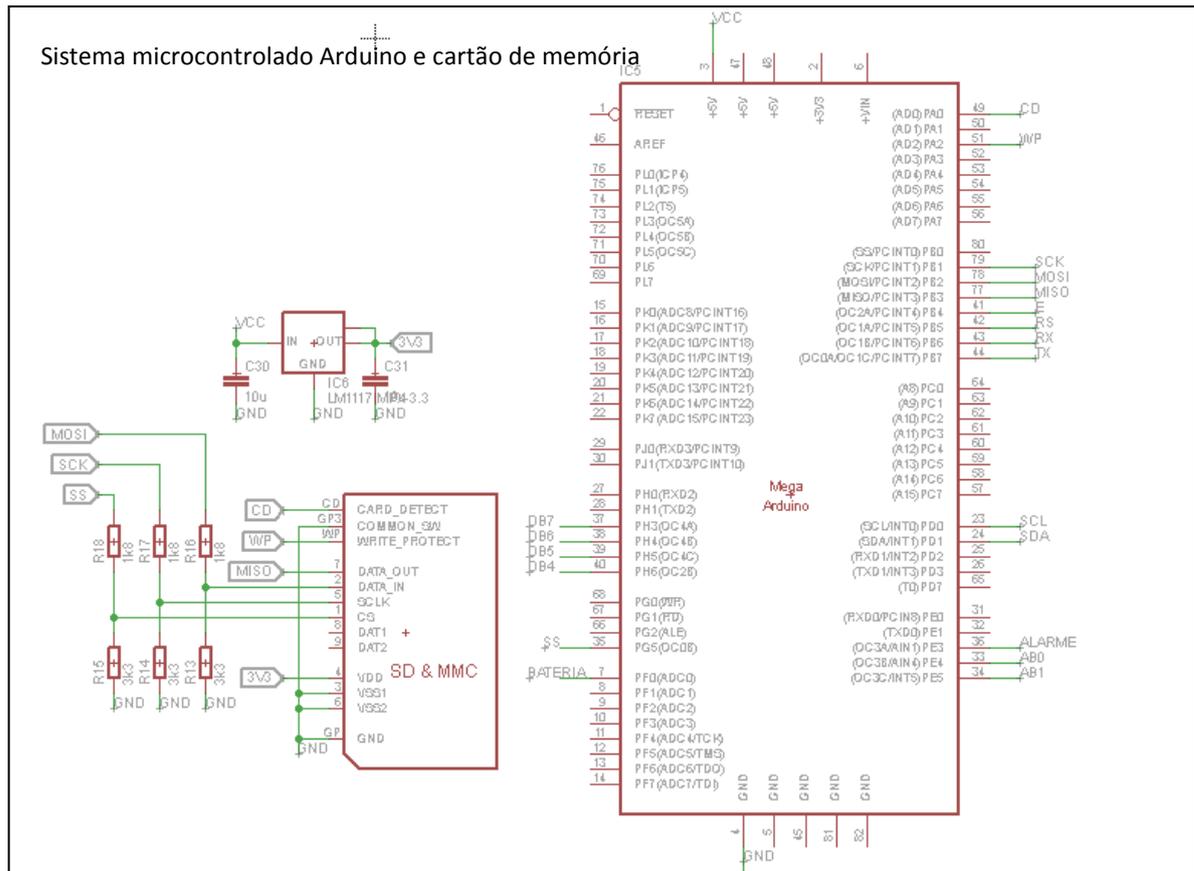
YOMACAMA EMPREENDIMENTOS. Painel Solar. **Brasiled**, 2013. Disponível em: <https://www.brasiled.com.br/produto/1100840/Painel_Solar_50W___Monocristalino.html>. Acesso em: 23 maio 2013.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física II - Termodinâmica e Ondas**. 12. ed. São Paulo: Pearson, 2008.



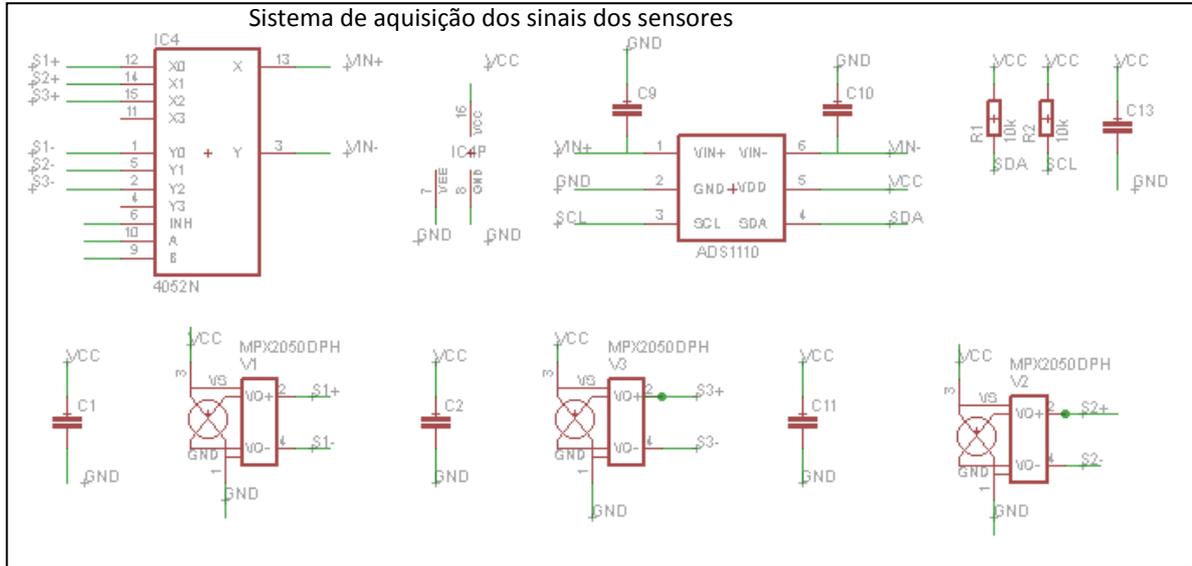
APÊNDICE A: ESQUEMATICO DA PLACA DE AQUISIÇÃO E CONDICIONAMENTO DO SINAL DOS SENSORES

Figura 47–Esquemático parte 1.



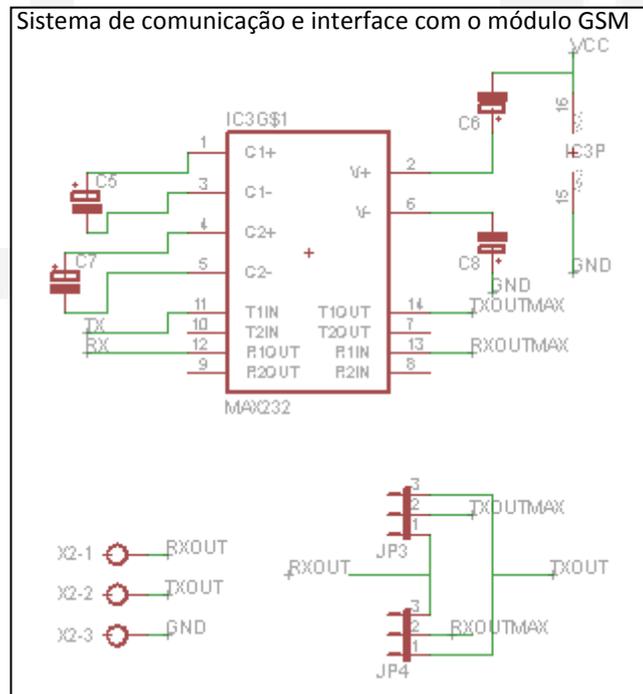
Fonte: Autor

Figura 48 - Esquemático parte 2



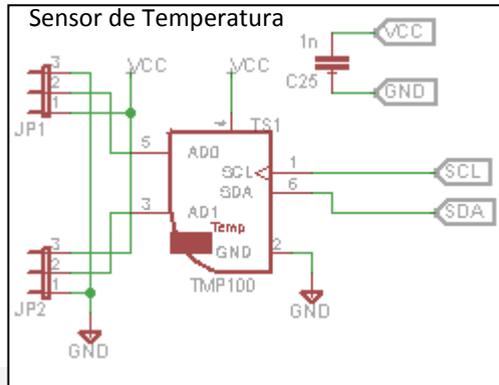
Fonte: Autor

Figura 49 - Esquemático parte 3



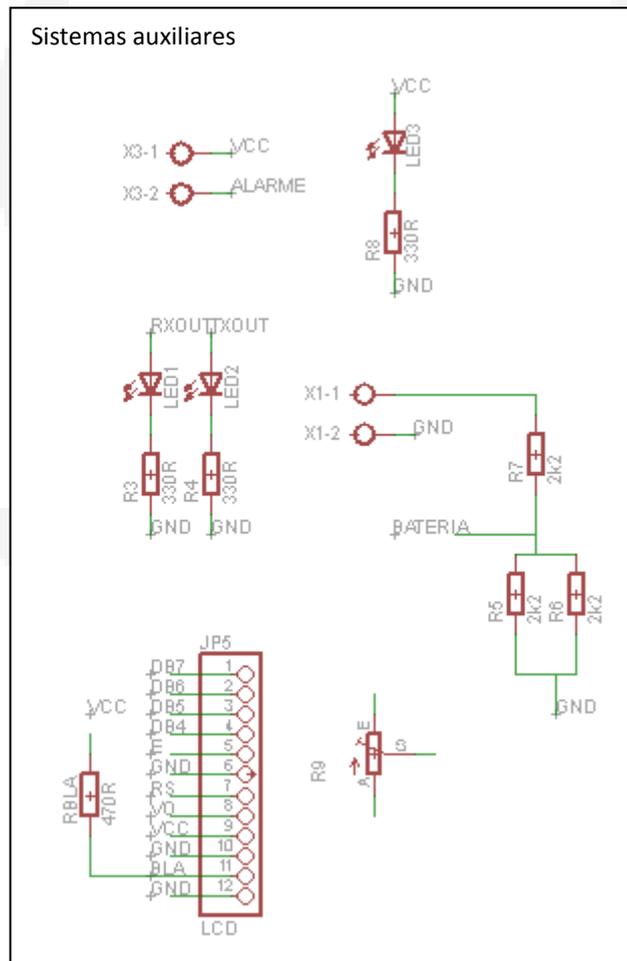
Fonte: Autor

Figura 50 - Esquemático parte 4.



Fonte: Autor

Figura 51 - Esquemático parte 5.



Fonte: Autor