UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE FÍSICA DE SÃO CARLOS

Departamento de Física e Informática

PESQUISA EM INSTRUMENTAÇÃO ELETRÔNICA
MICROPROCESSADA PARA A MEDIDA DE
PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS DA ÁGUA

Ronaldo Bruno

Dissertação apresentada ao
Instituto de Física de São Carlos,
da Universidade de São Paulo,
para obtenção do título de Mestre
em Ciências (Física Aplicada).

Orientador: Prof. Dr. Valentin Obac Roda

São Carlos
1997

Bruno, Ronaldo

Pesquisa em Instrumentação Eletrônica Microprocessada para a Medida de Parâmetros Físicos e Químicos da Água/Ronaldo Bruno.—São Carlos, 1997.
145p.

Dissertação (Mestrado)—Instituto de Física de São Carlos, 1997.

Orientador: Prof. Dr. Valentin Obac Roda

1. Instrumentação

I. Título

UNIVERSIDADE
DE SÃO PAULO

Instituto de Física de São Carlos

Av. Dr. Carlos Botelho, 1465
CEP 13560-250 - São Carlos - SP
Brasil

Fone (016) 272-6222

Fax (016) 272-2218

MEMBROS DA COMISSÃO JULGADORA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE
RONALDO BRUNO APRESENTADA AO INSTITUTO DE FÍSICA DE SÃO CARLOS, DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, EM 28 DE FEVEREIRO DE 1997.

COMISSÃO JULGADORA:

Prof. Dr. Valentin Obac Roda/IFSC-USP

Prof. Dr. Cláudio José Magon/IFSC-USP

Prof. Dr. José Galizia Tundisi/CNPq

Agradecimentos

- Ao Prof. Valentin Obac Roda, meu orientador, pelo caráter, serenidade, apoio e total disponibilidade.
- Aos amigos Maximilian Luppe, Raul Junji Nakashima e José Pott, os quais contribuíram para um ótimo ambiente de trabalho.
- Ao CNPq pela bolsa de estudos.
- Ao pessoal do Laboratório de Instrumentação: Lírio, Benê, Marcos, Ailton e Ivanilda.
- À Wladerez da seção de alunos sempre simpática e atenciosa.
- Ao pessoal do Laboratório de Hidráulica e Saneamento, Júlio César Trofino e Paulo Fragiácomo pelo inestimável auxílio no desenvolvimento do medidor de turbidez.
- Ao Newton da Indústria FAC LTDA, pela enorme gentileza em fornecer o sensor de oxigênio dissolvido.
- Ao Mateus (Ressonância Mag.) pelo auxílio na linguagem Visual Basic.

Aos meus pais, Ronaldo e Maria de Lourdes.

Sumário

Lista de Figuras	iv
Lista de Tabelas	vi
Resumo	vii
Abstract	viii
1. Introdução	1
2. Instrumentos	5
2.1. Condutivímetro	5
2.1.1 Introdução	5
2.1.2 Definição e unidades	5
2.1.3 Natureza da Condutividade	6
2.1.4 Considerações práticas	8
2.1.5 Preparo de Solução Padrão	9
2.1.6 Medidor de Condutividade	10
2.2. Medidor de pH	14
2.2.1 Introdução	14
2.2.2 Definição	14
2.2.3 O Sensor	15
2.2.4 Circuito de entrada	17
2.2.5 Medidor de pH	19
2.3. Medidor de Turbidez	22
2.3.1 Introdução	22
2.3.2 Princípio da Medida	23
2.3.3 Aspectos Construtivos	24
2.3.4 Circuito do Turbidímetro	26
2.3.5 Preparo da Solução Padrão	27
2.3.5.1 Roteiro para preparação das soluções	28
2.3.6 Calibração e Desempenho do Turbidímetro	28
2.4. Termômetro	31
2.5. Medidor de Oxigênio	32
2.5.1 Introdução	32
2.5.2 Princípio de Medida	33
2.5.3 Características dos Sensores de Oxigênio Dissolvido	35
2.5.3.1 Eletrodo Principal (Cátodo)	35
2.5.3.2 Membrana	36
2.5.3.3 Temperatura	37
2.5.3.4 Pressão	37
2.5.4 Unidades	37
2.5.5 Preparo das Soluções Padrão e Eletrólito do Sensor	38
2.5.5.1 Solução Padrão	38
2.5.5.2 Eletrólito	39
2.5.6 Circuito do Medidor de Oxigênio Dissolvido	39
2.5.7 Calibração	40
2.6. Medidor de Profundidade	41

2.6.1 Introdução	41
2.6.2 Princípio de Medida	42
2.6.3 Sistema Medidor	42
3. Circuito Principal.....	47
3.1. Introdução.....	47
3.2. Microcontrolador PIC16C84	48
3.2.1 Programação das Portas	50
3.3. Interface RS232	51
3.4. Conversor A/D.....	53
3.5. Multiplexação da Entrada Analógica.....	54
3.6. Escalas Automáticas	56
3.7. Interrupção - Medidor de Profundidade	57
3.8. Fontes de Alimentação	58
4. Programação	60
4.1. Introdução.....	60
4.2. Programa em Linguagem Montadora do PIC16C84.....	61
4.2.1 Watch Dog Timer.....	68
4.2.2 Interrupção	69
4.2.3 Rotinas de implementação da RS232.....	69
4.2.3.1 Rotina de transmissão	70
4.2.3.2 Rotina de recepção	70
4.3. Programa de Visualização dos Dissolvido Dados.....	71
4.3.1 Introdução	71
4.3.2 Visão Geral do Programa Desenvolvido.....	72
4.3.3 Janela Principal (MAIN)	74
4.3.3.1 Menu	74
4.3.3.2 Botão <i>Power</i>	77
4.3.3.3 Botão <i>Save</i>	77
4.3.3.4 Botão <i>Reset</i>	77
4.3.3.5 Rotina Principal (<i>Main Routine</i>)	78
4.3.3.6 Rotina de Inicialização (Form).....	79
4.3.3.7 <i>VBX</i> da Porta Serial.....	80
4.3.3.8 <i>Timer</i> da Aquisição de Dados	80
4.3.3.9 Timer do WatchDogTimer	81
4.3.4 Janela para Manipulação de Arquivos (<i>FILES</i>)	82
4.3.4.1 Comando “Ok”	83
4.3.4.2 Sub-rotinas Auxiliares.....	84
4.3.4.2.1 Sub-rotina N_ADF (<i>New Acquisition Data File</i>)	84
4.3.4.2.2 Sub-rotina O_ADF (<i>Open Acquisition Data File</i>)	84
4.3.4.2.3 Sub-rotina O_CF (<i>Open Calibration File</i>).....	84
4.3.4.2.4 Sub-rotina S_CF (<i>Save Calibration File</i>)	85
4.3.5 Janela para Visualização de Arquivos de Dados (<i>DATAVIEW</i>).....	85
4.3.6 Janela de Calibração do Medidor de pH (<i>PHCAL</i>)	86
4.3.6.1 Botão “Start”	87
4.3.6.2 Botão “Cancel”.....	88
4.3.6.3 <i>Timers</i> 1 e 2 (<i>buffers</i> 1 e 2)	88
4.3.7 Janela de Calibração do Medidor de Oxigênio Dissolvido (<i>O2CAL</i>)	89

4.3.8 Janela de Apresentação do Programa (<i>STARTUP</i>)	89
5. Transmissão dos Dados via Radiofrequência	92
5.1 Introdução.....	92
5.2 Sistema de Transmissão.....	92
5.3 Transmissor	93
5.4 Receptor	94
5.5 Desempenho do Sistema	97
6. Conclusão	99
6.1 Introdução.....	99
6.2 Otimização do Projeto	100
6.2.1 Medidor de Profundidade.....	100
6.2.2 Fonte de alimentação.....	101
6.3 Trabalhos Futuros.....	101
6.3.1 Sistema com <i>Data Logger</i>	101
6.3.2 Sistema automático de medidas	102
6.3.3 Sistema Telemétrico via Radiofrequência	102
6.3.4 Sistema Telemétrico via Internet	102
Bibliografia.....	103
Apêndices	106
Apêndice A - Esquemas dos Circuitos	106
Apêndice B - Programação em Linguagem Montadora do PIC16C84	115
Apêndice C - Descrição das Variáveis do Programa em <i>Visual Basic</i>	123
Apêndice D - Programa em <i>Visual Basic</i>	126

Lista de Figuras

Figura 1 - Ilustração do princípio de uma célula de dois eletrodos.....	6
Figura 2 - Circuito equivalente de uma célula de dois eletrodos.	8
Figura 3 - Dependência, com relação ao material dos eletrodos, da faixa de condutividade utilizável de uma célula de dois eletrodos.	10
Figura 4 - Dependência, com relação à frequência, da faixa de condutividade utilizável de uma célula de dois eletrodos de aço inox	11
Figura 5 - Célula de dois eletrodos	12
Figura 6 - Diagrama em blocos do condutivímetro	12
Figura 7 - Princípio de medida da condutividade.	13
Figura 8 - Sensor de pH integrado..	17
Figura 9 - Resposta típica de um sensor integrado	18
Figura 10 - Circuito de entrada para o sensor de pH integrado.....	18
Figura 11 - Sinal do sensor de pH modificado pelo circuito de entrada.	19
Figura 12 - Esquema básico de um turbidímetro.	25
Figura 13 - Fonte de tensão regulada para a lâmpada do turbidímetro	26
Figura 14 - Circuito de amplificação e adaptação do sinal do foto-sensor	27
Figura 15 - Linearização da escala de alta sensibilidade do turbidímetro.	29
Figura 16 - Linearização da escala de baixa sensibilidade do turbidímetro.....	30
Figura 17 - Circuito de ligação do LM 35D.....	32
Figura 18 - Polarograma do sensor de oxigênio dissolvido	34
Figura 19 - Desenho do sensor de oxigênio dissolvido.....	35
Figura 20 - Sensor de oxigênio com compensação de pressão	36
Figura 21 - Circuito do medidor de oxigênio dissolvido.	40
Figura 22 - Sistema proposto para a medida de profundidade.....	42
Figura 23 - Sistema do medidor de profundidade.....	44
Figura 24 - Sinais gerados quando o <i>encoder</i> gira no sentido anti-horário.....	45
Figura 25 - Sinais gerados quando o <i>encoder</i> gira no sentido horário.....	45
Figura 26 - Circuito que gera os sinais de pulso e sentido.....	45
Figura 27 - Formas de onda dos sinais do foto-transistor.	46
Figura 28 - Diagrama em blocos do circuito da sonda.....	49

Figura 29 - Esquema de transmissão de dados no padrão RS232.....	53
Figura 30 - Palavra de 16 <i>bits</i> gerada pelo conversor A/D	54
Figura 31 - Protocolo de comunicação do MAX187	54
Figura 32 - Esquema da multiplexação do canal analógico do MAX187.....	56
Figura 33 - Diagrama em blocos do circuito da fonte.....	59
Figura 34 - Fluxograma do programa em assembler do PIC16C84.....	64
Figura 35 - Fluxograma da rotina que escolhe a escala do condutivímetro.	66
Figura 36 - Fluxograma da rotina que escolhe a escala do turbidímetro.	67
Figura 37 - Temporização da leitura de um <i>byte</i> recebido pela porta serial.	71
Figura 38 - Janela principal do analisador de água.	75
Figura 39 - Exemplo das janelas da barra de menu.....	75
Figura 40 - Janela para manipulação de arquivos	83
Figura 41 - Janela para visualização dos dados enviados pela sonda.	86
Figura 42 - Janela de calibração do medidor de pH.....	87
Figura 43 - Janela de calibração do medidor de oxigênio dissolvido.	90
Figura 44 - Tela de Apresentação do Analisador Virtual de Água	91
Figura 45 - Transmissor de dados em 3.57MHz.	94
Figura 46 - Sinal digital da porta serial e portadora modulada em amplitude.	95
Figura 47 - Receptor de dados e áudio em 3.57 MHz.....	96

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Mobilidade dos íons (cátions e ânions) em função da temperatura... 7

Tabela 2 - Condutividade em função da concentração da solução..... 10

Tabela 3 - Dados do turbidímetro construído. Escala de alta sensibilidade..... 29

Tabela 4 - Dados do turbidímetro construído. Escala de baixa sensibilidade..... 30

Tabela 5 - Valores medidos com o turbidímetro montado em comparação com os
padrões preparados..... 31

Tabela 6 - Solubilidade do oxigênio em função da temperatura..... 38

Tabela 7 - Seleção das entradas analógicas..... 51

Tabela 8 - Seleção das escalas do condutivímetro em função dos bits RB1 e RB5... 51

Tabela 9 - Níveis lógicos das saídas dos transistores comandados pelo CD4028B... 55

Tabela 10 - Palavra de 12 *bits* gerada pelo conversor A/D 63

Tabela 11 - Funções da barra de menu..... 76

Resumo

O presente trabalho propõe a construção de um instrumento microprocessado multissensor para a medida de parâmetros físicos e químicos da água. As variáveis medidas são: temperatura, turbidez, pH, oxigênio dissolvido, condutividade e profundidade. O sistema é composto por uma sonda multissensora e um micro padrão IBM/PC que permite a visualização e armazenagem dos dados. No circuito da sonda são utilizados componentes recentes como o microcontrolador PIC16C84 e o conversor A/D serial de 12 *bits* MAX187. O programa para o PC foi desenvolvido na linguagem *Visual Basic 3.0* em ambiente *Windows*. A comunicação entre a sonda e o PC é feita através da porta serial RS232.

Abstract

The present work proposes the development of a multisensor microprocessor-based instrument for the measurement of physical and chemical water parameters. The water parameters that can be measured are: temperature, pH, dissolved oxygen, conductivity and depth. The system includes the multisensor instrument and an IBM/PC microcomputer that allows data recording and viewing. The instrument circuit is based on recent components such as the microcontroller PIC16C84 and the 12-bit A/D converter MAX187. The PC software was developed in Visual Basic 3.0 for Windows. The multisensor communicates with the PC by RS 232 serial cable.

1. Introdução

Com o crescimento da população e o conseqüente aumento das atividades industriais, o estudo das características físicas e químicas da água tem se tornado cada vez mais importante. Tal estudo tem aplicações em diversas áreas, como: no controle da qualidade das águas de abastecimento, na caracterização dos efluentes líquidos de águas residuárias industriais ou domésticas e na caracterização de diferentes corpos de águas naturais, como rios, lagos, poços etc.

A completa caracterização de um corpo de água^[32] envolve a medida de muitos parâmetros. No entanto, usualmente, a avaliação da qualidade da água dá-se em função da utilização da mesma. Assim, selecionam-se apenas os parâmetros relevantes a fim de otimizar tanto o equipamento como o processo de medida. Os parâmetros mais comuns no estudo de águas são a temperatura, o pH, a condutividade, a concentração de gases dissolvidos, a turbidez, a cor, a penetração de luz, entre outras.

Até pouco tempo atrás, e ainda hoje em países pouco desenvolvidos, essas medidas eram feitas individualmente, por diferentes instrumentos, através da coleta de amostras. Isso limita o número de medidas, dificulta o controle contínuo e impede

a automação do processo de avaliação da qualidade da água. Além disso, certas propriedades são interdependentes, variando simultaneamente.

Recentemente, equipamentos de medida com sensores múltiplos, que permitem quantificar simultaneamente algumas variáveis, têm sido desenvolvidos em diferentes países e têm contribuído significativamente para a melhoria do processo de medição, bem como oferecendo uma abordagem mais eficiente na solução de diferentes problemas. Como exemplo, as alterações de algumas características da água de um rio ocasionadas por descargas de poluentes podem ser analisadas com precisão através da utilização de sensores múltiplos instalados em pontos equidistantes a partir de uma fonte pontual. Um rio é um fluxo de água onde a velocidade das mudanças é um problema quando se realizam medidas discretas. Um outro exemplo é um lago, o qual é um estoque de água, que leva mais tempo para ser limpo ou depurado criando gradientes ou estratos com características distintas levando a uma compartimentalização do sistema. O esforço amostral, portanto, é muito mais intenso para uma caracterização dos diferentes compartimentos. Muitos estudos nesses sistemas ficam prejudicados pela ausência de uma tecnologia adequada para as medições das variáveis hidrológicas.

Com a utilização de microprocessadores é possível o desenvolvimento de equipamentos bastante versáteis e específicos que, além de coletar dados de maneira eficiente, permitem um pré-processamento e armazenamento dos mesmos. Um instrumento microprocessado permite, ainda, a transmissão digital do valor da variável medida de um ponto ao outro. Isso evita interferências causadas por campos magnéticos, campos elétricos e umidade nos cabos, pois o sinal digital é muito mais imune a essas interferências que os débeis sinais analógicos gerados pelos sensores.

No presente trabalho de mestrado foi desenvolvido um instrumento microprocessado para a medição de parâmetros físicos e químicos da água, mais especificamente temperatura, pH, turbidez, condutividade específica e concentração de oxigênio dissolvido. Esse instrumento consiste em uma sonda multissensora sustentada por um cabo de aço, a qual faz a aquisição dos dados e os envia digitalmente no padrão RS232 a um microcomputador do tipo *lap-top*, situado em uma embarcação, contendo um programa de visualização e armazenamento de dados.

No circuito eletrônico da sonda foram utilizados componentes de última geração, notadamente o microcontrolador PIC16C84 e o conversor A/D MAX187. O PIC16C84 pertence a uma família de microcontroladores *RISC*, fabricada pela *Arizona Microchip*. Os componentes dessa família são bastante compactos, cada um apresentando um grupo diferente de recursos. Assim, de acordo com a aplicação, escolhe-se o componente mais adequado. O PIC16C84 é dotado de *EEPROM* interna, o que facilita muito a fase de depuração do programa. Além disso, devido ao fato do microcontrolador possuir poucas instruções, o aprendizado da linguagem montadora é muito rápido. O MAX187 é um conversor A/D de 12 *bits* com saída serial alojado num encapsulamento de apenas 8 pinos. O pequeno tamanho do *CI* aliado aos circuitos embutidos, tais como uma referência de tensão e circuito de *sample-hold*, simplifica a placa de circuito impresso, com o conseqüente aumento da confiabilidade. Na parte analógica do circuito vale ressaltar a ausência de resistores variáveis, que sempre sofrem variação de valor devido ao envelhecimento.

O sistema como um todo, baseia-se na técnica de instrumentação virtual, a qual utiliza a tela de um microcomputador para visualizar e controlar graficamente instrumentos remotos. Para a implementação desse sistema, construiu-se um

programa na linguagem *Visual Basic*. Esta linguagem segue a filosofia atual de programação: a programação utilizando objetos visuais. A abordagem visual permite a construção de interfaces gráficas de alta qualidade com um mínimo de esforço na programação.

A apresentação deste trabalho está dividida em quatro partes principais: o capítulo 2 trata do projeto dos instrumentos, o capítulo 3 trata do circuito geral da sonda, no capítulo 4 encontram-se os assuntos relacionados aos programas tanto em linguagem montadora como em *Visual Basic* e nos apêndices estão os esquemáticos de todos os circuitos bem como a listagem completa dos programas desenvolvidos. No capítulo 2 incluiu-se o projeto de um medidor de profundidade, essencial no levantamento dos parâmetros da água de um lago. No capítulo 5 é apresentada uma alternativa para a transmissão dos dados via cabos: a transmissão via radiofrequência.

2. Instrumentos

2.1. Condutivímetro

2.1.1 Introdução

Diferentemente da maioria dos métodos de análise química que utilizam medidas elétricas, a condutividade^[1] é uma medida não-seletiva^[2]. Ou seja, todos os íons presentes numa solução são detectados. A contribuição de cada íon no valor total da medida depende da sua mobilidade, carga e concentração^[1]. Os sensores utilizados são passivos necessitando de uma fonte externa para a geração de um sinal o qual alimenta um amplificador.

Apesar da não-seletividade a condutividade tem grande importância e é, com exceção da medida de pH, a técnica eletroquímica mais utilizada no monitoramento de águas.

2.1.2 Definição e unidades

A condutividade κ é definida como sendo a condutância G de uma célula de dois eletrodos planos com área de 1cm^2 distanciados de 1cm . Tal tipo de célula pode ser caracterizado pela sua constante^[1] $k = d/A$ de acordo com a figura 1. Apesar dessa expressão, o valor de k é, na prática, calculado com base em soluções com condutividade conhecida. Isto é feito pois, como pode ser visto na figura 1, ocorre

um espalhamento do campo elétrico nas bordas das placas. A condutividade κ é então

$$\kappa = G.k. \quad (1)$$

A unidade de condutividade deriva de sua expressão e é Siemens/cm. Alternativamente pode-se utilizar a "resistividade específica", a qual é definida como sendo $1/\kappa$ e apresenta a unidade $\Omega\cdot\text{cm}$. Como exemplo $1\mu\text{S}/\text{cm} = 1\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$.

A faixa de valores de condutividade de soluções está compreendida em 10 décadas, começando com a condutividade da água pura ($5 \cdot 10^{-8} \text{ S}/\text{cm}$) e terminando com valores próximos a $1 \text{ S}/\text{cm}$, os quais são encontrados em fortes ácidos inorgânicos.

Figura 1 - Ilustração do princípio de uma célula de dois eletrodos. As linhas de campo elétrico não terminam na borda dos eletrodos. Logo, a constante $k = d/A$ da célula não pode ser calculada apenas com base nas dimensões geométricas

2.1.3 Natureza da Condutividade

A inserção de dois eletrodos numa solução e a aplicação de uma tensão contínua (na prática utiliza-se tensão alternada) nos mesmos faz com que surja o aparecimento de uma corrente. Tal corrente é devida à movimentação dos íons (cátions e ânions) e suas conseqüentes descargas nos eletrodos de potencial oposto.

Como a tensão aplicada é conhecida, com a medida da corrente gerada calcula-se a condutância compreendida nos dois eletrodos. Na seqüência, utilizando-se a expressão (1) chega-se à condutividade.

A corrente gerada é proporcional à mobilidade, carga e concentração dos íons. No entanto, observando-se a tabela 1 nota-se que a mobilidade dos íons é dependente da temperatura. Logo, a condutividade medida também o é. Desta forma faz-se necessária uma correção no valor da condutividade de acordo com a temperatura da solução. Em geral, essa correção fica em torno de 1 a 3% por °C. Nos equipamentos analógicos o sinal de um sensor de temperatura é inserido convenientemente na seção amplificadora do condutivímetro. Já nos equipamentos digitais a correção é feita por meio de equações implementadas em *software* que têm como parâmetro o valor medido e convertido da temperatura.

Tabela 1^[1] - Mobilidade dos íons (cátions e ânions) em função da temperatura em solução aquosa. Os valores constantes na tabela foram extrapolados para concentração zero. Os íons H⁺ e OH⁻ seguem um mecanismo diferente de transporte, baseado em pontes de hidrogênio entre os íons e os dipolos da água.

Íons	0°C	18°C	25°C	100°C
H ⁺	225	315	350	637
Li ⁺	19	33	39	120
Na ⁺	26	43	50	150
K ⁺	40	64	74	200
Ag ⁺	33	53	62	180
1/2 Ca ²⁺	31	50	60	187
1/3 La ³⁺	35	60	70	220
OH ⁻	105	174	200	446
Cl ⁻	41	66	76	207
J ⁻	42	67	77	-
NO ₃ ⁻	40	63	71	189
MnO ₄ ⁻	36	53	63	-
1/2 SO ₄ ⁻²	41	69	80	256

Mobilidade λ em Ω⁻¹.cm²

2.1.4 Considerações práticas

O circuito equivalente de uma célula de dois eletrodos está mostrado na figura 2. O elemento representativo da condutividade é o resistor R_x . Todos os outros elementos são parasitas que aparecem num dispositivo real. C_3 representa a capacitância do cabo do sensor até o amplificador. R_4 e C_4 dependem da geometria utilizada na construção do sensor. Os elementos dentro do retângulo pontilhado representam interações dos eletrodos com a solução.

Figura 2 - Circuito equivalente de uma célula de dois eletrodos. A resistência de interesse está representada por R_x . O retângulo pontilhado engloba os componentes que representam as interações dos eletrodos com a solução. Os componentes que estão fora do retângulo são devidos às conexões externas (cabos etc.).

Qualquer eletrodo que possua condução eletrônica em contato com uma solução que apresente condução iônica sofre efeitos de polarização^[1]. Isto é, mesmo sem a aplicação de tensão surge na superfície do eletrodo uma interface constituída por íons de carga oposta que na prática é representada por um capacitor em série, no

caso C_2 . Além disso uma pequena corrente de fuga pode surgir por efeito semelhante ao que ocorre numa pilha eletroquímica. Neste caso essa corrente indesejável indica uma alteração no valor medido de R_x e no circuito equivalente é representada por R_2 . Vale ainda observar que esses efeitos aumentam com o valor da condutividade. Logo eles acabam impondo um limite superior na faixa de medidas.

Para minimizar os efeitos de polarização dois procedimentos básicos são tomados: uso de tensão alternada de frequência adequada e uso de materiais convenientes na fabricação dos eletrodos.

Na figura 3 é mostrada a influência do material usado nos eletrodos no valor da constante da célula, no caso $k = 1.00 \text{ cm}^{-1}$. Note que com o aumento da condutividade a partir de um determinado valor ocorre um aumento aparente da constante k .

Na figura 4 tem-se o incremento da constante k inicialmente igual a 1.00 cm^{-1} com relação à frequência e ao valor da condutividade.

2.1.5 Preparo de Solução Padrão

Na definição de condutividade fez-se referência à constante da célula, que compõe o sensor, a qual deve ser obtida experimentalmente através de soluções com condutividade conhecida. Um método simples de obtenção de soluções padronizadas é o seguinte: dissolvem-se 74.551g de KCL seco em 1 litro de água pura. Essa solução possui concentração de 1 mol/L. As concentrações de 0.1 e 0.01 mol/L são obtidas por diluição simples da solução de 1 mol/L. As condutividades dessas soluções nas várias temperaturas podem ser vistas na tabela 2.

Tabela 2^[1] - Condutividade em função da concentração da solução

Temperatura (°C)	Concentração (Mol/l)						
	1	0.1	0.05*	0.01	0.005*	0.001*	0.0005*
15	92.54m	10.48m	5.50m	1.147m	576.3μ	115.7μ	58.0μ
20	102.09m	11.67m	6.13m	1.278m	642.2μ	129.0μ	64.6μ
25	111.80m	12.88m	6.77m	1.413m	710.0μ	142.6μ	71.4μ

Condutividade κ em S/cm, onde $m=10^{-3}$ e $\mu=10^{-6}$.

* Os valores de condutividade relativos a essas concentrações foram interpolados.

Figura 3^[1] - Dependência, com relação ao material dos eletrodos, da faixa de condutividade utilizável de uma célula de dois eletrodos. A célula, nesse caso, só deve ser utilizada na faixa onde $\kappa=1.00\text{cm}^{-1}$. (a) aço inox; (b) carbono sinterizado; (c) aço inox coberto com uma camada de carbeto de titânio; (d) Platina

2.1.6 Medidor de Condutividade

No presente trabalho montou-se um condutivímetro para análise de águas o qual é adequado para medir valores de condutividade na faixa de 0 a 2mS com precisão de 0.1%.

Figura 4^[1] - Dependência, com relação à frequência, da faixa de condutividade utilizável de uma célula de dois eletrodos de aço inox. A faixa utilizável deve ser onde $k=1.00\text{cm}^{-1}$.

A primeira questão levantada foi a construção do sensor, que deveria ser o mais simples possível a fim de facilitar e de baratear a construção, mas ainda atendendo às especificações iniciais. Há diversas geometrias e materiais^[1] disponíveis para essa implementação. Escolheu-se o modelo de placas paralelas com eletrodos de platina, principalmente pela facilidade de construção, o qual pode ser visto na figura 5. As dimensões do sensor utilizado são: $A=0.5\text{cm}^2$ (2 eletrodos de 0.25cm^2) e $d=0.5\text{cm}$.

Em seguida partiu-se para a implementação de um circuito para alimentar o sensor e colher o sinal produzido, amplificando-o e padronizando-o de acordo com a entrada do conversor A/D.

O circuito do condutivímetro consiste em um oscilador de onda quadrada^[3], um amplificador com 3 níveis de ganho (3 escalas automáticas selecionadas pelo microcontrolador PIC16C84) e um retificador de onda completa. Na figura 6 tem-se um diagrama em blocos do condutivímetro.

Figura 5^[1] - Célula de dois eletrodos

Figura 6 - Diagrama em blocos do condutivímetro

Quanto ao oscilador, este deve apresentar simetria total. Ou seja, a duração, a forma de onda e a amplitude do semi-ciclo positivo devem ser iguais àsquelas do semi-ciclo negativo. A razão para tal simetria baseia-se no fato de que não deve haver componente de corrente contínua. Se não houver simetria ocorre no sensor efeitos de polarização já comentados anteriormente. A amplitude do sinal aplicado no sensor deve atender a um compromisso. Se for muito grande pode haver dissociação excessiva no eletrólito causando uma agitação (bolhas, alteração na concentração etc.) indesejável nas proximidades dos eletrodos. Por outro lado se a amplitude for muito pequena, torna-se necessária uma grande amplificação posterior do sinal

produzido pelo sensor, o que pode provocar o aparecimento de ruído. Na prática algo em torno de 100mVpp atende razoavelmente ambas exigências.

Na parte de detecção e amplificação do sinal, vale observar que o sensor, no tipo de circuito escolhido, é considerado como um resistor de valor variável em função da condutividade da solução. Na figura 7, é mostrado um esquema representativo. O circuito completo do condutivímetro encontra-se no apêndice A.

Os fatores relacionados com a compensação térmica, a inclusão da constante de célula e a conversão da resistência variável para condutividade são tratados através de expressões matemáticas implementadas no *software* de visualização. A seleção de escala, no entanto, é feita diretamente pelo microcontrolador. Mais detalhes ver programa em linguagem montadora.

Quanto à calibração, esta é feita nas três escalas e apenas uma vez, na concepção do *software* da sonda. Deve-se observar, entretanto, que o uso de amplificadores operacionais^[4] de baixo *off-set* e baixo *drift* é obrigatório. Caso não seja possível utilizar tais componentes, o *software* deve ser provido de uma rotina de calibração específica para o condutivímetro. Então, antes de cada bateria de medidas o condutivímetro deve ser calibrado.

Figura 7 - Em ambos esquemas tem-se um amplificador inversor com três possibilidades de ganho (três escalas). O ganho é dado pelo quociente do resistor de realimentação pelo resistor de entrada. Se a amplitude do oscilador é fixa, então a saída do amplificador é inversamente proporcional ao resistor de entrada. No caso, a saída é diretamente proporcional à condutividade, pois maior a condutividade menor a resistência equivalente da solução.

2.2. Medidor de pH

2.2.1 Introdução

A medida de pH fornece um parâmetro que determina o quanto uma solução é ácida ou alcalina.

No presente trabalho não houve interesse nos aspectos construtivos do sensor de pH, já que se utilizou um sensor comercial^[5] para a avaliação do sistema global montado. Apenas estudou-se o comportamento elétrico do sensor a fim de prover o sistema final de um circuito adequado para o condicionamento do sinal.

2.2.2 Definição^[7]

O termo **pH** vem da abreviatura de duas palavras inglesas:

$$p \rightarrow \text{Power (expoente)} \qquad H \rightarrow \text{Hydrogen.}$$

Observando-se a definição formal de pH, o termo torna-se mais claro.

$$pH = -\log_{10} a_H^+ \qquad \text{ou} \qquad 10^{pH} = a_H^+,$$

onde a_H^+ representa a atividade^[7] dos íons hidrogênio (H^+). Normalmente associa-se a medida de pH com a concentração de íons H^+ . De fato, a atividade dos íons hidrogênio relaciona-se com a concentração de H^+ através do coeficiente^[7] de atividade f_H^+ :

$$a_H^+ = f_H^+ \cdot C_H^+,$$

onde C_H^+ é a concentração molal de H^+ . Nos casos em que o coeficiente de atividade é igual a um, o pH indica diretamente a concentração de íons H^+ . Em soluções bastante diluídas esse coeficiente é bem próximo da unidade. Os fatores^[7] que afetam

o coeficiente de atividade são a temperatura, a força iônica, a constante dielétrica, a carga do íon, o tamanho dos íons e a densidade do solvente.

A escala usual para a medida de pH é baseada na constante de dissociação da água, $K_w = a_H^+ \cdot a_{OH}^-$. Em água pura as concentrações desses íons são iguais a 10^{-7} M a 25°C. Sendo K_w constante, fixada a temperatura, são, então, estabelecidos os limites de 0 a 14 para a medida de pH.

Em soluções fortemente ácidas ou alcalinas valores fora dessa faixa podem ser encontrados. Todavia, em geral, não há interesse prático na medida de pH dessas soluções.

2.2.3 O Sensor

O sensor^[8] para medida de pH funciona através da diferença de potencial gerada por uma célula galvânica^[8] (eletrodo + eletrodo de referência). Esses eletrodos apresentam, em geral, resistências internas de até $1\text{G}\Omega$ (10^9) e são muito suscetíveis à polarização. Logo, o circuito de entrada^[9] que capta o sinal gerado pelo eletrodo deve apresentar alta impedância ($>10^{12}\Omega$) e baixa corrente de *off-set* ($<10^{-12}\text{A}$).

O potencial produzido pelo eletrodo segue a seguinte expressão:

$$E = E_0 + 2.303 (RT/F) \log [a_H^+],$$

conhecida como equação de Nernst^[6], onde:

E = potencial do eletrodo em V/pH

E_0 = potencial assimétrico, o qual varia com o passar do tempo (idade)

R = constante gasosa ($8.3144 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$)

T = temperatura em Kelvin

a_H^+ = atividade dos íons hidrogênio

Para o sensor integrado^[5] (eletrodo e eletrodo de referência), temos, simplificadaamente:

$$V = V_0 - (54.20 + 0.198 T) \cdot (pH - 7) \quad [mV] \quad (2)$$

onde:

V = tensão produzida nos terminais do sensor

V_0 = tensão de *off-set* variável com o passar do tempo.

T = temperatura em °C

pH = valor do pH da amostra

A tensão V_0 teoricamente deveria ser nula. Na prática a mesma apresenta um pequeno valor (positivo ou negativo) que varia de acordo com o sensor e com o passar do tempo (idade do sensor).

Na figura 8 é mostrado um sensor integrado típico e na figura 9, a resposta desse tipo de sensor.

Devido a resposta do sensor variar com o passar do tempo e com a temperatura, é sempre necessária uma rotina de calibração^[9] antes de serem realizadas medidas nas quais deseja-se grande precisão. A calibração é feita tomando como referência soluções com valores conhecidos de pH. Podem-se usar uma ou mais soluções padronizadas, normalmente duas já fornecem boa precisão. No caso de calibração por uma única solução consegue-se apenas o "zeramento" do *off-set*. Já com duas soluções além do *off-set*, ajusta-se, também, o ganho do sensor. Ainda, para medidas nas quais deseja-se extrema acuracidade é usual escolher as soluções conhecidas com valores próximos aos que serão lidos.

Figura 8 - Sensor de pH integrado. 1, Membrana de vidro; 2, Eletrólito interno de referência; 3, tela de metal; 4, Sistema de referência interno; 5, Conexão interna; 6, Cabeça do eletrodo; 7, Conexão interna; 8, Abertura para recarregamento do eletrólito; 9, Cabeça do eletrodo; 10, Cabo de conexão.

Vale observar, que existe um tempo de resposta^[8] relativamente grande para o estabelecimento do valor correto de tensão em função do valor do pH. O tempo de resposta está intimamente ligado ao tipo de sensor, concentração da solução, idade do sensor, modo de acondicionamento do sensor e medidas feitas anteriormente. Esse tempo varia em geral de alguns segundos a varias dezenas de segundos.

2.2.4 Circuito de entrada^[9]

De acordo com a figura 9, nota-se que a faixa de tensão produzida pelo sensor está compreendida entre aproximadamente -600mV a +600mV. O conversor A/D utilizado aceita tensões entre 0 e 4.1V. Assim, duas modificações no sinal devem ser feitas: tornar o sinal apenas positivo e promover uma amplificação do

mesmo a fim de utilizar toda a faixa do conversor, melhorando a resolução. A figura 10 mostra o circuito no qual o primeiro amplificador operacional apenas cria uma entrada com impedância de $10^{15}\Omega$ e corrente de polarização de apenas 0.15pA. O segundo operacional amplifica em 2.56 vezes, invertendo o sinal, e somando uma componente CC de 2.08V. Na figura 11 está mostrado o sinal modificado.

Figura 9 - Resposta teórica de um sensor integrado - Eletrodo + eletrodo de referência. A 0°C a curva apresenta inclinação de 54.20mV/°C; a 25°C, 59.16mV/°C e a 100°C, 74.04mV/°C.

Figura 10 - Circuito de entrada para o sensor de pH integrado. O primeiro operacional cria a entrada de alta impedância. O segundo inverte o sinal e soma uma componente de tensão contínua fixa. Assim o sinal de saída do circuito torna-se unipolar e diretamente proporcional ao pH.

Figura 11 - Sinal do sensor modificado pelo circuito de entrada. A modificação aumenta o ganho, torna a correspondência pH-tensão diretamente proporcional e faz com que o sinal seja apenas positivo (unipolar).

2.2.5 Medidor de pH^[9]

No presente trabalho, a conversão do sinal de tensão para valores de pH, a compensação térmica e as rotinas de calibração são totalmente feitas no *software* de visualização em *Visual Basic*. Assim, as expressões deduzidas nesta seção foram implementadas no *software* de visualização e podem ser vistas na listagem do mesmo.

Escolheram-se 3 modos de operação, em todos eles determinam-se retas em torno do ponto de pH=7. A escolha desse ponto é obrigatória pois é em torno dele que a inclinação da reta varia devido à temperatura.

a) sem calibração: supõe-se a resposta teórica e ideal do sensor, isto é, *off-set* igual a zero e resposta linear de acordo com a equação (2).

A inclinação da reta é a teórica, a qual vem da equação (2), multiplicada pelo ganho do amplificador $G_{(-)}$:

$$m(T) = -(54.20 + 0.198T) \cdot G_{(-)} \quad [mV/^{\circ}C]$$

O valor de $pH=7$ num sensor ideal produz $V_{in}(7) = 0$. A expressão geral de V no circuito da figura 10 é:

$$V(pH) = V_{REF} \cdot G_{(+)} - V_{in}(pH) \cdot G_{(-)}.$$

Se $V_{in}(pH) = 0$:

$$V(7) = V_{REF} \cdot G_{(+)}.$$

A reta, então, é:

$$V(pH) - V(7) = m(T) \cdot (pH - 7),$$

o que leva à expressão final do valor do pH :

$$pH = \frac{V - V(7)}{m(T)} + 7.$$

b) 1 ponto de calibração: supõe-se resposta linear de acordo com a equação (2) e faz-se o zeramento do *off-set*, ajustando-se uma reta de mesma inclinação que a descrita em (2) porém passando pelo ponto de referência dado pelo valor de pH da solução padrão.

Neste caso, utiliza-se a inclinação teórica mas o ponto de $pH = 7$ é calculado em função da reta determinada pelo ponto efetivamente medido.

A inclinação é dada por:

$$m(T) = -(54.20 + 0.198T) \cdot G_{(-)} \quad [mV/^{\circ}C].$$

Do processo de calibração obtém-se um ponto de $\text{pH} = \text{pH}_1$, o valor correspondente de tensão $V = V_1$ e a temperatura T_1 na qual realizou-se a medida. Determina-se, então, uma expressão para o cálculo do pH válida apenas na temperatura T_1 :

$$V - V_1 = m(T_1) \cdot (\text{pH} - \text{pH}_1)$$

$$V = m(T_1) \cdot (\text{pH} - \text{pH}_1) + V_1$$

Logo:

$$V(7) = m(T_1) \cdot (7 - \text{pH}_1) + V_1$$

De posse da inclinação e do ponto $\text{pH} = 7$, determina-se a expressão final para o valor do pH :

$$\text{pH} = \frac{V - V(7)}{m(T)} + 7$$

c) **2 pontos de calibração:** neste caso, supõe-se apenas o grau de dependência térmica já que a reta de resposta do sensor é ajustada por dois pontos, não necessitando supor o ganho tampouco o *off-set*.

A inclinação da reta é calculada utilizando-se os dois pontos disponíveis:

Ponto 1: pH_1, V_1 Ponto 2 : pH_2, V_2

$$M = \frac{V_1 - V_2}{\text{pH}_1 - \text{pH}_2}$$

A variação no ganho do sensor com relação à temperatura é de $-0.198 \text{mV}/^\circ\text{C}$. Dada a amplificação, esse valor torna-se $G_{(t)}$, $(-0.198) \text{mV}/^\circ\text{C}$. A variação no ganho ocorre devido à diferença de temperatura entre a amostra e a solução padrão utilizada na calibração. Como, no caso, são duas soluções padrão, adotou-se a média das temperaturas como temperatura da solução padrão. Desta forma, o fator que corrige o ganho (inclinação da reta) do sensor fica:

$$C_{temp} = \Delta T \cdot G(-) \cdot (-0.198),$$

onde $\Delta T = T - T_{solução\ padrão}$ e $T_{solução\ padrão} = \frac{T_1 + T_2}{2}$.

A inclinação final da reta fica, portanto:

$$m(T) = M + C_{Temp}.$$

Para o cálculo do ponto de pH=7, determina-se a reta de inclinação M passando por um dos pontos pH₁ ou pH₂, no caso, pH₁:

$$V - V_1 = M \cdot (pH - pH_1)$$

$$V = M \cdot (pH - pH_1) + V_1.$$

Calcula-se, então, o ponto de pH=7:

$$V(7) = M \cdot (7 - pH_1) + V_1.$$

De posse do ponto de pH=7 e da inclinação da reta, a expressão final, para o cálculo do pH com base em dois pontos de calibração, fica:

$$pH = \frac{V - V(7)}{m(T)} + 7.$$

2.3. Medidor de Turbidez

2.3.1 Introdução

Se em uma determinada amostra de água existem partículas em suspensão, então, diz-se que essa água está turva. A medida da turbidez indica o quanto uma amostra de água está turva.

2.3.2 Princípio da Medida

A unidade de medida da turbidez é o NTU - *Nephelometric Turbidity Units*^[10]. O método escolhido para a medida de turbidez baseia-se na reflexão de luz pelas partículas em suspensão. A amostra é iluminada convenientemente, como mostrado mais adiante, e faz-se a detecção da luz refletida. Existem outros métodos para esse tipo de medida. Dentre eles o que se baseia na intensidade de luz transmitida.

A atribuição de valores de NTU é feita através da comparação da intensidade de luz refletida pela amostra, sob condições definidas, com a intensidade de luz refletida por uma suspensão padrão de referência^[10]. Quanto maior a quantidade de luz refletida maior a turbidez.

Alguns fatores^[10] afetam sensivelmente a medida da turbidez:

- partículas flutuantes, podem obstruir a passagem da luz indicando valores mais baixos de turbidez;
- partículas pesadas, as quais sedimentam rapidamente;
- bolhas de ar, refletem significativamente a luz; logo ocorre uma indicação de turbidez maior que a real;
- a presença de coloração na solução absorve a luz proveniente da fonte luminosa fazendo o turbidímetro indicar baixos valores;
- valores de turbidez maiores que 40 NTU; em medidas nas quais deseja-se alta acuracidade a amostra deve ser diluída e ser medida novamente. O valor da turbidez da solução original é, então, calculado com base na proporção da diluição feita. Esse procedimento só é possível em amostras analisadas em laboratório.

Instrumentos de campo de medição contínua medem diretamente incorrendo em uma margem de erro maior.

2.3.3 Aspectos Construtivos

Existem diversas maneiras de construir um turbidímetro. Um exemplo está mostrado na figura 12. Esse modelo foi usado na construção do turbidímetro do presente trabalho.

Algumas considerações^[10] devem ser feitas acerca da construção do turbidímetro:

- Entre a lâmpada e a entrada do tubo deve haver uma lente para concentrar a luz próximo ao ponto de detecção, aumentando a eficiência e diminuindo o espalhamento;

- A distância, ao longo do tubo, da fonte de luz (lâmpada) e o ponto de detecção não deve ser superior a 10cm;

- O ângulo entre o caminho da luz incidente e o detector deve ser de 90°;

- O detector deve aceitar luz incidente com um ângulo sólido de no máximo 60°;

- O tubo que contem a amostra deve ser construído internamente em vidro incolor e mantido absolutamente limpo. Externamente, esse tubo deve ser recoberto com material (tinta, plástico etc.) preto, o que evita reflexões internas e interferência da luz externa;

- O tubo transversal que aloja o sensor deve ser de material preto e possuir comprimento em torno de 3cm. Esse valor foi determinado experimentalmente. Se for menor que 3cm o foto-transistor detecta a luz refletida pela parede do tubo de vidro mesmo a amostra tendo turbidez zero. Se, no entanto, for maior ocorre uma perda de sensibilidade devido à atenuação da intensidade luminosa;

- Para uma resolução de 0.1 NTU são necessárias pelo menos duas escalas, as quais são implementadas variando-se o ganho do amplificador do foto-transistor.

Figura 12 - Esquema básico de um turbidímetro.

2.3.4 Circuito do Turbidímetro

Na construção do turbidímetro utilizou-se uma lâmpada incandescente de 2.2V, com lente no próprio bulbo. Na figura 13 está mostrado o circuito da fonte regulada de 2.2V que alimenta a lâmpada.

Figura 13 - Fonte de tensão regulada 2.2V que alimenta a lâmpada do turbidímetro

Na detecção da luz refletida, utilizou-se um foto-transistor NPN mostrado na figura 14 juntamente com o circuito de amplificação. Nesse circuito o foto-transistor opera como um amplificador elementar do tipo emissor comum. No coletor observam-se dois resistores, que selecionados convenientemente implementam duas escalas de sensibilidade. A alta sensibilidade é conseguida utilizando-se somente o resistor de 4M7. Já a baixa sensibilidade é selecionada através da inserção de um resistor de 560K em paralelo com o de 4M7. A escolha das escalas é automática realizada pelo microcontrolador PIC16C84 que envia um sinal pela porta RB0. O restante do circuito transforma o sinal obtido do foto-sensor em um sinal de 0 a 5V que cresce monotonicamente com a turbidez. O ajuste das escalas bem como a linearização são feitos no *software* de visualização.

2.3.5 Preparo da Solução Padrão^[10]

Como mencionou-se anteriormente, a medida de turbidez é essencialmente comparativa. Logo, é necessária uma série de soluções com valores de turbidez conhecidos para a calibração do turbidímetro.

Figura 14 - Circuito de amplificação e adaptação do sinal proveniente do foto-sensor do turbidímetro

No presente trabalho prepararam-se soluções com os seguintes valores de turbidez: 0, 4, 20, 40, 50, 80, 100, 200 e 400 NTU.

Na preparação dessas soluções são necessários três reagentes:

- água livre de turbidez; água destilada e filtrada com filtro de pelo menos 0.45μ de tamanho de poro. A água utilizada no presente trabalho foi a do tipo *Mili-Q* com 0.25μ no filtro;
- sulfato de hidrazina;

- hexametenotetramina.

2.3.5.1 Roteiro para preparação das soluções^[10]

Duas soluções iniciais devem ser preparadas:

Solução 1: Dissolver 1.00g de sulfato de hidrazina em água e diluir até 100ml num balão volumétrico.

Solução 2: Dissolver 10.00g de hexametenotetramina em água e diluir até 100ml num balão volumétrico.

Num terceiro balão volumétrico de 100ml misturar 5ml da solução 1 com 5ml da solução 2. Diluir até a marca e agitar. Mantenha a mistura numa temperatura de $25 \pm 3^{\circ}\text{C}$ e aguarde 24 horas. A solução resultante apresenta o valor de 400 NTU. Diluindo-se convenientemente essa solução chega-se aos valores desejados de turbidez.

A solução de 400 NTU deve ser usada dentro de um mês. As soluções derivadas devem ser usadas dentro de uma semana. A não observância desses prazos ocasiona erros na leitura da turbidez, pois pode ocorrer aglutinação das partículas em suspensão.

2.3.6 Calibração e Desempenho do Turbidímetro

Após a construção do turbidímetro fez-se um levantamento da sua resposta em tensão em função da turbidez das amostras, tanto na escala de baixa sensibilidade como na de alta. Nas figuras 15 e 16 encontram-se as curvas levantadas e nas tabelas 3 e 4 encontram-se, respectivamente, os valores medidos. Note que as tensões estão expressas em porcentagem. Isso ocorre, pois as mesmas foram lidas

diretamente do *software* de visualização. E, neste último, por questões de padronização de valores, optou-se por trabalhar, internamente ao programa, com os valores de tensão de 0 a 5V expressos em valores de 0 a 100%.

Nas figuras 15 e 16 observa-se claramente a natureza não-linear da resposta do turbidímetro. Para contornar esse problema, fez-se uma interpolação (ajuste de um polinômio) dos pontos obtendo-se uma expressão relacionando a turbidez com a tensão. Logo, o *software* relaciona a tensão com a turbidez através do polinômio calculado previamente.

Figura 15 - Linearização da escala de alta sensibilidade do turbidímetro. O polinômio de 3º grau foi calculado através dos dados contidos na tabela 3.

Tabela 3 - Dados obtidos com o turbidímetro construído. Escala de alta sensibilidade.

Turbidez	Tensão(%) 1	Tensão(%) 2	Tensão(%) 3	Média
0.00	0.81	0.46	0.83	0.70
4.00	7.50	7.00	7.00	7.17
20.00	39.50	38.00	37.00	38.17
40.00	64.50	65.80	66.80	65.70
50.00	89.50	91.00	90.00	90.17

Após a implementação dos polinômios no *software*, repetiram-se as medidas, mas já com o *software* mostrando os valores de turbidez. Na tabela 5, podem-se observar a repetibilidade e o erro do instrumento.

Figura 16 - Linearização da escala de baixa sensibilidade do turbidímetro. O polinômio de 4º grau foi calculado através dos dados contidos na tabela 4.

Tabela 4 - Dados obtidos com o turbidímetro construído. Escala de baixa sensibilidade.

Turbidez	Tensão(%) 1	Tensão(%) 2	Tensão(%) 3	Média
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50.00	6.76	6.76	6.76	6.76
80.00	12.80	11.56	12.33	12.23
100.00	15.70	15.70	15.14	15.51
200.00	29.00	28.60	27.60	28.40
400.00	38.00	43.50	41.70	41.07

No terceiro grupo de medidas, nota-se a influência da limpeza do tubo que contem a amostra. Esse tubo aparentemente já estava limpo, mas a limpeza foi feita justamente para comprovar a influência desse fator. No momento das medidas,

observou-se, também, a grande interferência causada por bolhas de ar devido à agitação prévia para correta distribuição das partículas em suspensão. No entanto, para uma leitura acurada basta aguardar alguns instantes e as bolhas desaparecem.

Nos valores de turbidez de 0 e 4 NTU nota-se um erro bastante grande. Porém, esse erro é causado principalmente pelo alto *off-set/drift* de tensão do amplificador operacional utilizado. Para diminuir o erro nessa faixa basta escolher amplificadores de baixo *off-set/drift*.

Tabela 5 - Valores medidos com o turbidímetro montado em comparação com os padrões preparados.

Padrão (NTU)	Medida 1	Medida 2	Medida 3 Turbidímetro limpo	Média	Erro (%)
0	0.5*	0.8*	0.8*	0.7*	-
4	3.1*	3.0*	3.0*	3.0*	24.2
20	20.6	20.6	19.3	20.2	0.8
40	41.5	41.7	39.2	40.8	2.0
50	51.6	51.5	50.9	51.3	2.7
50 **	54	54	52	53.3	6.7
80	82	82	73	79.0	1.3
100	100	102	90	97.3	2.7
200	202	209	173	194.7	2.7
400	430	448	427	435.0	8.8

* Esses valores são dependentes do *off-set/drift* do amplificador usado no circuito. No momento da medida não estavam disponíveis operacionais com baixo *off-set/drift*.

** Escala de baixa sensibilidade.

2.4. Termômetro

A inclusão de um sensor de temperatura na sonda deve-se não somente ao fato de obter o dado temperatura, como, também, realizar a correção nas medidas de pH, condutividade e oxigênio dissolvido.

A fim de simplificar o circuito e ao mesmo tempo aumentar a precisão e confiabilidade optou-se por utilizar um sensor comercial. Na verdade esse sensor é um circuito integrado da *National Semiconductor* LM35D^[11], o qual atende à faixa desejada de medidas: 0 a 100 °C. Na figura 17 está o circuito de ligação utilizado.

Abaixo, algumas de suas principais características:

- tensão de alimentação: 4 a 20V;
- corrente drenada: menor que 140 μ A;
- saída: 10mV/°C linear dentro de $\pm 0.25^\circ\text{C}$.

Figura 17 - Circuito de ligação do LM 35D

2.5. Medidor de Oxigênio Dissolvido

2.5.1 Introdução

A medida de oxigênio dissolvido^[12] é de fundamental importância no estudo das águas, uma vez que o oxigênio é um elemento que interage diretamente com os seres vivos aquáticos.

No presente trabalho, utilizou-se um sensor comercial no projeto da sonda. Logo, a abordagem limitou-se a um breve estudo dos aspectos construtivos a fim de obter informações acerca do comportamento elétrico e, assim, projetar um circuito de condicionamento de sinal, bem como rotinas de calibração, para esse tipo de sensor.

2.5.2 Princípio de Medida

A quantidade de oxigênio dissolvido é baseada na medida da corrente elétrica gerada devido à aplicação de uma tensão em dois eletrodos imersos em uma solução eletrolítica^[12].

Utilizando-se um eletrodo de metal nobre, ouro ou platina, polarizado negativamente de 0.6 a 0.8V em relação a um outro eletrodo de referência de Ag/AgCl ambos imersos numa solução de KCl isolada por uma membrana^[13] semi-permeável, consegue-se a redução^[14] do O₂ no primeiro eletrodo. A reação de redução implica num “consumo” de elétrons, que é a corrente elétrica, proporcional à quantidade de O₂ reduzida.

A razão da utilização de tensões da ordem de 0.6 a 0.8V é dada pelo gráfico de tensão-corrente conhecido como *polarograma*^[12] mostrado na figura 18. De 0 a 0.6V a corrente aumenta com o aumento da tensão. De 0.6 a 0.8V praticamente não há variação da corrente com relação à tensão. A partir de 0.8V a corrente cresce com o aumento da tensão devido principalmente à eletrólise da água. Fixando-se uma tensão na faixa de 0.6 a 0.8V obtém-se, então, uma leitura de corrente diretamente proporcional à quantidade de íons reduzidos.

Quanto à membrana, esta existe para dar seletividade ao instrumento deixando passar da amostra para a solução de KCl apenas o oxigênio. Essa isolação tem uma segunda função que é a de padronizar a solução na qual se faz a medida, no caso o KCl. Isto permite que se façam medidas em meios não condutivos como por exemplo o ar.

Figura 18 - À esquerda está a corrente gerada por um sensor de oxigênio dissolvido em função da tensão aplicada (porcentagem de oxigênio fixa). À direita, a corrente em função da porcentagem de oxigênio (tensão fixa).

Na figura 19 está mostrado um sensor de oxigênio típico, do tipo usado na avaliação do sistema montado.

A sonda sugerida nesse trabalho tem como objetivo realizar medidas em lagos cuja profundidade pode chegar a uma centena de metros ou mais. A pressão à qual os instrumentos são submetidos é muitas vezes superior à pressão atmosférica.

Figura 19 - Desenho do sensor de oxigênio dissolvido utilizado na avaliação do desempenho da sonda proposta.

Nesses casos deve-se utilizar um sensor de oxigênio com compensação de pressão. Na figura 20 é mostrado um esquema que exemplifica um dispositivo de compensação. Infelizmente não se conseguiu um instrumento com compensação de pressão para a realização de testes reais. Assim, tanto o circuito de condicionamento de sinal como a rotina de calibração foram elaborados em função de um sensor de oxigênio para medidas em laboratório, o qual não possui compensação de pressão.

2.5.3 Características dos Sensores de Oxigênio Dissolvido

De acordo com o uso, o sensor de oxigênio pode ser construído para atender uma ou outra característica. Em geral, a melhora de uma característica implica na piora da outra.

2.5.3.1 Eletrodo Principal (Cátodo)

Dada uma concentração fixa de oxigênio, a corrente gerada é proporcional à área do eletrodo principal. Do ponto de vista do sinal de corrente quanto maior for o valor, menores serão os problemas com a amplificação (ruído, *off-set*, *drift* etc.).

Numa solução saturada^[15] com ar esses valores vão desde 0.3nA para uma área de 1 μ m até 200 μ A para uma área de 65cm². No entanto o aumento da área acarreta em um consumo maior de oxigênio. Dependendo do volume da amostra esse consumo pode se tornar significativo ao ponto de reduzir a concentração da amostra.

Além disso, quanto maior o diâmetro do cátodo maior a necessidade de um fluxo mínimo de solução em torno do sensor^[12]. Esse problema, no entanto, pode ser contornado utilizando-se vários eletrodos com diâmetro individual pequeno.

Figura 20 - Sensor de oxigênio com compensação de pressão. A membrana de compensação, não permeável, torna a pressão no eletrólito igual à pressão externa.

2.5.3.2 Membrana^[13]

O tempo de resposta e a sensibilidade de um sensor de oxigênio estão intimamente ligados ao tipo de membrana usada. Esses tempos podem ir desde 50ms até 60s. Em geral quanto mais delgada é a membrana menor é o tempo e maior é a sensibilidade. Mas, outros fatores devem ser levados em conta tais como resistência mecânica, resistência ao calor, resistência química, permeabilidade à solventes etc.

2.5.3.3 Temperatura

A sensibilidade dos sensores de oxigênio aumenta com a temperatura de maneira exponencial. Logo, a compensação deve ser feita através de tabelas que contém a resposta do sensor para cada temperatura. No caso de instrumentos digitais essas tabelas podem ser convertidas em curvas e implementadas via *software*, como foi feito nesse trabalho.

Além da variação da sensibilidade do sensor com a temperatura, a solubilidade do O_2 também varia com a temperatura, o que é compensado da mesma maneira através de tabelas. Na tabela^[17] 6 está a solubilidade do O_2 nas diversas temperaturas.

2.5.3.4 Pressão

A solubilidade^[15] do O_2 varia também com a pressão, sendo essa variação linear e diretamente proporcional à variação da pressão. Assim, dependendo da altitude na qual se faz a medida deve-se corrigir o valor da solubilidade do O_2 .

2.5.4 Unidades

As unidades usuais de medida de oxigênio dissolvido são: porcentagem, mg/l e ppm.

a) Porcentagem: calibra-se o instrumento com base em duas soluções uma sem oxigênio (0%) e uma outra saturada de ar ou oxigênio puro (100%).

b) mg/l ou ppm: com base na porcentagem e tabelas de solubilidade calcula-se a concentração do oxigênio na solução. Por exemplo, uma amostra está a 20°C e a 760mmHg, e a medida acusa 30% de oxigênio. Consultando-se a tabela 6 encontra-se

8.84mg/l na saturação. Logo, a concentração de oxigênio nessa amostra é 0.3×8.84
= **2.65mg/l**. É importante observar que se a pressão na qual a amostra se encontra for
diferente da pressão no momento da calibração, é necessário fazer a correção.

Tabela 6^[17] - Solubilidade do oxigênio em função da temperatura.

Temp.	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	14.16	14.12	14.08	14.04	14.00	13.97	13.93	13.89	13.85	13.81
1	13.77	13.74	13.70	13.66	13.63	13.59	13.55	13.51	13.48	13.44
2	13.40	13.37	13.33	13.30	13.26	13.22	13.19	13.15	13.12	13.08
3	13.05	13.01	12.98	12.94	12.91	12.87	12.84	12.81	12.77	12.74
4	12.70	12.67	12.64	12.60	12.57	12.54	12.51	12.47	12.44	12.41
5	12.37	12.34	12.31	12.28	12.25	12.22	12.18	12.15	12.12	12.09
6	12.06	12.03	12.00	11.97	11.94	11.91	11.88	11.85	11.82	11.79
7	11.76	11.73	11.70	11.67	11.64	11.61	11.58	11.55	11.52	11.50
8	11.47	11.44	11.41	11.38	11.36	11.33	11.30	11.27	11.25	11.22
9	11.19	11.16	11.14	11.11	11.08	11.06	11.03	11.00	10.98	10.95
10	10.92	10.90	10.87	10.85	10.82	10.80	10.77	10.75	10.72	10.70
11	10.67	10.65	10.62	10.60	10.57	10.55	10.53	10.50	10.48	10.45
12	10.43	10.40	10.38	10.36	10.34	10.31	10.29	10.27	10.24	10.22
13	10.20	10.17	10.15	10.13	10.11	10.09	10.06	10.04	10.02	10.00
14	9.98	9.95	9.93	9.91	9.89	9.87	9.85	9.83	9.81	9.78
15	9.76	9.74	9.72	9.70	9.68	9.66	9.64	9.62	9.60	9.58
16	9.56	9.54	9.52	9.50	9.48	9.46	9.45	9.43	9.41	9.39
17	9.37	9.35	9.33	9.31	9.30	9.28	9.26	9.24	9.22	9.20
18	9.18	9.17	9.15	9.13	9.12	9.10	9.08	9.06	9.04	9.03
19	9.01	8.99	8.98	8.96	8.94	8.93	8.91	8.89	8.88	8.86
20	8.84	8.83	8.81	8.79	8.78	8.76	8.75	8.73	8.71	8.70
21	8.68	8.67	8.65	8.64	8.62	8.61	8.59	8.58	8.56	8.55
22	8.53	8.52	8.50	8.49	8.47	8.46	8.44	8.43	8.41	8.40
23	8.38	8.37	8.36	8.34	8.33	8.32	8.30	8.29	8.27	8.26
24	8.25	8.23	8.22	8.21	8.19	8.18	8.17	8.15	8.14	8.13
25	8.11	8.10	8.09	8.07	8.06	8.05	8.04	8.02	8.01	8.00
26	7.99	7.97	7.96	7.95	7.94	7.92	7.91	7.90	7.89	7.88
27	7.86	7.85	7.84	7.83	7.82	7.81	7.79	7.78	7.77	7.76
28	7.75	7.74	7.72	7.71	7.70	7.69	7.68	7.67	7.66	7.65
29	7.64	7.62	7.61	7.60	7.59	7.58	7.57	7.56	7.55	7.54
30	7.53	7.52	7.51	7.50	7.48	7.47	7.46	7.45	7.44	7.43
31	7.42	7.41	7.40	7.39	7.38	7.37	7.36	7.35	7.34	7.33
32	7.32	7.31	7.30	7.29	7.28	7.27	7.26	7.25	7.24	7.23
33	7.22	7.21	7.20	7.20	7.19	7.18	7.17	7.16	7.15	7.14
34	7.13	7.12	7.11	7.10	7.09	7.08	7.07	7.06	7.05	7.05
35	7.04	7.03	7.02	7.01	7.00	6.99	6.98	6.97	6.96	6.95

2.5.5 Preparo das Soluções Padrão e Eletrólito do Sensor^[16]

2.5.5.1 Solução Padrão

Devido aos inúmeros fatores construtivos que alteram a sensibilidade de um
sensor de oxigênio, torna-se indispensável a calibração. Para tanto, é necessário o
preparo de soluções com níveis de oxigênio conhecidos.

a) Solução com nível zero de oxigênio (0%): existem substâncias que reagem com o oxigênio dissolvido consumindo-o. Um exemplo é o Sulfito de Sódio (Na_2SO_3). Este deve ser dissolvido na solução na proporção de 100mg de sulfito por 5ml de solução.

b) Solução saturada de oxigênio (100%): um método simples para obter uma solução com 100% de oxigênio dissolvido consiste em borbulhar ar ou oxigênio num recipiente contendo um líquido, geralmente água destilada, livre de matéria viva que possa consumir oxigênio. Esse borbulhamento deve durar pelo menos 30min, pois o tempo para ocorrer o equilíbrio é grande.

2.5.5.2 Eletrólito^[12]

O tipo de eletrólito varia muito em função do tipo de sensor utilizado. Devido ao consumo de íons, o eletrólito deve ser trocado periodicamente. No sensor utilizado nesse trabalho a composição do eletrólito é a seguinte:

-0.3 Mol de KCl

-0.15 Mol de NaH_2PO_4

-aproximadamente 3 moles de NaOH, que são adicionados até obter-se pH=12.

2.5.6 Circuito do Medidor de Oxigênio Dissolvido

O circuito de um medidor de oxigênio deve ser capaz de fornecer uma tensão fixa entre 0.6 e 0.8V (0.7V nesse trabalho) e de medir a corrente gerada pelo sensor. A intensidade dessa corrente, como mencionado anteriormente, varia muito em função da área do eletrodo. Assim, o circuito que mede a corrente deve ser projetado

em função do tipo de sensor utilizado. No presente trabalho, utilizou-se, para o teste da sonda, um sensor com eletrodo de pequena área o qual fornece correntes da ordem de 3nA. De acordo com a figura 21, o circuito está dividido em duas partes: à esquerda, a referência de 0.7V e à direita, um conversor corrente-tensão (1nA=10mV) seguido de um amplificador de tensão com ganho de 56 vezes. O sensor é conectado entre a referência de 0.7V e a entrada inversora do primeiro amplificador operacional. O nível de tensão na saída do circuito para uma solução com 100% de oxigênio dissolvido fica em torno de 2V.

Esse circuito, como todos os outros propostos, não possui nenhum tipo de correção de *off-set*. Esta correção é incluída na calibração do ponto de 0%.

Figura 21 - Circuito do medidor de oxigênio dissolvido.

2.5.7 Calibração

Utilizou-se a unidade de mg/l na avaliação do medidor de oxigênio. A calibração foi feita com base nas soluções propostas no item 2.5.5.1, na altitude de 850m. Repetiram-se cerca de 12 vezes as calibrações nos pontos de 0% e 100%. Observou-se uma precisão de 3 a 4% com um tempo de resposta da ordem de 40s

para 90% do valor e 80s para 100% do valor. Vale observar, ainda, que existe um tempo relativamente grande, cerca de 5min, para o sensor estabilizar logo que é ligado (aplicação dos 0.7V).

2.6. Medidor de Profundidade

2.6.1 Introdução

Devido à estratificação que ocorre em águas com pouca agitação, notadamente nos lagos, os parâmetros físicos e químicos da água variam ao longo da profundidade. Logo, torna-se indispensável agregar a um grupo de medidas a profundidade na qual o mesmo é realizado.

Até pouco tempo atrás, media-se a profundidade através de marcas no cabo que sustentava os instrumentos. Esse método é bastante impreciso e incômodo, além de não ser passível de automação.

Existem vários métodos eletrônicos para a medição de profundidade em relação à superfície. O mais adequado para o caso de uma sonda microprocessada é medir a pressão, através de um sensor específico, e, considerando a densidade^[18] da água, calcular a profundidade.

No presente trabalho, não se conseguiu um sensor de pressão comercial e tampouco houve interesse na construção de um, principalmente pela complexidade mecânica de tal instrumento. Assim, optou-se por um outro método de medida o qual mede, eletronicamente, o comprimento do cabo lançado ao lago.

2.6.2 Princípio de Medida

Como mostrado na figura 22, faz-se o cabo da sonda passar por uma polia de raio conhecido. De acordo com o número de voltas da polia tem-se o comprimento de cabo que passa pela mesma. Deve-se, ainda, considerar o sentido de rotação da polia. No caso mostrado na figura 22, o sentido horário significa aumento da profundidade e o sentido anti-horário significa diminuição. Isso é necessário, pois durante o abaixamento da sonda pode haver um pequeno retorno do cabo, que deve ser descontado. Por fim, o sistema de contagem das voltas deve permitir o zeramento da profundidade. Desta maneira, o usuário pode escolher a partir de qual ponto deseja-se medir a profundidade.

Figura 22 - Sistema proposto para a medida de profundidade

2.6.3 Sistema Medidor

O sistema de contagem de voltas é baseado num *encoder* óptico^[19] com duplo sensor, como mostrado na figura 23. Cada sensor é composto por um *led*^[20] e um foto-transistor^[21]. O *encoder* é solidário à polia, de tal maneira que quando esta gira o primeiro também gira, interrompendo periodicamente o caminho de luz entre o *led* e

o foto-transistor. Assim são gerados pulsos elétricos à medida que a polia gira. De acordo com o número de “dentes” do *encoder* tem-se a precisão da contagem. Por exemplo: deseja-se uma precisão de 1cm na medição da profundidade. Admitindo-se uma polia de 2.87cm de raio, tem-se um perímetro de $2\pi r = 2 \times 3.14 \times 2.87 = 18\text{cm}$. Logo, a cada volta da polia são lançados ao lago 18cm de cabo. Assim, se o *encoder* tiver 18 “dentes”, um pulso será gerado a cada centímetro.

A detecção do sentido de rotação da polia vem da análise dos sinais gerados pelos dois sensores posicionados convenientemente. Na figura 24 estão mostradas as formas de onda colhidas nos foto-transistores posicionados conforme a figura 23 com a polia girando no sentido anti-horário. Os sinais são defasados de 90° , num arranjo conhecido como quadratura^[22].

Um dos sinais é tomado como referência, no caso a borda de subida¹ do sinal 1. A quantidade de pulsos é contada a cada borda de subida do sinal 1. Na figura 25 o mesmo arranjo da figura 24 é mostrado, porém com a polia girando no sentido horário.

Comparando-se as formas de onda da figura 24 com as da figura 25, nota-se que no momento em que ocorre a borda de subida do sinal 1 o nível do sinal 2 varia em função do sentido de rotação. Se o sentido é anti-horário, o nível do sinal 2 é zero (branco). E, se o sentido é horário, o nível do sinal 2 é um (preto). Desta maneira, a detecção do sentido é feita através da amostragem do sinal 2 com base na borda de subida do sinal 1. Na figura 26 está um exemplo de circuito que realiza a função da amostragem. Com base nos sinais produzidos pelo circuito da figura 26, o contador

¹ **Borda de subida** significa a transição de um nível lógico baixo para um nível lógico alto

de profundidade aumenta se o sinal de sentido for igual a 1, e diminui se esse sinal for 0.

Figura 23 - À esquerda, o *encoder* utilizado. À direita, o sistema de detecção óptica. Note o posicionamento dos sensores, com defasagem de 90° .

Ainda em relação aos sensores, vale observar que foi inserido um circuito de amplificação do sinal gerado pelo foto-transistor. As transições dos níveis lógicos observadas no funcionamento do *encoder*, mostraram-se muito lentas e de amplitude muito baixa (cerca de 0.5Vpp). Para contornar esse problema foi inserido um comparador entre os foto-transistores e o circuito lógico. Na figura 27, pode-se observar o funcionamento do comparador, amplificando o sinal e aumentando a velocidade de suas transições.

Figura 24 - Sinais gerados quando o *encoder* gira no sentido anti-horário. Quando o sensor 1 detecta a passagem do branco para o preto o sensor 2 está detectando o branco.

Figura 25 - Sinais gerados quando o *encoder* gira no sentido horário. Quando o sensor 1 detecta a passagem do branco para o preto o sensor 2 está detectando o preto.

Figura 26 - Circuito que gera os sinais de pulso e sentido.

Figura 27 - No gráfico estão mostradas as formas de onda dos sinais do foto-transistor e da saída do comparador. À direita, o comparador.

No presente trabalho a implementação do contador foi feita em linguagem montadora utilizando a interrupção² do microcontrolador PIC16C84 (RB0/INT) e mais um pino (RA4/RTCC) de entrada para a leitura do sinal de sentido. A cada borda de subida o microcontrolador é interrompido desviando o programa principal para a execução de uma rotina que aumenta ou diminui um contador de 16bits (2 bytes) com base na leitura do pino que recebe o sinal de sentido. Se no pino RA4/RTCC o sinal estiver em nível 0, então o contador é diminuído. Se o sinal estiver em nível 1, o contador é aumentado. O circuito completo pode ser visto no apêndice A e a rotina em linguagem montadora, no apêndice B.

² **Interrupção** é uma função dos microprocessadores, em geral ativada por *hardware*, a qual desvia a execução do programa principal para uma subrotina qualquer. A interrupção pode ou não ser atendida pelo microprocessador dependendo da sua programação.

3. Circuito Principal

3.1. Introdução

O circuito proposto para a sonda está dividido basicamente em duas partes: a unidade central e os circuitos dos instrumentos. Estes últimos são descritos em detalhe no capítulo que trata dos instrumentos. Todos eles entregam à unidade central um sinal analógico na faixa de 0 a 5V. Apenas o medidor de profundidade trabalha com sinais digitais específicos.

Por motivos de portabilidade e compatibilidade escolheu-se utilizar a porta serial RS232^[23], padrão nos micros IBM/PC, para realizar a transferência de dados entre a sonda e o PC.

Na figura 28, está o diagrama em blocos do circuito, que é composto por um microcontrolador RISC (PIC16C84)^[24], um conversor A/D serial de 12bits (MAX187)^[25], 2 chaves analógicas (DG201)^[26], um multiplexador (CD4028B), 4 fontes de alimentação duplas, 1 adaptador RS232, 5 circuitos de condicionamento e controle dos sinais dos instrumentos e o circuito do medidor de profundidade.

Na figura 1 do apêndice A, está o diagrama esquemático que serve de base para a explicação das funções da unidade central.

3.2. Microcontrolador PIC16C84^[24]

O PIC16C84 é o componente que controla todo o funcionamento da sonda executando as seguintes tarefas:

- comunicação serial RS232 com um *host*³ (IBM/PC);
- controle e transferência de dados do conversor A/D MAX187;
- multiplexação da entrada analógica do conversor A/D, através de um multiplexador e de 5 chaves analógicas;
- controle das escalas automáticas do condutivímetro e do turbidímetro;
- contagem positiva e negativa de pulsos gerados pelo medidor de profundidade.

O PIC16C84 é um microcontrolador *RISC*⁴ de 8bits (apenas 33 instruções), com 1K de memória *EEPROM*⁵ e duas portas bidirecionais⁶: porta A, de 5 *bits* e porta B, de 8 *bits*. O pino RB0, além de atuar como porta bidirecional, realiza a função de entrada para interrupção. Em ambas as portas cada pino pode ser programado e acessado individualmente, figurando como entrada ou saída.

³ *Host* é um computador que controla outro, geralmente centralizando o controle

⁴ *RISC* - *Reduced Instruction Set Computer* - Microprocessador com pequeno conjunto de instruções.

⁵ *EEPROM* - *Electric Erasable Programmable Read Only Memory* - Memória na qual se pode gravar dados os quais são retidos mesmo retirando a alimentação. No entanto com a aplicação de sinais elétricos convenientes pode-se apagar ou mesmo reprogramar o conteúdo da memória

⁶ *Bidirecional* significa uma porta que pode ser programada para atuar como entrada ou como saída.

Figura 28 - Diagrama em blocos do circuito da sonda

O PIC16C84 requer poucos componentes externos, já que executa o programa contido na memória *EEPROM* interna. De acordo com a figura 1 do apêndice A, tem-se apenas um cristal de 4MHz e dois capacitores. Com o clock de 4MHz e alimentação de 5V, o PIC16C84 consome aproximadamente 1mA.

3.2.1 Programação das Portas

Porta A

RA2, RA1, RA0: pinos de saída formando uma palavra de 3 *bits* a qual endereça o multiplexador da entrada analógica de acordo com a tabela 7.

RA3: pino de saída que comanda a escala automática do turbidímetro. Assim:

RA3=0 → baixa sensibilidade;

RA3=1 → alta sensibilidade.

RA4: pino de entrada o qual lê o sentido do deslocamento do medidor de profundidade.

Porta B

RB0: pino de entrada de interrupção utilizado para a contagem de pulsos do medidor de profundidade.

RB1, RB5: pinos de saída que comandam, de acordo com a tabela 8, a escala automática do condutivímetro.

RB2: pino de entrada que recebe os dados do conversor A/D.

RB3: pino de saída que envia o sinal de *clock* para a comunicação serial síncrona com o conversor A/D.

RB4: pino de saída que envia o sinal de *chip select* para o conversor A/D iniciar a conversão.

RB6: pino de saída que envia os dados pela RS232

RB7: pino de entrada que recebe os dados pela RS232

Tabela 7 - Seleção das entradas analógicas em função da combinação dos *bits* RA2, RA1, RA0.

<i>Entradas analógicas</i>	<i>RA2</i>	<i>RA1</i>	<i>RA0</i>
AI0	0	0	0
AI1	0	0	1
AI2	0	1	0
AI3	0	1	1
AI4	1	0	0

Tabela 8 - Seleção das escalas do condutivímetro em função dos bits RB1 e RB5.

<i>RB1</i>	<i>RB5</i>	<i>Sensibilidade</i>
0	0	Alta
0	1	Média
1	0	Pequena
1	1	X

3.3. Interface RS232^[23]

O PIC16C84 não possui interface serial RS232. Logo, implementou-se uma porta serial através de programa valendo-se de duas sub-rotinas, as quais lêem e escrevem de acordo com uma temporização adequada e de dois pinos, um de entrada outro de saída. Além disso, de acordo com a figura 1 do apêndice A, fez-se uma compatibilização dos sinais do PIC16C84 com os sinais padrões da RS232. O PIC16C84 trabalha com sinais de 0 e 5V, e o padrão RS232 é de -12V e +12V. No entanto, sinais de -5V e +5V já são suficientes para garantir comunicação segura.

As tensões simétricas disponíveis no sistema são -7.5V e +7.5V. A fim de converter o sinal de saída do PIC16C84, que está na faixa de 0 a 5V, para uma faixa

compatível com a RS232, fez-se o uso de um comparador. Esse comparador é alimentado com tensões de -7.5V e +7.5V. Desta forma o sinal de saída do comparador, quando na saturação, fica limitado a aproximadamente -5.5V e +5.5V. Na entrada não-inversora do comparador é fixada uma referência de 2.5V. Na entrada inversora é inserido o sinal proveniente do PIC16C84. Assim, quando o sinal do PIC é 0V, na saída do comparador tem-se +5.5V, e quando o sinal do PIC é +5V tem-se -5.5V na saída do comparador. No padrão RS232 o sinal que é transmitido no meio físico (cabo) vai de maneira invertida.

O sinal proveniente da RS232 também precisa ser compatibilizado, só que de maneira inversa. O sinal é convertido da faixa de -12V a +12V para a faixa de 0 a 5V. Isso é feito através de um transistor na configuração emissor comum alimentado com 5V. O sinal de -12V da RS232 leva o transistor ao corte⁷ o resistor de 100K alimenta o pino RB7 com +5V. O sinal de +12V leva o transistor à saturação⁸ e o pino RB7 é, então, conectado ao terra (0V).

O protocolo implementado é o de transmissão serial assíncrona⁹ o qual utiliza 8 *bits* de dados, 1 *start-bit* e 1 *stop-bit*, na velocidade de 2400 *bauds*¹⁰. Não há bit de paridade. Na figura 29, há um gráfico que mostra um *byte* sendo transmitido.

No capítulo referente ao programa em linguagem montadora, está mostrado o protocolo completo de comunicação utilizado.

⁷ **Transistor no corte** significa que o mesmo não está conduzindo, ou seja apresentando alta impedância entre coletor e emissor.

⁸ **Transistor na saturação** significa que o mesmo está conduzindo, ou seja apresentando baixa impedância entre coletor e emissor.

⁹ **A comunicação serial assíncrona** não utiliza sinal de clock. Esse tipo de comunicação baseia-se em temporização pré-determinada. O sincronismo é feito no início da transmissão, quando o start-bit é recebido, e, a partir daí, cada dispositivo conta seu próprio tempo para realizar a transmissão e recepção dos dados.

¹⁰ **Baud** = bits s

Figura 29 - Esquema de transmissão de dados no padrão RS232. No meio físico (cabo) esse sinal é invertido.

3.4. Conversor A/D

O MAX187 é um conversor A/D de 12 *bits* com saída serial, sistema de *sample-and-hold* interno, referência interna de 4.1V com acesso externo e alimentação simples de 5V. O A/D converte sinais compreendidos entre 0 e 4.1V. A conversão é iniciada assim que o sinal no pino CS vai para nível zero. Esta última dura 8.5µs. A cada conversão feita, uma palavra de 16 *bits* é colocada num registrador interno de deslocamento^[28] do A/D. Essa palavra é lida através do pino DOUT mediante à aplicação de um sinal de *clock* no pino SCLOCK. Na figura 30 está mostrada a organização da palavra de 16 *bits*. Os dados são disponibilizados na borda de descida do *clock* e devem ser lidos na borda de subida.

Figura 30 - Palavra de 16 bits colocada no registrador de deslocamento ao final de cada conversão. O primeiro bit é o sinalizador de fim de conversão (EOC).

Na figura 31 está mostrado o protocolo de comunicação usado entre o PIC16C84 e o MAX187. O pino de DOUT além de disponibilizar os dados referentes à conversão fornece a informação de fim de conversão (EOC). No entanto, no caso presente, por motivos de simplificação do software, optou-se por aguardar um tempo fixo, maior que o tempo de conversão, antes de iniciar a leitura do registrador de deslocamento.

Figura 31 - Protocolo de comunicação do MAX187

3.5. Multiplexação da Entrada Analógica

O conversor utilizado, MAX187, possui apenas uma entrada. Como a sonda necessita de 5 entradas analógicas, fez-se necessária a multiplexação dessa entrada. Além disso, os medidores de pH, de oxigênio dissolvido e de condutividade não podem ter terra comum (ver item 3.8). Assim, o terra do instrumento é conectado somente no momento da medida correspondente.

Para tanto, usaram-se 2 circuitos integrados DG201, os quais contêm 4 chaves analógicas¹¹ cada. De acordo com a figura 32 apenas uma chave (ou um par de chaves no caso dos instrumentos que não tem terra comum) é acionada por vez. Assim as conversões são feitas em seqüência e o microcontrolador vai armazenando os dados lidos do conversor.

Devido ao número limitado de pinos de entrada e saída no PIC16C84 fez-se necessária, também, uma multiplexação dos mesmos. Assim, foram utilizados 3 pinos (RA2, RA1, RA0) para endereçar um multiplexador, no caso um CD4028B, criando 8 *bits* de seleção. Dos 8 *bits* apenas 5 foram usados. Cada *bit* de saída do CD4028B alimenta um transistor, que converte o sinal de 0 a 5V para -7.5 a 7.5V, o qual seleciona as chaves analógicas DG201. Essas chaves são ativadas quando o sinal de seleção vai para nível baixo (-7.5V) e desativadas quando o sinal de seleção vai para nível alto (+7.5V). Na tabela 9 estão mostrados os níveis lógicos das saídas dos transistores comandados pelo CD4028B em função do endereçamento.

Tabela 9 - Níveis lógicos das saídas dos transistores comandados pelo CD4028B em função do endereçamento.

<i>D</i>	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>S0</i>	<i>S1</i>	<i>S2</i>	<i>S3</i>	<i>S4</i>
0	0	0	0	0	1	1	1	1
0	0	0	1	1	0	1	1	1
0	0	1	0	1	1	0	1	1
0	0	1	1	1	1	1	0	1
0	1	0	0	1	1	1	1	0

¹¹ Chave analógica é um dispositivo eletrônico que atua de maneira similar a um relê. Com o mesmo pode-se controlar digitalmente a conexão de um sinal analógico

Figura 32 - Esquema da multiplexação do canal analógico do MAX187

3.6. Escalas Automáticas

Os instrumentos que medem a condutividade e a turbidez fornecem valores numa extensa faixa. A fim de cobrir toda essa faixa mantendo a resolução da conversão A/D em um nível mínimo aceitável, torna-se necessária a implementação de múltiplas escalas. No caso do turbidímetro apenas duas escalas são suficientes. Já no caso do condutivímetro avaliou-se ser necessário o uso de 3 escalas. O pino RA3 do PIC faz a mudança de escala do turbidímetro como descrito no item 3.2.1. Os pinos RB1 e RB5 fazem a mudança de escala do condutivímetro de acordo com a tabela 8. Vale observar que no caso do condutivímetro, como o mesmo não tem terra comum, o sinal de seleção oriundo do PIC16C84 é enviado via acoplador óptico.

O processo de como é feita a seleção automática está no capítulo 4 que trata da descrição do programa em linguagem montadora do PIC16C84.

3.7. Interrupção - Medidor de Profundidade

O medidor de profundidade, descrito no capítulo 2 item 2.6, gera dois sinais: um sinal tipo transição referente aos pulsos do *encoder* e um outro sinal de nível referente ao sentido de rotação. O sinal de transição ativa a interrupção através da entrada de interrupção RB0/INT. O sinal de nível é lido pelo pino de entrada RA4. O processo de medição da profundidade pode ser visto nos capítulos 2 e 4, que tratam dos instrumentos e do programa em linguagem montadora respectivamente.

O PIC16C84 atende à interrupção depois de 5 ciclos de *clock*. Com um cristal de 4MHz cada ciclo dura $1\mu\text{s}$ (o *clock* internamente é dividido por 4). Assim, atende-se à interrupção em $5\mu\text{s}$. A rotina de contagem gasta aproximadamente $13\mu\text{s}$. Logo, tem-se $18\mu\text{s}$ na contagem de um pulso do *encoder*. No medidor proposto a precisão desejada é de 1cm. Considerando-se 5m/s como a velocidade máxima de descida da sonda, o que é bastante rápido, tem-se a geração de 500 pulsos por segundo, ou 1 pulso a cada $2000\mu\text{s}$.

As únicas rotinas que dependem de temporização precisa, e poderiam eventualmente sofrer com a interrupção, são as rotinas que implementam a interface serial RS232. A transmissão de um *byte* a 2400 bauds leva 4.166ms e cada *bit* leva $416.6\mu\text{s}$. Se o período das interrupções é no mínimo $2000\mu\text{s}$, então no pior caso um *byte* sofreria duas interrupções atingindo a transmissão de dois *bits* distintos. Cada *bit* atingido teria seu tempo de duração aumentado em $18\mu\text{s}$. Como a RS232 lê o nível do sinal no meio do período, ou seja a $208.3\mu\text{s}$ do início, esse acréscimo não causa

problema. Se, em todo caso, houver um erro na transmissão serial, este é detectado pois, como explicado no capítulo 4 (descrição do programa em linguagem montadora), juntamente com os *bytes* de informação são enviados *bytes* de verificação. Nesse caso, o grupo de *bytes* com erro é desprezado.

3.8. Fontes de Alimentação

A fim de simplificar a alimentação do circuito e prever o uso de bateria, o sistema foi projetado para ser alimentado com tensão externa simples de +12V. No entanto, internamente há a necessidade de outras tensões, inclusive com fontes isoladas galvanicamente. Para os circuitos digitais foi escolhida a tensão de +5V, derivada diretamente dos +12V. Já os circuitos analógicos necessitam de fontes simétricas de tensão, isto é, fonte positiva e negativa. Além disso, devido aos instrumentos trabalharem simultaneamente no mesmo fluido (água), os circuitos dos medidores de pH, de oxigênio dissolvido e de condutividade não podem ter fontes com terra comum, caso contrário ocorre interferência devido à corrente iônica que flui de um sensor ao outro.

Desta maneira para obter as fontes requeridas, construiu-se uma fonte chaveada baseada em um transformador com quatro enrolamentos secundários isolados. Três deles formam as fontes para os medidores de pH, de oxigênio dissolvido e de condutividade. A quarta fonte tem o 0V aterrado servindo aos circuitos restantes da sonda.

De acordo com a figura 33, a fonte é constituída por um CI específico para fontes chaveadas (SG3524), o qual gera uma onda quadrada na frequência de 40KHz.

Esse CI comanda diretamente dois transistores (2N2222A), os quais alimentam o primário do transformador. O circuito completo pode ser visto em detalhes no apêndice A.

Figura 33 - Diagrama em blocos do circuito da fonte.

4. Programação

4.1. Introdução

O sistema de medidas proposto é composto por dois equipamentos distintos: a sonda e um micro padrão IBM/PC. As funções de aquisição e transmissão dos dados da sonda são controladas por um microcontrolador PIC16C84, o qual possui um programa em linguagem montadora^[24] na sua memória interna EEPROM de 1Kbytes. A listagem completa do programa está no apêndice B.

No micro IBM/PC, além da comunicação serial, encontram-se as funções de visualização, gravação e análise dos dados bem como as rotinas de calibração dos instrumentos que requerem tais procedimentos.

Devido à grande variedade de linguagens e programas que a plataforma IBM/PC permite utilizar, no início do trabalho houve uma certa dúvida na escolha da linguagem que seria utilizada para a construção do programa para o PC. O requisito básico na escolha foi a apresentação gráfica, a qual deveria ser no padrão *Windows*. Tentou-se, inicialmente, o uso do *Visual C++*, o qual cria programas executáveis bastante rápidos em *Windows*. No entanto, dado ao pouco conhecimento na área de programação, e não sendo esse o objeto principal do trabalho, não se conseguiram resultados imediatos. Partiu-se, então, para uma linguagem mais simples mas que ainda atendesse às exigências iniciais. Não havendo necessidade de velocidade de

processamento, reiniciou-se a programação¹² utilizando-se o *Visual Basic 3.0*^[29]. Ao longo do trabalho esse software mostrou-se plenamente adequado, pois permitiu a implementação de tudo que se desejava com mínimo esforço na programação.

4.2. Programa em Linguagem Montadora do PIC16C84

O microcontrolador PIC16C84 trabalha atrelado ao *host*, um PC. Ao ser energizado, o microcontrolador executa as inicializações e fica aguardando a chegada de um *byte* pelo pino que implementa a porta serial. Após a chegada do *byte*, o microcontrolador o identifica, toma uma das três seguintes opções, e retorna ao estado de espera:

- 1) o *byte* é igual a A7h e o contador que marca a profundidade é zerado;
- 2) o *byte* é igual a 0Ah e é feita a aquisição dos dados com o respectivo envio dos dados ao host;
- 3) o *byte* não é A7h e nem 0Ah e o micro retorna ao estado de espera.

Os dados vão sendo transmitidos à medida em que vão sendo feitas as conversões. Como o conversor A/D trabalha com resolução de 12 *bits* um dado referente ao valor de uma medida é composto por 2 *bytes*. Além disso, para detectar possíveis erros na transmissão, é gerado um *byte* de verificação o qual corresponde a uma operação de OU EXCLUSIVO nos dois *bytes* fornecidos pelo A/D. O *byte* de verificação é transmitido logo após os dois *bytes* correspondentes ao valor da medida.

¹² Toda a programação em *Visual Basic* foi baseada no próprio *help* do *Visual Basic* e no livro indicado na referência.

O valor da profundidade, também dois *bytes* mais *byte* de verificação, é transmitido após a transmissão de todos os valores referentes aos cinco canais analógicos. Por fim, são transmitidas as escalas escolhidas do condutivímetro e do turbidímetro respectivamente.

Assim, a cada *byte* enviado pelo PC, a sonda responde com 20 *bytes* na seguinte sequência:

<u>Canal AN4 (Temperatura)</u>	1) MSB
	2) LSB
	3) <i>Byte</i> de verificação
<u>Canal AN3 (pH)</u>	4) MSB
	5) LSB
	6) <i>Byte</i> de verificação
<u>Canal AN2 (Oxigênio dissolvido)</u>	7) MSB
	8) LSB
	9) <i>Byte</i> de verificação
<u>Canal AN1 (Turbidez)</u>	10) MSB
	11) LSB
	12) <i>Byte</i> de verificação
<u>Canal AN0 (Condutividade)</u>	13) MSB
	14) LSB
	15) <i>Byte</i> de verificação
<u>Profundidade</u>	16) MSB
	17) LSB
	18) <i>Byte</i> de verificação
<u>Escalas</u>	19) Escala do Condutivímetro
	20) Escala do Turbidímetro

Os valores de tensão convertidos são organizados de acordo com a tabela 10.

A profundidade é representada por uma palavra de 16bits na qual cada *bit* representa um pulso gerado pelo encoder.

Tabela 10 - Organização dos *bits* da palavra de 12 *bits* gerada pelo conversor A/D

<i>bits</i>	7	6	5	4	3	2	1	0
MSB	1	B11	B10	B9	B8	B7	B6	B5
LSB	B4	B3	B2	B1	B0	0	0	0

As escalas são codificadas da seguinte maneira:

- Turbidímetro:**

00h → sensibilidade baixa
01h → sensibilidade alta
- Condutivímetro:**

00h → sensibilidade alta
01h → sensibilidade média
02h → sensibilidade baixa

Na figura 34, tem-se um fluxograma resumido o qual representa o programa em linguagem montadora. Por questão de maior clareza, alguns blocos são explicados a parte.(Rot1, Rot2, Rot3, Rot4 e Rot5).

Figura 34 - Fluxograma do programa em *assembler* do PIC16C84. Por questões de clareza alguns blocos são explicados à parte e referenciados através dos símbolos Rot1, Rot2, Rot3, Rot4 e Rot5.

Rot1- Rotina de inicialização

Nessa parte do programa o microcontrolador realiza as seguintes tarefas:

- Programa o *Watch Dog Timer*, detalhado mais adiante, para 1seg.;
- Zera o contador da profundidade;
- Configura a interrupção, habilitando-a;
- Programa pinos da porta B de acordo com o descrito no capítulo 3;
- Atribui nível inicial dos sinais SCLK e CS do conversor A/D;
- Seleciona escala de alta sensibilidade do condutivímetro;
- Seleciona escala de alta sensibilidade do turbidímetro;
- Programa pinos da porta A de acordo com o descrito no capítulo 3;
- Zera contador do seletor de escalas do condutivímetro;
- Desabilita todas as entradas analógicas.

Rot2- Seleção da porta analógica

Existe um contador (reg. F15h) que conta de 5 a 1. Através da rotina P_ANALG, apêndice B, faz-se a relação entre o número do contador e o endereço da porta analógica. Assim, conforme o contador vai sendo diminuído as portas analógicas vão sendo selecionadas. Quando o contador chega a zero, significa que todas as portas já foram acessadas e o programa, então, reinicia. Vale observar que é necessário aguardar um tempo entre a seleção da porta e a conversão A/D. Devido à multiplexação da entrada analógica ter sido feita de maneira discreta, existe um tempo de acomodação do sinal quando o mesmo é chaveado. Aproveitando o tempo

gasto na transmissão serial dos dados ao PC, a seleção da porta a ser lida é feita antes da transmissão serial.

Rot3- Escala automática do Condutivímetro

A escolha da escala adequada para a medida da condutividade é feita pela rotina CONDUT, apêndice B. São três escalas: baixa, média e alta sensibilidade. O fluxograma da figura 35 descreve os passos da rotina.

Figura 35 - Fluxograma da rotina que escolhe a escala do condutivímetro.

Rot4- Escala automática do Turbidímetro

A escolha da escala do turbidímetro é feita pela rotina TURBID, apêndice B. Neste caso são apenas 2 escalas: baixa e alta sensibilidade. Na figura 36 está o fluxograma que descreve essa rotina.

Figura 36 - Fluxograma da rotina que escolhe a escala do turbidímetro.

Rot5 - Conversão A/D

A rotina LECONV, apêndice B, é responsável pelo controle do conversor A/D. Cada vez que essa rotina é chamada o sinal CS=0 (início de conversão) é enviado ao conversor. Em seguida aguardam-se 20µs para o término da conversão, a

qual, na realidade, dura apenas 8.5 μ s. É chamada, então, uma outra rotina (RECDADO) a qual lê o *byte* mais significativo da palavra de 16 *bits* que o conversor gera. Esse *byte* é armazenado no registrador f13h. A rotina RECDADO é chamada uma segunda vez, retirando, desta vez, o *byte* menos significativo. Esse *byte* é armazenado em f12h.

Em resumo, a cada chamada de LECONV uma conversão é feita retornando nos registradores f13h e f12h os *bytes* correspondentes ao valor convertido.

4.2.1 Watch Dog Timer

O *Watch Dog Timer*, já mencionado no capítulo 3, é uma função muito interessante, encontrada em toda a linha PIC, a qual reinicializa o microcontrolador toda vez que este, por um motivo qualquer, tem a execução do seu programa interrompida.

O funcionamento do *Watch Dog Timer* (WDT) baseia-se num oscilador RC interno independente do clock, o qual aumenta um contador que pode ser zerado por *software*. Quando ocorre transbordamento nesse contador o microcontrolador é reinicializado. O tempo para ocorrer transbordamento pode ser programado dentro de aproximadamente 18ms a 2.3s. Quando se habilita o funcionamento do WDT é necessário inserir, nos laços do programa, uma instrução que zera o registrador do WDT num período menor que o tempo programado para ocorrer transbordamento. Assim quando a execução é interrompida não ocorre o zeramento e, após o tempo programado, dá-se a reinicialização.

No caso presente o WDT foi programado para 1s. A instrução que zera o WDT é a CLRWDT, a qual pode ser vista em vários pontos do programa mostrado no apêndice B.

4.2.2 Interrupção

Como já descrito no capítulo 2 a medida da profundidade da sonda utiliza a função de interrupção do microcontrolador. Essa função, estando habilitada, permite interromper a execução do programa em qualquer ponto transferindo-a para o endereço 0004h, no caso do PIC16C84. Nesse endereço existe um *jump* para uma sub-rotina (ROTINT) que executa as funções de aumentar ou diminuir o valor de uma palavra de 16bits, a qual corresponde ao valor da profundidade.

Nos PIC's a interrupção pode ser programada para ser ativada tanto por uma borda de subida como por uma borda de descida. No caso presente, essa foi programada para ser sensível à borda de descida.

4.2.3 Rotinas de implementação da RS232

Alguns microcontroladores possuem internamente, implementada em *hardware*, uma interface serial RS232. No entanto, o PIC16C84 não possui tal recurso. Assim, foi necessário implementar a interface serial via programação. Criaram-se duas rotinas: uma para transmissão (TXPIC) e outra para recepção (RXPIC). Ambas trabalham com taxa de transmissão fixa, em 2400 *bauds*. Essa taxa é baseada em temporizações derivadas de atrasos inseridos na execução do programa. Como esses atrasos dependem do *clock*, as rotinas apresentadas aqui operam em 2400 *bauds* apenas, para um *clock* de 4MHz num microcontrolador PIC16C84. Se

houver mudança no *clock* ou no microcontrolador a temporização precisará ser revista.

Escolheu-se operar a 2400 *bauds*, 8 *bits* de dados 1 *stop bit* e um *start bit*. Desta maneira, a transmissão de um *byte* corresponde a 10 *bits*. Cada *bit* dura, então, $1/2400=416.6\mu\text{s}$. A leitura de um *bit* dá-se no meio de seu período. Isto é, a leitura é feita a $208.3\mu\text{s}$ a partir do início do *bit*. Para auxiliar as rotinas de transmissão e recepção foram criadas duas rotinas de temporização: a DELAY1, a qual gera $208\mu\text{s}$ e DELAY2, a qual gera $416\mu\text{s}$. Esses valores são aproximados.

4.2.3.1 Rotina de transmissão

Essa rotina lê *bit* a *bit* o registrador f20h que deve conter o *byte* a ser transmitido. O pino RB6, saída da serial, é então posto em nível zero ou nível um de acordo com os bits do registrador f20h. Os bits vão sendo colocados em seqüência, do menos significativo para o mais significativo, na porta RB6 aguardando-se $416\mu\text{s}$ entre a mudança dos mesmos. Além disso, no início é colocado o *start bit* (=0) e no final o *stop bit* (=1). A figura 29 do capítulo 3 exemplifica essa seqüência.

4.2.3.2 Rotina de recepção

Quando a RS232 está ociosa o nível do sinal fica em 1 (nível lógico). O início da transmissão é detectado quando o *start bit* é enviado (nível=0). Assim, para detectar o início de uma transmissão a rotina RXPIC permanece o tempo todo lendo o nível do pino RB7, destinado à recepção da RS232. Quando o nível cai a zero, aguarda-se $416\mu\text{s}$, o que significa a passagem do *start bit*. Em seguida, inicia-se um contador para nortear a leitura dos 8 *bits* e aguarda-se $208\mu\text{s}$. Este é o ponto médio do primeiro *bit* (*bit0*). Faz-se, então, a leitura do nível do pino RB7 e armazena-se o

valor num registrador. Daí em diante basta aguardar 416µs e fazer a leitura, pois sempre se estará no ponto médio do *bit*. Quando o contador chegar ao fim, lê-se o *stop bit* e está terminada a recepção. A figura 37 ilustra o processo de recepção.

Figura 37 - Temporização da leitura de um *byte* recebido pela porta serial.

4.3. Programa de Visualização dos Dados

4.3.1 Introdução

O programa para a visualização dos dados foi desenvolvido em *Visual basic* 3.0 para *Windows*. A descrição de um programa escrito em linguagem orientada a objeto é difícil, pois nesse tipo de linguagem não há uma ordem pré-determinada de execução do programa. Além disso, se uma interface gráfica é utilizada, é necessário visualizar as telas para compreender o funcionamento do programa.

O *Visual Basic* tem o seu funcionamento baseado em janelas e elementos (objetos) gráficos. Cada elemento gráfico, que pode ser um desenho, um texto, uma imagem capturada etc, está associado a um conjunto de sub-rotinas. Assim, conforme esse elemento é ativado, através do *mouse*, por exemplo, os comandos contidos nas sub-rotinas são executados.

4.3.2 Visão Geral do Programa Desenvolvido

O programa desenvolvido possui os seguintes recursos:

- comunicação serial pela RS232 a 2400 *bauds* tendo como opção as portas COM1, COM2, COM3 ou COM4;
- rotinas para a calibração dos instrumentos que medem oxigênio dissolvido e pH;
- gravação em arquivo padrão dos dados recebidos em dois modos: automático, com intervalo de 1s a 60s, e manual;
- visualização digital e analógica dos dados recebidos com mudança automática de escalas;
- visualização e impressão de arquivos já gravados;
- gravação dos parâmetros da calibração.

Para tanto, o programa conta com 6 janelas as quais são chamadas de acordo com os comandos dados pelo usuário. Há uma janela de apresentação, janela principal a qual fica ativa o tempo todo, uma janela para a visualização do arquivo no qual são gravados os dados recebidos, uma janela para selecionar arquivos para

gravação ou leitura, uma janela para a calibração do medidor de O₂ e finalmente uma janela para a calibração do medidor de pH. Há, ainda, na janela principal, um menu padrão *Windows* através do qual o usuário pode chamar as outras janelas e selecionar parâmetros, como por exemplo qual porta serial utilizar.

Apesar da condução geral do programa ser feita pelo usuário, existe, na janela principal, uma rotina principal que realiza a aquisição dos dados e os mostra na tela do micro. Uma vez acionada, essa rotina executa continua e repetitivamente os comandos nela contidos. Os outros objetos, quando acionados, têm suas sub-rotinas executadas em paralelo¹³ com a rotina principal.

No *Visual Basic* há variáveis locais e globais. As locais têm o seu valor referenciável apenas na sub-rotina na qual ela é declarada. Já as globais, podem ser acessadas de qualquer sub-rotina, tanto para leitura como para escrita. Assim, as sub-rotinas auxiliares, como por exemplo as de calibração, passam valores para a rotina principal através do uso de variáveis globais.

Existem ainda, no mínimo 3 arquivos em disco que auxiliam o programa. O primeiro deles, o CFG.DAT, o qual não é acessível ao usuário, guarda a configuração do programa a cada vez que o usuário termina a execução do programa. Os últimos nomes de arquivos de calibração e de aquisição também são guardados. Assim, quando o programa é recarregado a última configuração do menu é mantida. O segundo é o arquivo que guarda os parâmetros da calibração. Este possui um nome qualquer, escolhido pelo usuário, porém sempre na forma NOME.CAL. O terceiro é o arquivo de dados adquiridos, o qual possui um nome dado pelo usuário na forma

¹³ Na realidade, internamente ao microcomputador cada comando é processado em série em ordem determinada pelo próprio software. No entanto, o usuário tem a impressão do paralelismo. Vale

NOME.DAT. Se o usuário não der um nome a esse arquivo o nome NONAME.DAT é atribuído inicialmente.

No apêndice D, encontra-se a listagem completa de todas as sub-rotinas construídas. No apêndice C está a descrição das variáveis mais importantes envolvidas no software. Para facilitar o entendimento, as sub-rotinas foram organizadas da mesma maneira que na explicação a seguir, já que as mesmas não têm uma ordem pré-determinada de execução.

4.3.3 Janela Principal (MAIN)

A janela principal contém a rotina principal e é responsável pela visualização dos dados bem como por todo acesso às outras funções do programa. Além disso, ao ser carregada realiza as inicializações necessárias. Na figura 38 pode-se observar a imagem capturada da janela principal.

Os objetos sensíveis ao comando do usuário são: o menu e os botões *Power*, *Save* e *Reset*. Os objetos que apenas contêm código são: o rótulo *Main Routine*, a própria janela (*form*) e os dois *Timers*.

4.3.3.1 Menu

A barra de menu apresenta itens os quais estão relacionados com suas respectivas sub-rotinas. Desta maneira, cada vez que um item é selecionado sua sub-rotina é chamada.

As funções disponíveis na barra de menu podem ser vistas na tabela 11. Na figura 39 um exemplo do menu sendo acionado.

observar, ainda, que deve-se ter atenção quando há ocorrência de rotinas concorrentes pois é difícil saber qual será executada primeiro.

Figura 38 - Janela principal do analisador de água.

Figura 39 - Exemplo das janelas da barra de menu

Tabela 11 - Funções da barra de menu.

Título na barra	Subtítulo	Ação
File	New Data Acquisition	Abre um novo arquivo para a gravação dos dados recebidos da sonda
	Open Calibration File	Abre um arquivo de uma calibração já feita
	Save Calibration	Salva a calibração atual
	Print	Chama a janela de visualização dos dados, na qual se encontra o comando para imprimir
	Exit	Salva a configuração atual e sai do programa
Calibration	pH	Chama a janela de calibração do pH
	turbidimeter	Chama a janela de calibração do turbidímetro
	Dissolved Oxygen	Chama a janela de calibração do medidor de oxigênio dissolvido
View	Data Acquisition	Chama a janela que mostra o arquivo de dados atual ou gravado
Options	Manual Acquisition	Seleciona aquisição manual
	Automatic Acquisition	Seleciona aquisição automática
	Set Acquisition Step	Chama uma caixa de diálogo na qual o usuário coloca o período das aquisições
	Comm Port	Seleciona porta serial (1,2,3 ou 4)
	pH Temp. Corr. (on/off)	Habilita ou não a correção automática de temperatura (não implementado)
	Conductiv. Temp. Corr. (on/off)	Habilita ou não a correção automática de temperatura (não implementado)
Help	Help Topics	Não implementado
	About Water Analyzer	Não implementado

4.3.3.2 Botão *Power*

O botão *Power* serve para ligar e desligar o analisador. Existe uma variável *PowerOn* que tem o seu valor booleano (*true/false*) trocado a cada vez que o botão é pressionado. Além disso, a sub-rotina verifica o valor de *PowerOn*; se for *True* a rotina principal (rótulo *Main Routine*) é chamada. A rotina principal fica ativa enquanto *PowerOn=True*.

4.3.3.3 Botão *Save*

Esse botão somente é mostrado quando a gravação dos dados é manual - Menu *Options Manual Acquisition*. A cada vez que é pressionado o conjunto de medidas atual (no momento do pressionamento) é gravado no disco. Além dos dados enviados pela sonda são inseridas, também, a data e a hora.

4.3.3.4 Botão *Reset*

O botão de *Reset* tem a função de zerar o contador que armazena o valor da profundidade. Esse contador não é implementado no PC mas sim no microcontrolador. Desta maneira, é necessário enviar um comando ao microcontrolador PIC16C84 para que o mesmo possa realizar o zeramento do contador. A cada vez que o botão de *Reset* é acionado, um *byte* (A7h) é enviado ao PIC.

4.3.3.5 Rotina Principal (*Main Routine*)

A rotina principal, como já foi mencionado, é iniciada pelo botão *Power*. Uma vez iniciada ela comunica-se continuamente com a sonda trazendo os dados adquiridos. A seguir, estão os principais passos da rotina principal.

- 1)habilita tratamento de erro;
- 2)imprime na tela mensagens acerca do andamento do processamento;
- 3)indica, através de rótulos, o tipo de calibração usada nos medidores de pH e oxigênio dissolvido ("Uncalibrated", "Calibrated by 1pt" e "Calibrated by 2pt");
- 4)inicializa a porta serial escolhida com os parâmetros: 2400 *bauds*, sem paridade, palavra de 8 *bits* e 1 *stop bit*;
- 5)implementa um objeto visual (imitando um *led* quadrado), o qual pisca enquanto há transferência de dados na porta serial. Se por algum motivo ocorrer interrupção na comunicação o objeto pára de piscar;
- 6)testa se o botão de *Reset* do contador da profundidade foi pressionado; se foi envia o *byte* A7h para o microcontrolador;
- 7)envia o *byte* 0Ah requisitando ao microcontrolador um grupo de medidas;
- 8)habilita o *WatchDogTimer*;
- 9)aguarda a chegada de 20*bytes*, correspondente ao grupo de medidas;
- 10)se após o envio do *byte* 0Ah o grupo de medidas não chegar dentro de 1 seg, a função *Watch Dog Timer* implementada em *Visual Basic* é acionada. Esta função é explicada adiante em detalhes;
- 11)após a chegada dos 20 *bytes* o *buffer* da serial é lido e, ao mesmo tempo, esvaziado;
- 12)desabilita o *WatchDogTimer*;
- 13)os 20 *bytes* são, então, separados a fim de extrair a informação neles contida. O valor das medidas, o qual é enviado por 2 *bytes*, é concatenado numa única palavra e convertido para uma escala de 0 a 100%. Assim, as rotinas subsequentes tratam com valores padronizados;
- 14)a fim de obter uma leitura mais confiável os valores mostrados na tela e/ou arquivados em disco são decorrentes da média de 4 valores medidos;

15)além dos valores medidos são retirados do grupo de 20 *bytes* as informações da profundidade e das escalas do turbidímetro e do condutivímetro;

16)mostra o valor da temperatura num rótulo e num painel analógico (*Gauge*);

17)mostra o valor do pH num rótulo e num painel analógico (*Gauge*). Para cada tipo de calibração existe um conjunto de expressões que o programa seleciona com base em variáveis globais atualizadas pelas rotinas de calibração;

18)mostra a porcentagem de oxigênio dissolvido num rótulo e num painel analógico (*Gauge*);

19)mostra o valor da turbidez num *rótulo* e em um painel analógico (*Gauge*). Como a turbidez é medida em duas escalas o programa seleciona o fator de escala e escolhe tanto a unidade que aparece no *rótulo* como o fundo do painel analógico;

20)mostra o valor da condutividade num *rótulo* e num painel analógico (*Gauge*). A condutividade é medida em três escalas. Assim, o programa determina a unidade a ser mostrada no *rótulo* e no painel analógico;

21)mostra o valor da profundidade num *rótulo*;

22)mostra a hora e a data num *rótulo*;

23)se a opção de aquisição automática é selecionada, então a rotina que grava o grupo de medidas é acionada;

24)volta para o item 2) enquanto o botão *Power* não for pressionado novamente;

25)encerra comunicação serial;

26)implementa as rotinas de tratamento de erro, mostrando caixas de mensagens indicando o erro ocorrido. Foram previstas 3 possibilidades:

-“Device unavailable”, erro normalmente causado por problemas na comunicação serial;

-“Overflow”, erro causado por calibração mal feita;

-“Division by zero”, erro causado, também, por calibração mal feita;

27)fim.

4.3.3.6 Rotina de Inicialização (Form)

A rotina de inicialização está contida na própria janela principal (Form) e a mesma é chamada assim que a janela é carregada. A função básica dessa rotina é

inicializar variáveis, tanto atribuindo valores fixos como resgatando valores gravados em disco. Os passos da rotina de inicialização são os seguintes:

- 1)Habilita o tratamento de erro;
- 2)Estabelece 2s. como período de gravação dos dados adquiridos, caso a opção Aquisição Automática seja selecionada;
- 3)Inicializa botão de *Power* como desligado;
- 4)Se o arquivo de gravação dos dados não tem nome, o nome NONAME.DAT é atribuído, e o mesmo é mostrado na tela;
- 5)Prepara o arquivo de gravação dos dados, escrevendo o seu cabeçalho;
- 6)Lê o arquivo de configuração (CFG.DAT) e inicializa as variáveis com base nas informações gravadas;
- 7)Lê o arquivo de calibração (NOME.DAT) e inicializa as variáveis com base nas informações gravadas;
- 8)Mostra na tela o tipo de calibração utilizada nos medidores de pH e oxigênio dissolvido;
- 9)Implementa as rotinas de tratamento de erro, que neste caso referem-se a erros na abertura de arquivos. Uma caixa de mensagem é mostrada indicando o erro e a possível solução;
- 10)fim.

4.3.3.7 *VBX* da Porta Serial

Esse objeto não possui código. Ele é apenas referenciado por outras sub-rotinas quando se deseja configurar a porta serial e enviar ou receber dados.

4.3.3.8 *Timer* da Aquisição de Dados

Esse *timer* é habilitado quando a função “Automatic Aquisition” é selecionada. A sub-rotina contida no objeto *Timer* é chamada sistematicamente no período escolhido no menu “Acquisition Step”. A cada vez que essa sub-rotina é chamada, os seguintes passos são executados:

- 1)Aumenta um contador, o qual é mostrado na tela para informar ao usuário quantos grupos de dados já foram gravados;

2)Concatena numa *string* todas as variáveis que serão gravadas;

3)Grava essa *string* no arquivo NOME.DAT, incluindo-a junto aos dados já gravados;

4)Inclui a *string* na variável usada pela janela (*form*) que mostra os dados gravados em disco;

5)fim.

4.3.3.9 Timer do WatchDogTimer

Se durante a transferência de dados pela linha serial houver uma interrupção na comunicação, devido a um mau contato nos conectores por exemplo, o programa pode travar necessitando uma intervenção do usuário. Para evitar esse tipo de problema foi implementado um sistema tipo *WatchDogTimer*, já explicado no capítulo que trata do circuito principal, o qual permite ao programa recuperar a comunicação de maneira autônoma. Além disso, durante a tentativa de recuperação, são enviadas mensagens à tela indicando que o programa está tendo problemas na comunicação.

Inicialmente o *timer* é desabilitado. Após o envio do *byte*, que requisita um grupo de medidas (20 *bytes*) à sonda, o *timer* é habilitado. Assim, se dentro de um segundo o grupo de medidas não chegar, a rotina do *timer* é chamada. Se, no entanto, esses 20 *bytes* chegarem, como ocorre no funcionamento normal, estes são lidos do *buffer* e o *timer* é desabilitado.

A rotina do *timer* executa os seguintes passos:

1)o objeto visual (imitando um *led* quadrado) tem a sua cor trocada de verde piscante para vermelha contínua. Esse estado perdura até que a comunicação seja recuperada;

2)duas mensagens são mostradas de maneira alternada em substituição da mensagem "receiving data...": "Communication error." e "Trying to recover...";

3)habilita tratamento de erro;

4)esvazia o buffer da serial. Isto é necessário pois o buffer pode conter alguns dados colocados em ordem errada devido ao defeito na comunicação;

5)requisita à sonda, enviando o *byte* 0Ah, um novo grupo de medidas;

6)implementa as rotinas de tratamento de erro. Estas são as mesmas da rotina principal, já descritas;

7)fim.

4.3.4 Janela para Manipulação de Arquivos (*FILES*)

A janela de arquivos é uma janela auxiliar, no padrão *Windows*, a qual permite ao usuário dar nome a um arquivo, visualizar a árvore de diretório e selecionar *drives* tanto para gravação como para leitura. De acordo com a origem da chamada, o código contido na janela realiza operações diferentes (grava, carrega e abre arquivos) e também sugere a extensão apropriada para o nome do arquivo. Na figura 40 pode-se observar a janela de arquivos.

A operação da janela de arquivos é idêntica às das janelas do *Windows*. O usuário seleciona o disco, seleciona o diretório, escolhe o tipo de arquivo a ser mostrado, seleciona o arquivo e dá o comando "Ok". Se o usuário preferir, o mesmo pode digitar diretamente o nome do arquivo e prosseguir com o comando "Ok". Caso o usuário não queira prosseguir com a seleção de arquivos basta dar o comando "Cancel".

Figura 40 - Janela para manipulação de arquivos

4.3.4.1 Comando “Ok”

O código contido no objeto “Ok” executa os seguintes comandos:

- 1)habilita o tratamento de erro;
- 2)verifica a sintaxe do caminho do arquivo;
- 3)verifica qual o comando que chamou a janela de files e, de acordo com a origem, chama a sub-rotina adequada;
- 4)implementa as rotinas de tratamento de erro. São 5 possibilidades de erro, todas relacionadas com o acesso ao disco:
 - 4.1) “File not found”;
 - 4.2) “I/O error”;
 - 4.3) “Disk not ready”;
 - 4.4) “Path not found”;
 - 4.5) “Bad file name”;

Ao ocorrer o erro uma caixa de mensagem é mostrada na tela indicando o erro ocorrido;

- 5)fim.

4.3.4.2 Sub-rotinas Auxiliares

As sub-rotinas que são chamadas pelo código contido no comando “Ok” não estão contidas em nenhum objeto em especial, pois o usuário não tem acesso direto as mesmas. Elas estão associadas à janela principal numa seção chamada “general”.

4.3.4.2.1 Sub-rotina N_ADF (*New Acquisition Data File*)

Esta sub-rotina abre um novo arquivo para a gravação dos dados enviados pela sonda, executando, para isso, os seguintes passos:

- 1)verifica se o usuário digitou o nome do arquivo com a extensão apropriada (.dat). Se o usuário não colocou, a sub-rotina a insere automaticamente;
- 2)zera o contador de aquisições;
- 3)abre um arquivo com o nome especificado e escreve o cabeçalho no mesmo;
- 4)fim.

4.3.4.2.2 Sub-rotina O_ADF (*Open Acquisition Data File*)

Essa sub-rotina abre para leitura um arquivo de dados já gravado em disco. Esse recurso é utilizado pela janela de visualização de arquivos de dados. A rotina é bastante simples dispensando maiores comentários.

4.3.4.2.3 Sub-rotina O_CF (*Open Calibration File*)

Essa sub-rotina abre um arquivo de calibração, lê os dados e faz a atribuição dos mesmos às variáveis que correspondem aos parâmetros da calibração. Os passos da sub-rotina são os seguintes:

- 1)Abre o arquivo, atribuindo os dados contidos no mesmo a uma variável tipo *string*;

2)a *string* é lida caractere a caractere. A separação dos dados é feita através de espaços, e o final de arquivo é marcado com a palavra EOF. Um vetor é criado, sendo cada elemento um dado;

3)os elementos do vetor são atribuídos às variáveis envolvidas na calibração;

4)fim.

4.3.4.2.4 Sub-rotina S_CF (*Save Calibration File*)

Essa sub-rotina grava em disco as variáveis envolvidas na calibração. Os passos são os seguintes:

1)verifica se o usuário digitou o nome com a extensão apropriada (.cal). Se não digitou, a extensão é inserida automaticamente;

2)concatena em uma variável tipo *string* as variáveis envolvidas na calibração, separando-as por espaços e marcando o fim de arquivo com a palavra EOF;

3)abre um arquivo com o nome desejado e grava a *string*;

4)fim.

4.3.5 Janela para Visualização de Arquivos de Dados (*DATAVIEW*)

Essa janela tem a função de permitir ao usuário visualizar um arquivo de dados já gravado ou que está sendo gravado. Além disso há a possibilidade de imprimir o arquivo visualizado. Na figura 41 pode-se observar a janela de visualização de arquivos de dados. Há dois modos de operação: o modo “Current Data”, no qual o usuário observa os dados que estão sendo gravados em disco e o modo “File Data” no qual visualiza-se um arquivo já gravado.

- botão “Print” imprime a tela corrente e o botão “Load” chama a janela de arquivos para que se possa carregar um arquivo do disco.

Figura 41 - Janela para visualização dos dados enviados pela sonda.

4.3.6 Janela de Calibração do Medidor de pH (PHCAL)

Essa janela fornece ao usuário recursos para a calibração do medidor de pH. A calibração pode ser feita por um ponto ou dois pontos. De acordo com a figura 42, na janela há um seletor de *buffers*, um indicador de progresso da calibração e uma caixa de texto para a inserção do valor do *buffer* (0 a 14) em unidades de pH. O botão “Cancel” cancela a calibração do *buffer* corrente.

Após o término da calibração de um ponto, uma variável global é atualizada indicando que aquele ponto foi calibrado. Isto serve para a rotina principal selecionar as equações que calculam o valor do pH.

Os objetos que contém as sub-rotinas mais importantes são: os botões “Start”, “Cancel” e os *timers* 1 e 2. Os restantes podem ser compreendidos pela simples observação do próprio código, mostrado na íntegra no apêndice D.

Figura 42 - Janela de calibração do medidor de pH

4.3.6.1 Botão “Start”

Os passos da sub-rotina associada ao botão “Start” são os seguintes:

- 1)Verifica se o analisador está ligado. Se não estiver uma caixa de mensagem é mostrada na tela instruindo o usuário a ligar o analisador;

2)Verifica qual foi o buffer selecionado, testando o *rótulo* que indica o *buffer* selecionado. Se foi o *buffer1*, é habilitado o *timer1*. Se foi o *buffer2*, é habilitado o *timer2*;

3)Fim.

4.3.6.2 Botão “Cancel”

Os passos da sub-rotina associada ao botão “Cancel” são os seguintes:

1)Desabilita os *timers* 1 e 2 e zera o indicador de progresso;

2)Cancela o *buffer* selecionado, atualizando a variável global que indica se um determinado *buffer* foi ou não utilizado;

3)Envia mensagem à tela dizendo que a calibração do *buffer* em questão foi cancelada;

4)Atualiza a informação de *status* que indica o tipo de calibração utilizado (“uncal”, “1pt” ou “2pt”);

5)Fim.

4.3.6.3 Timers 1 e 2 (*buffers* 1 e 2)

Os códigos contidos nos *timers* 1 e 2 são idênticos, uma vez que realizam as mesmas tarefas. Os *timers* são previamente programados para executar as sub-rotinas a eles associadas uma vez a cada 0.5s. Essas sub-rotinas são executadas em paralelo com a rotina principal. Isto é necessário pois as sub-rotinas de calibração tomam valores modificados constantemente pela rotina principal. Os passos da sub-rotina são os seguintes:

1)Cria-se uma variável local à sub-rotina que guarda o valor do pH num determinado instante (pH local);

2)Calcula-se a diferença entre o valor do pH local e o pH atual - aquele que está vindo constantemente da sonda;

3)Cada vez que a diferença é menor que 0.02 um contador é aumentado;

4)O indicador de progresso é alimentado com o valor do contador;

5)Quando o contador chega a 10, o processo de calibração é paralisado, pois significa que a medida está estável e, portanto, válida para ser armazenada;

6)A variável global, que indica se um buffer foi utilizado ou não, é atualizada;

7)O valor do *buffer*, a temperatura do mesmo e o valor do pH lido são associados às variáveis (globais) que armazenam os parâmetros da calibração;

8)Fim.

4.3.7 Janela de Calibração do Medidor de Oxigênio Dissolvido (*O2CAL*)

A janela de calibração do medidor de oxigênio dissolvido é semelhante à janela do medidor de pH, não só no visual como também no código. Existem 2 pontos fixos de calibração: 0% e 100% de oxigênio dissolvido. Além disso há um campo para a entrada do valor da altitude. Na figura 43 está a janela de calibração do medidor de oxigênio. O valor da altitude é utilizado na correção da solubilidade do oxigênio dissolvido, a qual é calculada por meio de 2 equações que aproximam os valores contidos na tabela 6.

Como mencionado acima, o código contido nos objetos é praticamente idêntico ao utilizado na rotina de calibração do medidor de pH. Logo é desnecessário repetir, aqui, os passos das sub-rotinas.

4.3.8 Janela de Apresentação do Programa (*STARTUP*)

O programa desenvolvido possui uma tela de apresentação como é costumeiro nos programas para *Windows*. Essa tela tem função meramente estética e informativa.

A janela é constituída apenas por uma imagem no formato BMP e um *timer* para permitir a visualização da imagem antes da janela principal entrar em cena. Na figura 44 é mostrada uma captura da tela de apresentação.

Figura 43 - Janela de calibração do medidor de oxigênio dissolvido.

Figura 44 - Tela de Apresentação do Analisador Virtual de Água

5. Transmissão dos Dados via Radiofrequência

5.1 Introdução

Ao longo do projeto da sonda, cogitou-se a possibilidade de realizar a transmissão dos dados sem fazer uso de cabos elétricos. Uma alternativa é a transmissão via radiofrequência com a sonda sendo alimentada por bateria.

Por questões de limitação de tempo e conhecimento, e dada a abordagem quase que totalmente experimental, os dispositivos de transmissão e recepção não foram agregados formalmente ao projeto da sonda. No entanto, fez-se a inclusão deste capítulo uma vez que um transmissor e um receptor de dados foram desenvolvidos e testados, contudo separadamente da sonda.

5.2 Sistema de Transmissão

A propagação de ondas eletromagnéticas na água^[30] encontra muitas dificuldades devido aos altos valores de condutividade e de constante dielétrica da mesma. A sonda multissensora é sustentada por um cabo metálico, o qual vai da sonda até a superfície externa da água. Valendo-se desse fato, a idéia do sistema

proposto é utilizar esse cabo como meio físico para o caminho da onda eletromagnética. Desta maneira, a extremidade do cabo do lado da sonda é conectada à saída do transmissor e a outra extremidade, a qual fica fora d'água, é conectada ao receptor. Note que apenas um pólo é conectado, os terras não são conectados. Supõe-se a estrutura da sonda e o gabinete do receptor como sendo o terra.

Utilizou-se a frequência de 3.57MHz e modulação em amplitude do tipo CW (*Continuous Wave*)^[31], pois na transmissão de dados há apenas dois níveis da portadora¹⁴: zero e máximo.

5.3 Transmissor

O transmissor de RF, de acordo com a figura 45, está dividido em três partes distintas: um oscilador a cristal em 3.57MHz, um amplificador de RF e um amplificador operacional discreto. Esse circuito foi concebido de maneira a poder atuar tanto como transmissor de dados com transmissor de áudio, bastando para essa mudança apenas algumas poucas modificações.

A diferença entre os modos de operação é que em áudio faz-se a modulação contínua e linear da portadora, em amplitude, de acordo com o sinal de áudio. Isto é, as variações na amplitude do sinal de áudio são convertidas em variações na amplitude da portadora. Já na transmissão de dados só há dois níveis da portadora: amplitude zero e amplitude máxima, cada um significando nível lógico zero ou um. Na figura 45 está mostrado o circuito na versão para dados.

¹⁴ Portadora é um sinal de alta frequência o qual tem um parâmetro (frequência, amplitude ou fase) variado segundo um outro sinal de menor frequência. O sinal de menor frequência (sinal modulante) pode ser recuperado mediante a detecção do parâmetro variado.

Figura 45 - Transmissor de dados em 3.57MHz.

A alimentação do amplificador de RF é oriunda da saída do amplificador operacional. Quanto maior a tensão de alimentação no amplificador de RF, maior a amplitude da portadora. Assim de acordo com o nível de saída do amplificador operacional, tem-se uma amplitude da portadora correspondente. Esse tipo de modulação é conhecido como modulação em coletor, já que o sinal modulante é aplicado justamente no coletor do transistor amplificador. Na figura 46 pode-se observar um sinal modulante digital e o sinal da portadora modulado resultante.

5.4 Receptor

O circuito utilizado na construção do receptor foi, também, igualmente ao transmissor, projetado de maneira a operar tanto com áudio como com dados. O receptor, de acordo com a figura 47, está dividido nas seguintes partes: um amplificador de RF, um detector de envoltória, um controle automático de ganho

(CAG), um amplificador de áudio para a operação em áudio, um comparador de tensão para a operação em dados e um circuito para geração da fonte negativa.

Figura 46 - Sinal digital proveniente da porta serial e portadora modulada em amplitude.

O amplificador de RF é constituído por duas etapas amplificadoras (Q1 e Q2) ambas sintonizadas e na configuração emissor comum.

O detector de envoltória extrai da portadora o sinal que contém a informação (áudio ou dados).

O controle automático de ganho, como o próprio nome diz, controla o ganho do amplificador de RF com base no nível de saída do detector de envoltória. Se o nível de saída estiver muito baixo, o CAG aumenta o ganho e vice-versa. Assim, independentemente do nível do sinal recebido, tem-se um nível praticamente constante na saída do detector de envoltória. Isso minimiza ruído e evita a saturação do amplificador de RF.

Figura 47 - Receptor de dados e áudio em 3.57 MHz

O comparador converte o sinal de pequena intensidade da saída do detector de envoltória para os níveis compatíveis com a interface RS232. O mesmo ocorre com o amplificador de áudio, caso o modo áudio seja utilizado.

A interface RS232 exige sinais positivos e negativos na faixa de -12 a +12V, sendo que a mesma funciona também na faixa de -5 a +5V. A fim de permitir que o circuito funcione a partir de uma única bateria, incluiu-se um circuito gerador de tensão negativa, como mostrado na figura 47.

5.5 Desempenho do Sistema

Por motivos de viabilidade prática o teste do sistema foi dividido em duas partes: teste de transmissão de um tom de áudio com o transmissor submerso e teste de transmissão de dados (de um PC para outro PC) fora d'água.

O primeiro teste foi realizado a uma profundidade de 3 metros em água doce com o transmissor alimentado por um bateria de 9V e um sinal de áudio de onda quadrada na frequência de 1KHz. Com o receptor alimentado também por uma bateria de 9V foi possível a detecção do sinal de 1KHz. Como cabo de sustentação, utilizou-se um cabo elétrico flexível de bitola 1.5mm².

O segundo teste foi realizado entre dois micros do tipo IBM/PC localizados em salas diferentes distanciados de aproximadamente 6 metros. O transmissor foi alimentado com um bateria de 9V e sua entrada de dados foi conectada à saída da porta serial RS232 de um dos PC's. O receptor foi alimentado também por uma bateria de 9V e sua saída de dados foi conectada à entrada da porta serial RS232 do outro PC. À saída do transmissor conectou-se um cabo flexível, o qual foi estendido

até ficar próximo do receptor, sem conexão elétrica. Com dois softwares bastante simples escritos em Visual Basic, um para transmissão e outro para recepção, fez-se a transmissão, de carácter a carácter, de um micro para outro, de um texto de aproximadamente 10000 caracteres em diversas taxas de transmissão (de 1200 a 19200 bauds).

O desempenho do sistema foi extremamente satisfatório. Para uma utilização real será necessário implementar um algoritmo de detecção de erros e fazer a transmissão dos dados em grupos de bytes.

6. Conclusão

6.1 Introdução

O presente trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um instrumento microprocessado para a medida de parâmetros físicos e químicos da água. O projeto envolveu o uso de componentes recentes e técnicas modernas de programação. O microcontrolador PIC16C84 e o conversor A/D MAX187 permitiram a confecção de uma placa de circuito impresso bastante compacta, pois possuem um número reduzido de pinos e requerem poucos componentes externos. Já a programação em *Visual Basic* mostrou-se plenamente adequada ao desenvolvimento do sistema, uma vez que não exige muito conhecimento do programador e produz programas de alta qualidade e de fácil expansão.

O circuito da sonda juntamente com o programa em *Visual Basic* apresentaram um desempenho bastante satisfatório. A operação e a visualização dos instrumentos virtuais ficaram bem facilitadas devido aos recursos gráficos disponíveis.

Infelizmente, por falta de recursos a montagem completa da sonda não foi possível, uma vez que a mesma implicaria em gastos com oficina mecânica e compra de sensores específicos como o de pH e o de oxigênio dissolvido. Na avaliação dos circuitos utilizaram-se sensores de laboratório.

6.2 Otimização do Projeto

6.2.1 Medidor de Profundidade

O medidor de profundidade sugerido no projeto apresenta um desempenho satisfatório, podendo ser implementado sem nenhum problema. No entanto, o método proposto traz alguns inconvenientes de ordem prática na manipulação da sonda:

- O cabo de sustentação da sonda pode não descer perpendicularmente à superfície da água, como no caso de um rio com correnteza. Neste caso, o medidor indicaria uma profundidade maior que a real;
- O medidor deve ser zerado na superfície da água, já que o mesmo mede o comprimento relativo de cabo que passa pela polia;
- É necessário haver, na superfície da água, um aparato mecânico e eletrônico a fim de implementar o medidor.

Uma alternativa para a medição de profundidade é a medida indireta, através de um sensor de pressão. Esse sensor seria alojado junto aos outros instrumentos e seu sinal seria enviado, também, junto com os sinais dos outros instrumentos. A pressão é proporcional à profundidade e à densidade do líquido. Assim, conhecendo-se a pressão e a densidade, pode-se calcular a profundidade. O problema da diferença de densidade de uma água para outra pode ser resolvido considerando-se o valor da condutividade, pois a quantidade de sais na água influencia diretamente esse último parâmetro. O sensor de pressão não foi implementado devido à falta de recursos para a compra do mesmo.

6.2.2 Fonte de alimentação

As fontes de alimentação isoladas galvanicamente são de fundamental importância para evitar laços de terra entre os instrumentos. O sistema de fonte sugerido funcionou de maneira razoável. Contudo, restaram, ainda, algumas pequenas interferências devido ao transformador. A construção desse componente é crítica e não houve tempo suficiente para um desenvolvimento mais criterioso do mesmo.

6.3 Trabalhos Futuros

6.3.1 Sistema com *Data Logger*

O sistema proposto prevê o uso de um *lap-top* como unidade de visualização e armazenamento de dados. No entanto, o uso de um *lap-top* em campo pode trazer problemas, pois esses equipamentos são, ainda, pouco robustos. Uma solução para esse problema seria a construção de um microcomputador dedicado, baseado em um microcontrolador PIC ou INTEL 8031, que faria a comunicação com a sonda, mostraria os dados de forma resumida num *display* de cristal líquido e armazenaria os dados numa memória não volátil. Posteriormente, essa unidade microprocessada seria conectada a um PC, via porta serial RS232, transferindo os dados para análise.

6.3.2 Sistema automático de medidas

Tanto o sistema com *lap-top* como o sistema com *data logger* podem ser evoluídos para um sistema automático de medidas, o qual não necessita de um operador. O cabo da sonda seria acoplado a uma polia motorizada, a qual faria os movimentos de descida e subida da sonda. Assim, de período a período o *lap-top* ou o *data logger* seria retirado e seus dados transferidos para um PC.

6.3.3 Sistema Telemétrico via Radiofrequência

Unindo a idéia do sistema automático de medidas com a idéia de transmissão dos dados via radiofrequência, um sistema de telemetria poderia ser feito com poucas modificações no projeto original. O sistema de polia motorizada ficaria em uma bóia, na superfície da água, juntamente com o transmissor/receptor e a antena. O microcomputador PC situado à distância receberia os dados enviados pela sonda. Para isso ser possível seria necessário apenas aumentar a frequência do transmissor/receptor sugeridos no capítulo 5, de modo a obter um tamanho de antena mais adequado.

6.3.4 Sistema Telemétrico via Internet

O *Visual Basic* oferece recursos de comunicação via rede de computadores bastante simples de serem implementados. Com poucas modificações no programa é possível estabelecer uma comunicação através da rede mundial Internet entre computadores conectados à mesma. Assim, pode-se receber instantaneamente os dados da sonda, mesmo que esta esteja a milhares de quilômetros de distância.

Bibliografia

- [1] **OEHME, F.** - Liquid Electrolyte Sensors: Potenciometry, Amperometry, and Conductometry. IN: GÖPEL, W.; HESSE, J.; ZEMEL,J.N., Sensors: A comprehensive survey. New York, VCH, 1991. V.2 p.314 -339
- [2] **COVINGTON, A. K.** - Introduction: Basic Electrode Types, Classification, and Selectivity Considerations. IN: COVINGTON, A. K., Ion Selective Electrode Methodology. Florida, CRC Press, 1979. V1 p.1 - 18
- [3] **MILLMAN, J.; HALKIAS, C. C.** - Eletrônica: Dispositivos e Circuitos. São Paulo, McGraw Hill do Brasil, 1981. V2 p.635 - 639
- [4] **MILLMAN, J.; HALKIAS, C. C.** - Eletrônica: Dispositivos e Circuitos. São Paulo, McGraw Hill do Brasil, 1981. V2 p.561 - 593
- [5] **COLE-PARMER INSTRUMENT COMPANY** - Catálogo 1989-1990 - USA
- [6] **OEHME, F.** - Liquid Electrolyte Sensors: Potenciometry, Amperometry, and Conductometry. IN: Göpel, W.; Hesse, J.; Zemel,J.N., Sensors: A comprehensive survey. New York. VCH, 1991. V.2 p.241 - 268
- [7] **WESTCOTT, C.C.** - Principles of pH Measurements. IN: Westcott, C.C. - pH Measurements. New York, Academic Press, 1978. p.1-16
- [8] **WESTCOTT, C.C.** - Electrodes. IN: Westcott, C.C. - pH Measurements. New York, Academic Press, 1978. p.41-78
- [9] **WESTCOTT, C.C.** - The pH Meter. IN: Westcott. C.C. - pH Measurements. New York, Academic Press, 1978. p.17-39

- [10] **U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY** - Manual for Methods for Chemical Analysis of Water and Wates - Washington DC, 1974. p.295-298
- [11] **NATIONAL SEMICONDUCTOR DATA BOOK** - Data Acquisition Linear Devices - 1989. P.6-12 a 6-17
- [12] **LEE, YOUNG H.; TSAO, GEORGE T.** - Dissolved Oxygen Electrodes
- [13] **KORYTA, JIRÍ.** - Ions, electrodes and membranes. - Membranes. New York, John Wiley & Sons, 1982. p.125-150
- [14] **ATKINS, P. W.** - General Chemistry. - Redox Reactions. New York, Scientific American Books, 1989. p. 96-109
- [15] **ATKINS, P. W.** - General Chemistry. - The Properties of Solutions. New York, Scientific American Books, 1989. p. 400-420
- [16] **MANUAL DE INSTRUÇÕES** - FAC 204A O₂ Analyzer. Indústria FAC LTDA. São Carlos
- [17] **HUTCHINSON** - A Treatise on Limnology - Oxygen in Lake Waters. New York, John Wiley & Sons, 1957. p. 580
- [18] **HUTCHINSON** - A Treatise on Limnology - The Properties of Water. New York, John Wiley & Sons, 1957. p. 206 a 208
- [19] **AN ENGINEERING HANDBOOK** - DC Motors Speed Controls Servo Systems. Electro-Craft Corporation. Hopkins, 1980. p. 7-1 a 7-18
- [20] **MILLMAN, J.; HALKIAS, C. C.** - Eletrônica: Dispositivos e Circuitos. Características de um Diodo de Junção. São Paulo, McGraw Hill do Brasil, 1981. V1 p.79

- [21] **MILLMAN, J.; HALKIAS, C. C.** - Eletrônica: Dispositivos e Circuitos. - Características do Transistor. São Paulo, McGraw Hill do Brasil, 1981. V1 p.144 - 145
- [22] **GAYAKWAD, R.; SOKOLOFF, L.** - Analog and Digital Control Sytems - Control Systems Components. New Jersey, Prentice-Hall, Inc., 1988. p. 83 a 87.
- [23] **RS232 Interfacing:** Manual de Referência.
- [24] **MICROCHIP DATA BOOK** - Arizona, 1992
- [25] **MAXIM** - New Releases Data Book - Volume IV.

<http://www.maxim-ic.com> - arquivos em formato PDF
- [26] **INTERSIL DATA BOOK** - 1988. p.8-32 a 8-35
- [27] **TEXAS INSTRUMENT** - The TTL Data Book. Dallas, 1973. p.274 a 277.
- [28] **TAUB, HERBERT** - Circuitos Digitais e Processadores - Flip-flops, Registradores e Contadores. São Paulo, McGraw-Hill, 1984. p.150 a 155.
- [29] **HOLZNER, STEVEN** - Visual Basic for Windows - Rio de Janeiro, Campos, 1994.
- [30] **COLIN, ROBERT E.** - Antennas and Radiowave Propagation - Radiowave Propagation. USA, McGraw-Hill, 1985. p.434 a 444.
- [31] **The ARRL Handbook for Radio Amateurs** - Modulation and Demodulation. Newington, American Radio Realy League, 1992. p 9-8 a 9-10
- [32] **BLACK, E. PETER** - Watershed Hydrology - Water in the Hydrosphere. Syracuse, Prentice Hall, 1991. p 233 a 246.

Apêndices

Apêndice A

O apêndice A é composto pelos esquemáticos dos circuitos desenvolvidos. Esses esquemáticos foram impressos diretamente pelo programa *Tango-Schematic* o qual possui formato próprio de impressão. Nas páginas seguintes encontram-se os esquemas relacionados abaixo:

Esquema 1 - Unidade Central

Esquema 2 - Fontes de Alimentação

Esquema 3 - Condutivímetro

Esquema 4 - Medidores de Temperatura, Turbidez, pH e Oxigênio Dissolvido

Esquema 5 - Medidor de Profundidade

Esquema 6 - Transmissor de Dados e Áudio em CW/AM 3.57 MHz

Esquema 7 - Receptor de Dados e Áudio em CW/AM 3.57 MHz

Title Medidores de Temperatura, Turbidez, pH e Oxigenio Dissolvido			
Size A4	Number		Rev
Date	25.12.96	Drawn by	RBruno
Filename	PICMAX.S04	Sheet	4 of 7

Title		
Medidor de Profundidade		
Size	Number	Rev
A4		
Date	25.12.96	Drawn by
Filename	PICMAX.S05	Sheet 5 of 7

• Para operar com audio necessita algumas modificações

Title Transmissor de Dados e Audio em AM/CW 3.57MHz		
Size A4	Number	Rev
Date 17.08.96	Drawn by RBruno	
Projeto PICMAX S06	Sheet 6	of ~

Fonte Negativa

Title Receptor de Dados e Audio em AM/CW 3.57MHz

Size A4

Number

Rev

Date 17.08.96

Drawn by RBrunc

Filename PICMAX.S07

Sheet 7 of

Apêndice B

Programa em Linguagem Montadora do PIC16C84.

```
START
ORG 0
GOTO INICIO

ORG 4
GOTO ROTINT

ORG 5
INICIO
    MOVLW 0X8E      ;Programa WatchDogTimer para 1s
    MOVWF 0X81

    MOVLW 0X0       ;Zera valor da profundidade
    MOVWF 0X2A
    MOVWF 0X2B

    MOVLW 0X90      ;Configura interrupcao
    MOVWF 0X0B

    MOVLW 0X85      ;Programa I/O da Porta B
    TRIS 0X6

    BCF 0X6,3       ;Nivel inicial do SCLK
    BSF 0X6,4       ;Nivel inicial do CS

    BCF 0X6,1       ;Programa condutivimetro com alta
                    ;sensib

    BCF 0X6,5

    MOVLW 0X1
    MOVWF 0X22      ;Registrador que guarda escala do
                    ;Turbidimetro
    BSF 0X5,3       ;Programa turbidimetro com alta
                    ;sensibilidade

    MOVLW 0X10      ;Programa I/O da porta A
    TRIS 0X5

    CLRF 0X10       ;Zera contador do seletor autm.
                    ;(alta sens.)
    MOVLW 0XFF      ;Desabilita todas as entradas
                    ;analogicas
    MOVWF 0X5
```

[illegible]

```

L5    CALL    LECONV    ;Realiza conversao
L6    DECF    0X15,1    ;Decrementa F15 de uma unidade
      MOVF    0X15,0    ;Carrega W com o numero da proxima
                          porta analogica

      CALL    P_ANALG   ;Converte contador em bits de 0 a 4 na
                          porta A (selecao de entradas analg.)

      MOVWF   0X2F       ;Salva a proxima selecao de entradas
      MOVF    0X5,0
      ANDLW   0X8        ;Operacoes de AND e OR para manter
      IORWF   0X2F,0     ;o bit A3 inalterado

      MOVWF   0X5        ;Envia selecao a porta A

      MOVF    0X13,0
      MOVWF   0X20
      CALL    TXPIC      ;Transmite byte MSB

      MOVF    0X12,0
      MOVWF   0X20
      CALL    TXPIC      ;Transmite byte LSB

      MOVF    0X13,0     ;Gera byte de verificacao
      XORWF   0X12,0     ;Byte de verificacao = f13 XOR f12
      MOVWF   0X20
      CALL    TXPIC      ;Transmite byte de verificacao

      MOVF    0X15,0
      BTFSS   0X3,2     ;Testa fim do contador de entr. analg.
      GOTO    L1

      MOVF    0X2B,0     ;Transmite byte MSB do valor da
      MOVWF   0X20       ;Profundidade
      CALL    TXPIC

      MOVF    0X2A,0     ;Transmite byte LSB do valor da
      MOVWF   0X20       ;Profundidade
      CALL    TXPIC

      MOVF    0X2B,0     ;Gera byte de verificacao
      XORWF   0X2A,0
      MOVWF   0X20
      CALL    TXPIC      ;Transmite byte de verificacao

      MOVF    0X10,0
      MOVWF   0X20
      CALL    TXPIC      ;Transmite escala do Condutivimetro

      MOVF    0X22,0
      MOVWF   0X20
      CALL    TXPIC      ;Transmite escala do Turbidimetro

      GOTO    L3        ;Reinicia processo

```

```

;Rotina que converte o numero do contador de entrada analogica em
;bits da porta A

```

```

P_ANALG

```

```

      ADDWF   2,1
      RETLW   0X4       ;numero adicional para ajuste do
                          ;contador

```

```

RETLW    0X0
RETLW    0X1
RETLW    0X2
RETLW    0X3
RETLW    0X4

```

;Rotina que escolhe a escala adequada para o Turbidimetro

TURBID

```

K1      CLRWDT                ;Reset WatchDogTimer

        CALL      LECONV      ;Faz conversao

        MOVF       0X13,0
        SUBLW      0XFE
        BTFSC      0X3,0      ;Testa se valor lido >98.4%
        GOTO       K2

        BTFSS      0X22,0     ;Testa se sensibilidade ja eh baixa
        GOTO       K3

        BCF        0X22,0
        BCF        0X5,3      ;Seleciona baixa sensibilidade
        GOTO       K1

K2      MOVF       0X13,0
        SUBLW      0X86
        BTFSS      0X3,0      ;Testa se valor lido <4.7%
        GOTO       K3

        BTFSC      0X22,0     ;Testa se sensibilidade ja eh alta
        GOTO       K3

        BSF        0X22,0
        BSF        0X5,3      ;Seleciona alta sensibilidade
        GOTO       K1

K3      RETURN

```

;Rotina que escolhe a escala adequada para o condutivimetro

CONDUT

```

H2      CALL      LECONV      ;Faz conversao

        MOVF       0X13,0
        SUBLW      0XFE
        BTFSC      0X3,0      ;Testa se valor lido>98,4%. Se nao for
                                ;vai para H1
        GOTO       H1

        MOVF       0X10,0
        SUBLW      0X2
        BTFSC      0X3,2      ;Testa se contador=2 (pequena
                                ;sensibilidade)
        GOTO       H1

        INCF       0X10,1
        CALL      PROG_SEL    ;Programa o seletor, diminuindo a
                                ;sensib.
        GOTO       H2

H1      MOVF       0X13,0
        SUBLW      0X82
        BTFSS      0X3,0      ;Testa se valor lido<1.5% => aument.

```

```

                                ;sensib.)
GOTO      H3
MOVF      0X10,1
BTFSC     0X3,2                ;Testa se contador=0 (alta
                                ;sensibilidade)
GOTO      H3
DECF      0X10,1
CALL      PROG_SEL            ;Programa o seletor, aumentando a
                                ;sensib.
GOTO      H2
H3        RETURN

```

;Rotina para programar o seletor de escala do condutivimetro

```

PROG_SEL
    MOVF      0X10,1
    BTFSS     0X3,2            ;Testa se f10h = 0
    GOTO      J1
    BCF       0X6,1
    BCF       0X6,5
    GOTO      J3
J1        MOVF      0X10,0
    SUBLW     0X1
    BTFSS     0X3,2            ;Testa se f10h = 1
    GOTO      J2
    BCF       0X6,1
    BSF       0X6,5
    GOTO      J3
J2        MOVF      0X10,0
    SUBLW     0X2
    BTFSS     0X3,2
    GOTO      J3
    BSF       0X6,1
    BCF       0X6,5
J3        MOVLW     0XFF        ;Gera delay de 0,4 seg
    MOVWF     0X23
J4        CALL      DELAY2
    CALL      DELAY2
    CALL      DELAY2
    CALL      DELAY2
    CLRWDT                    ;Zera WatchDogTimer
    DECFSZ    0X23,1
    GOTO      J4
    RETURN

```

;Recebe byte serial, por RB7 a 2400 baud, e o armazena em F20h

```

RXPIC
C1        CLRWDT                ;Zera WatchDogTimer
    BTFSC     0X6,7            ;Aguarda "Start Bit"
    GOTO      C1

```

```

CALL    DELAY2    ;Insere delay de 416us
CALL    DELAY1    ;Insere "1/2" delay de 208us

MOVLW   0X8       ;Carrega contador (f14H)
MOVWF   0X14

C7      BTFSS     0X6,7    ;Le bit em RB7
        GOTO     C4
        BSF      0X3,0    ;Coloca "1" no Carry
        GOTO     C5
C4      BCF      0X3,0    ;Coloca "0" no Carry

C5      RRF      0X20     ;Posiciona bit lido

        CALL     DELAY2   ;Insere delay de 416us

        DECFSZ   0X14,1   ;Testa fim da contagem (1-8)
        GOTO     C7

C8      BTFSS     0X6,7    ;Confirma "Stop Bit"
        GOTO     C8

RETURN

```

;Le byte em F20h e envia, serialmente, por RB6 a 2400 baud
TXPIC

```

        BCF      0X6,6    ;Envia "Start Bit"

        CALL     DELAY2   ;Insere delay de 416us

MOVLW   0X8       ;Carrega contador (f14H)
MOVWF   0X14

B5      RRF      0X20     ;Posiciona, no Carry, o bit
                        ;a ser lido
        BTFSS    0X3,0    ;Le bit atraves do Carry
        GOTO     B2
        BSF      0X6,6    ;Envia "1" na saida serial
        GOTO     B3
B2      BCF      0X6,6    ;Envia "0" na saida serial

B3      CALL     DELAY2   ;Insere delay de 416us

        DECFSZ   0X14,1   ;Testa fim da contagem (1-8)
        GOTO     B5

        BSF      0X6,6    ;Envia "Stop Bit"
        CALL     DELAY2   ;Insere delay de 416us

RETURN

```

```

;-----Rotina para ler dados do conversor MAX187-----
;
;  O conversor MAX187 trabalha com palavras de 16bits
;  As palavras sao recebidas a 2 bytes por palavra
;  Palavra de dados: F13h (MSB) E F12h (LSB)
;
;  F13 = 1XXX XXXX    bit7 = EOC
;  F12 = XXXX X000
;
;  As palavras sao recebidas serialmente
;  Dados: (recebida do conversor)        porta RB2
;

```



```
;      A rotina LECONV coloca os dados lidos do conversor em F13h e
;      F12h
;
;      A conversao eh feita assim que o sinal de CS vai para nivel
;      baixo(CS=0)

LECONV
    BCF      0X6,4      ;Envia CS=0

    CALL     DELAY3     ;Aguarda 20us para a conversao(8.5us)

    CALL     RECDADO
    MOVF     0X0F,0     ;Recebe 1st byte de dados e guarda em
                        ;f13h
    MOVWF    0X13

    CALL     RECDADO
    MOVF     0X0F,0     ;Recebe 2nd byte de dados e guarda em
                        ;f12h
    MOVWF    0X12

    BSF      0X6,4      ;Envia CS=1
    RETURN

;-----Rotina que recebe do conversor byte em f0Fh-----

RECDADO
    MOVLW    0X8        ;Contador (1 byte) f14h
    MOVWF    0X14
E1
    RLF      0X0F,1     ;Rotaciona reg 0Fh (posiciona bit0 p/
                        ;escrita)
    BSF      0X0F,0     ;Seta bit0=1, se bit em DOUT=0 entao o
                        ;proximo BFC faz a troca
    BTFSS    0X6,2     ;Le dado na porta RB2 (DOUT conversor)
    BCF      0X0F,0     ;Coloca bit lido na posicao bit=0
                        ;do registrador f0Fh

    BSF      0X6,3      ;Envia SCLK=1

    NOP
    NOP
    NOP
    NOP
    NOP
    NOP

    BCF      0X6,3      ;Envia SCLK=0

    DECFSZ   0X14,1     ;Decrementa contador e pula se reg=0
    GOTO     E1
    RETURN

;Rotina que gera delay de 208us

DELAY1
    MOVLW    0X44      ;Insere "1/2" delay de 208us
    MOVWF    0X21
G1
    DECFSZ   0X21,1
    GOTO     G1
    RETURN
```

;Rotina que gera delay de 416us

```
DELAY2
    MOVLW      0X88      ;Insere delay de 416us
    MOVWF      0X21
G2   DECFSZ    0X21,1
    GOTO       G2
    RETURN
```

;Rotina que gera delay de 20us

```
DELAY3
    MOVLW      0X0F
    MOVWF      0X21
G3   DECFSZ    0X21,1
    GOTO       G1
    RETURN
```

;Rotina de interrupcao (medicao da profundidade)

```
ROTINT
    CLRWD      ;Zera WatchDogTimer
    MOVLW      0X10      ;Reabilita interrupcao
    MOVWF      0X0B

    BTFSC      0X5,4      ;Testa se deve incrementar ou
                          ;decrementar

    GOTO        DECF      ;Incrementa LSB
    INCF        0X2A
    BTFSC      0X3,2      ;Testa se LSB=0 (overflow)
    INCF        0X2B      ;Incrementa MSB (vai um)
    RETFIE

DECF
    MOVF        0X2A,1
    BTFSC      0X3,2      ;Testa se LSB ja eh zero
    DECF        0X2B      ;Se for decrementa MSB e LSB
    DECF        0X2A      ;Se nao, decrementa apenas LSB

    RETFIE
```

;Zera valor da profundidade

```
ZERAPROF
    MOVLW      0X0      ;Zera valor da profundidade
    MOVWF      0X2A
    MOVWF      0X2B
    RETURN

END
```

Apêndice C

Descrição das variáveis e conteúdo/formato dos arquivos utilizados no programa em *Visual Basic* (VIRT-WA.MAK)

VARIÁVEIS

DAF_Name: Nome do file que recebe os dados da aquisição

DAF_Name_Load: Nome do file a ser carregado pelo DataView

CALF_Name: Nome do file que contem os parâmetros da calibração

DA_Var: Variável que contem os dados da aquisição (apenas 1 linha)

DA_File: Variável que contem os dados da aquisição (todas as linhas)

CAL_Var: Variável que contem os parâmetros da calibração

Config: Variável que contem os dados carregados do file Cfg.dat

CF_Menu(n): Array de strings formado a partir da "quebra" de Config

CAL_Var_Sub(n): Array de strings formado a partir da "quebra" de CAL_Var

COMM_PORT: Porta serial (1/2/3/4)

VPH1, VPH2: Tensões (%) referentes à calibração do pH

TPH1, TPH2: Temperatura dos buffers do pH

PH1, PH2: Valor do buffer do pH

PH_CAL1: Indica se Buffer1 foi calibrado (0=não 1=sim)

PH_CAL2: Indica se Buffer2 foi calibrado (0=não 1=sim)

VTU1, VTU2: Tensões (%) referentes aos padrões usados na calibração do turbidímetro

TU1, TU2: Turbidez dos padrões

VDO0, VDO100: Tensões referentes aos padrões de 0% e 100% de DO

TDO0, TDO100: Temperatura dos padrões de 0% e 100%

DO_CAL0: Indica se o padrão de 0% já foi calibrado

DO_CAL100: Indica se o padrão de 100% já foi calibrado

Pressure: Pressão atmosférica que deve ser inserida pelo usuário

PowerOn: Representa o estado do Analisador Virtual: Ligado ou desligado

PH_TEMP_CORR, COND_TEMP_CORR: Variáveis que indicam se a correção de temperatura está ativa ou não (on/off)

ACQUISITION: Indica se a aquisição é manual ou automática (Manual/Auto)

Acqu_Frequency: Indica o espaçamento das aquisições em segundos

STEMP: String que contem o valor instantâneo da temperatura

SPH: String que contem o valor instantâneo do pH

STU: String que contem o valor instantâneo da turbidez

SCOND: String que contem o valor instantâneo da condutividade

SOX: String que contem o valor instantâneo da % de O2 dissolvido

SPROF: String que contem o valor instantâneo da profundidade

STIME: String que contem o valor instantâneo da hora

SDATE: String que contem o valor instantâneo da data

TEMP: Valor instantâneo da temperatura

PH: Valor instantâneo do pH

TU: Valor instantâneo da turbidez

COND: Valor instantâneo da condutividade

OX: Valor instantâneo da porcentagem de oxigênio dissolvido

PROF: Valor instantâneo da profundidade

AC_Num: Inteiro LONG que totaliza o numero de aquisições gravadas

V(5): Array que guarda os valores de tensão (%) correspondentes a:

 V(0)=TEMP

 V(1)=PH

 V(2)=OX

 V(3)=TU

 V(4)=COND

PHWINDOW: Guarda o estado do foco da janela de calibração. Variável usada para redesenhar a janela quando o botão de "Power" é acionado.

D_Reset: Variável global que é igualada a um a cada vez que se deseja zerar o contador de profundidade.

ARQUIVOS

DAF_NAME.DAT: Contem os dados da aquisição no seguinte formato abaixo.

Os dados são colocados em linha separados por espaços. A primeira linha contem o título de cada coluna.

Temperature pH O2 Turdidity Conductivity Depth Time Date

CALF_NAME.CAL: Contem os dados da calibração. Cada linha possui os parâmetros de um instrumento separados por espaços. A sequência é pH, Turbidez e O2.

PH_CAL1 PH_CAL2 VPH1 PH1 TPH1 VPH2 PH2 TPH2 VTU1 TU1 VTU2
TU2 DO_CAL0 DO_CAL100 VDO0 VDO100 TDO0 TDO100

pH:	0 0 0 0 0 0 0 0	Sem calibração
	1 0 VPH1 PH1 TPH1 0 0 0	Calibração por 1 ponto
	0 1 0 0 0 VPH2 PH2 TPH2	Sem calibração
	1 1 VPH1 PH1 TPH1 VPH2 PH2 TPH2	Calibração por 2 pontos

Turbidez :VTU1 TU1 VTU2 TU2

O2:	0 0 VDO0 VDO100 TDO0 TDO100	Sem calibração
	1 0 VDO0 VDO100 TDO0 TDO100	Sem calibração
	0 1 VDO0 VDO100 TDO0 TDO100	Sem calibração
	1 1 VDO0 VDO100 TDO0 TDO100	Calibrado

CFG.DAT: Contem a ultima configuração do menu feita pelo usuário. Cada vez que o programa é carregado a configuração é restaurada. Os dados são colocados em uma única linha separados por espaços.

CALF_Name ACQUISITION COMM_PORT PH_TEMP_CORR COND_TEMP_CORR

- CALF_NAME:** último nome do arquivo de calibração usado pelo usuário
- ACQUISITION:** Manual/Auto
- COMM_PORT:** 1/2/3/4
- PH_TEMP_CORR:** On/Off
- COND_TEMP_CORR:** On/Off

Apêndice D

Listagem do Programa em Visual Basic (ver descrição das variáveis no apêndice C)

D1. Sub-Rotinas da Janela Principal (MAIN)

D1.1 Menu

D1.1.1 File

```

Sub New_DA_Click ()
    Files.Ext.Text = "*.dat"
    Files.File1.Pattern = Files.Ext.Text
    Files.Caption = "New Acquisition Data File"
    Files.Show
End Sub

Sub Open_CF_Click ()
    Files.Ext.Text = "*.cal"
    Files.File1.Pattern = Files.Ext.Text
    Files.Caption = "Open Calibration File"
    Files.Show
End Sub

Sub Save_C_Click ()
    Files.Ext.Text = "*.cal"
    Files.File1.Pattern = Files.Ext.Text
    Files.Caption = "Save Calibration File"
    Files.Show
End Sub

Sub Print_Click ()
    Data_A_Click
End Sub

Sub Exit_Click ()
    PowerOn = False
    'Grava a configuração atual do programa
    'Inicia a concatenação da variável Config
    Config = CALF_Name & Space(1) 'Grava o arquivo de calibração
    Config = Config & ACQUISITION & Space(1) 'Grava o modo de aquisição
    Config = Config & COMM_PORT & Space(1) 'Grava a numero da porta serial
    Config = Config & PH_TEMP_CORR & Space(1) & COND_TEMP_CORR & Space(1) 'Grava o modo de
    correção de temperatura (pH e Cond)
    Config = Config & "EOF" & Space(1)
    'Atualiza o arquivo Config.dat
    Open CurDir$ & "\Cfg.dat" For Output As #1
    Print #1, Config
    Close
End

```

End Sub

D1.1.2 Calibration

```
Sub pHCAL_Click ()
    PH_CAL_WINDOW.Show
    PHWINDOW = "Active"
End Sub
```

```
Sub Dissolved_O_Click ()
    DO_CAL_WINDOW.Show
    DOWINDOW = "Active"
End Sub
```

D1.1.3 View

```
Sub Data_A_Click ()
    DataView.Show
End Sub
```

D1.1.4 Options

```
Sub Manual_A_Click ()
    Manual_A.Checked = True      'Atribui valores às variáveis que indicam a opção selecionada no menu
    Automatic_A.Checked = False
    ACQUISITION = "Manual"      'Seleciona o tipo de aquisição desejada (auto/manual)
    Manual_Ac_Panel.Visible = True 'Mostra a janela que permite o usuário gravar manualmente um grupo
de dados
    Manual_Ac_Save.Visible = True
    Samples_Number.Text = "Manual acquisition" 'Mostra a opção selecionada na janela de status
End Sub
```

```
Sub Automatic_A_Click ()
    Automatic_A.Checked = True    'Atribui valores às variáveis que indicam a opção selecionada no menu
    Manual_A.Checked = False
    ACQUISITION = "Auto"         'Seleciona o tipo de aquisição desejada (auto/manual)
    Manual_Ac_Panel.Visible = False 'Esconde a janela que permite o usuário gravar manualmente um grupo
de dados
    Manual_Ac_Save.Visible = False
    Samples_Number.Text = "Automatic acquisition (1 save every " & Acqu_Frequency & " sec.)" 'Mostra a
opção selecionada na janela de status
    Acquisition_Timer.Interval = Acqu_Frequency * 1000 'Seleciona o intervalo das aquisições
End Sub
```

```
Sub Set_AS_Click ()
    Msg = "Saves an acquisition every ... seconds (min=1 max=60)"
    Title = "Acquisition Saving Step"
    ACF = 10 'Default
'Verifica a faixa de 1 to 60 seg
Again:
    ACF = Val(InputBox$(Msg, Title))
    If ACF < 1 Then Acqu_Frequency = 1
    If ACF > 60 Then Acqu_Frequency = 60
```

```

    Acqu_Frequency = ACF
'Mostra a opção selecionada na janela de status
    Call Automatic_A_Click
End Sub

Sub Comm1_Click ()
    COMM_PORT = 1
    Comm1.Checked = True
    Comm2.Checked = False
    Comm3.Checked = False
    Comm4.Checked = False
    CommPortNum.Text = COMM_PORT
End Sub

Sub Comm2_Click ()
    COMM_PORT = 2
    Comm1.Checked = False
    Comm2.Checked = True
    Comm3.Checked = False
    Comm4.Checked = False
    CommPortNum.Text = COMM_PORT
End Sub

Sub Comm3_Click ()
    COMM_PORT = 3
    Comm1.Checked = False
    Comm2.Checked = False
    Comm3.Checked = True
    Comm4.Checked = False
    CommPortNum.Text = COMM_PORT
End Sub

Sub Comm4_Click ()
    COMM_PORT = 4
    Comm1.Checked = False
    Comm2.Checked = False
    Comm3.Checked = False
    Comm4.Checked = True
    CommPortNum.Text = COMM_PORT
End Sub

Sub pH_TC_Click ()
    pH_TC.Checked = Not pH_TC.Checked
    If pH_TC.Checked = True Then PH_TEMP_CORR = "On" Else PH_TEMP_CORR = "Off"
End Sub

Sub Condutivimeter_TC_Click ()
    Condutivimeter_TC.Checked = Not Condutivimeter_TC.Checked
    If Condutivimeter_TC.Checked = True Then COND_TEMP_CORR = "On" Else COND_TEMP_CORR = "Off"
End Sub
```

D1.2 Botão Power

```

Sub Power_Click ()
    If SerialComm.PortOpen = True Then SerialComm.PortOpen = False
    PowerOn = Not PowerOn
    If PowerOn = True Then PowerLight.BackColor = &HFF Else PowerLight.BackColor = &HC0C0C0
    If PHWINDOW = "Active" Then PH_CAL_WINDOW.SetFocus
```



```

If DOWINDOW = "Active" Then DO_CAL_WINDOW.SetFocus
If PowerOn = True Then Call MainRoutine_Click
WdgTimer.Enabled = False
RdataLed.BackColor = &HC0C0C0
Messages.Text = "Off"
Acquisition_Timer.Enabled = False
End Sub

```

D1.3 Botão Save

```

Sub Manual_Ac_Save_Click ()
    Acquisition_Num.Text = AC_Num
    TB = Chr$(9)
    'Constrói uma string que contem todos os valores atuais
    DA_Var = STMP & TB & SPH & TB & SOX & TB & STU & TB & SCND & TB & SPROF & TB & STIME & TB
    & SDATE & TB
    'Grava o grupo atual de dados
    Open DAF_Name For Append As #1
    Print #1, DA_Var
    Close
    AC_Num = AC_Num + 1    'Conta o número de aquisições feitas
    DataView.DataTextCur.Text = DataView.DataTextCur.Text & DA_Var & Chr$(13) & Chr$(10)
End Sub

```

D1.4 Botão Reset

```

Sub Command1_Click ()
    'Seta uma variável que permite o envio ao PIC do byte que zera o contador de profundidade
    D_Reset = True
End Sub

```

D1.5 Rotina Principal

```

Sub MainRoutine_Click ()
    'Se ocorrer algum erro a execução é transferida para o rótulo Erro
    On Error GoTo Erro
    'Mostra mensagens
    Messages.FontSize = 10
    Messages.Text = "Starting Analyzer..."
    'Vtemp(): valores recebidos do PIC16C84 - V(): Média de Vtemp()
    Static Vtemp(5), AVERG(10), TDO As Single
    Static Rdata, N_MED, N, ComError As Integer
    'Mostra o modo de calibração do medidor de pH: uncal, 1pt or 2pt
    If PH_CAL1 = 1 And PH_CAL2 = 1 Then
        pH_Status.Text = "Calibrated by 2pt"
    ElseIf PH_CAL1 = 1 Then
        pH_Status.Text = "Calibrated by 1pt"
    Else
        pH_Status.Text = "Uncalibrated"
    End If
    'Mostra o modo de calibração do medidor de DO: uncal or calibrated
    If DO_CAL0 = 1 And DO_CAL100 = 1 Then
        DO_Status.Text = "Calibrated"
    Else

```

```

    DO_Status.Text = "Uncalibrated"
End If
'Número de medidas para o cálculo da média
N_MED = 4
'Inicializa a porta serial
SerialComm.CommPort = COMM_PORT
SerialComm.Settings = "2400,N,8,1"
SerialComm.PortOpen = True
For T = 1 To 10000: Next T
SerialComm.PortOpen = False
For T = 1 To 10000: Next T
SerialComm.PortOpen = True
'Mostra mensagens
Messages.ForeColor = &HC00000
Messages.Text = "receiving data"
'Inicia comunicação com a sonda (PIC16C84)
While PowerOn = True
'Implementa um led piscante
Rdata = Not Rdata
If Rdata = True Then RdataLed.BackColor = &HFF00& Else RdataLed.BackColor = &H0
'Retorna de um erro na comunicação
CE:
'Laço para o cálculo da média
For N = 1 To N_MED
'Se o botão de reset for pressionado, então um byte (A7h) é enviado ao PIC para zerar o contador de
profundidade
If D_Reset = True Then SerialComm.Output = Chr$(167): D_Reset = False
'Envia um byte ao PIC16C84 para o início da conversão (0Ah)
SerialComm.Output = Chr$(10)
'Habilita o Watch Dog Timer. Se os dados não vierem dentro de 1 segundo o sistema
'é reinicializado tentando uma nova comunicação
WdgTimer.Enabled = True
'Aguarda a chegada dos dados enviados pelo PIC16C84
Do
dummy = DoEvents()
Loop Until SerialComm.InBufferCount >= 20
'Desabilita Watch Dog Timer
WdgTimer.Enabled = False
Messages.Text = "receiving data"
'Lê o buffer da porta serial, esvaziando-o
DataBlock = SerialComm.Input
'Agrupa numa palavra de 16bits os dois bytes enviados pelo PIC e verifica o byte XOR
'Converte todos os valores recebidos para a faixa de 0 a 100%
For i = 0 To 4
If (Asc(Mid(DataBlock, 1 + 3 * i, 1)) Xor Asc(Mid(DataBlock, 2 + 3 * i, 1))) = Asc(Mid(DataBlock, 3 + 3 *
i, 1)) Then
Vtemp(i) = (32! * (Asc(Mid(DataBlock, 1 + 3 * i, 1)) - 128) + (Asc(Mid(DataBlock, 2 + 3 * i, 1)) / 8)) /
4096 * 100
AVERG(i) = AVERG(i) + Vtemp(i)
Else
GoTo CE 'Se ocorrer erro, reinicializa comunicação
End If
Next i
Next N
'Calcula a média dos valores
For i = 0 To 4
V(i) = AVERG(i) / N_MED
AVERG(i) = 0
Next i

```

```

'Extrai o valor da profundidade
V(5) = 255# * Asc(Mid(DataBlock, 16, 1)) + Asc(Mid(DataBlock, 17, 1))
V(5) = V(5) / 65280 * 100
'Extrai a escala do Condutivímetro
Cond_Scale = Asc(Mid(DataBlock, 19, 1))
'Extrai a escala do Turbidímetro
Turb_Scale = Asc(Mid(DataBlock, 20, 1))
'Mostra o valor da temperatura
TEMP = 4.096 * V(0)
STEMP = Format$(TEMP, "0.0")
Gauge_Temp.Value = TEMP * 10
Digi_Temp.Caption = STEMP & " C"
PH_CAL_WINDOW.Temp_PH_Ref.Text = STEMP & " C" 'mostra o valor da temperatura do buffer
'Mostra o valor do pH
If PH_CAL1 = 1 And PH_CAL2 = 1 Then
    CTEMP = (TEMP - (TPH1 + TPH2) / 2) * .1259
    MR = (VPH1 - VPH2) / (PH1 - PH2)
    PH = (V(1) - (7 - PH1) * MR - VPH1) / (CTEMP + MR) + 7
ElseIf PH_CAL1 = 1 Then
    MR = 3.448 + .01259 * TEMP
    PH = (V(1) - (3.448 + .01259 * TPH1) * (7 - PH1) - VPH1) / MR + 7
Else
    PH = (V(1) - 32.61) / (3.448 + .01259 * TEMP) + 7
End If
SPH = Format$(PH, "0.00")
Gauge_pH.Value = PH * 100 'Ajuste da escala
Digi_pH.Caption = SPH
'Mostra o valor da concentração de oxigênio dissolvido
TDO = (TDO100 + TDO0) / 2
If TDO < 17.5 Then
    SOLUB = .0063 * TDO * TDO - .3875 * TDO + 14.158
Else
    SOLUB = -3.2192 * Log(TDO) + 18.478
End If
SOLUB = (Pressure / 760) * SOLUB
If DO_CAL0 = 1 And DO_CAL100 = 1 Then
    MR = 100 / (VDO100 - VDO0)
    OX = MR * (V(2) - VDO0)
    Conc_OX = OX * SOLUB / 100
    SOX = Format$(Conc_OX, "0.00")
    Gauge_O2.Value = Conc_OX * 100
    Digi_O2.Caption = SOX & " mg/l"
Else
    OX = V(2)
    SOX = Format$(OX, "0.00")
    Gauge_O2.Value = OX * 100
    Digi_O2.Caption = SOX & " mg/l"
End If
'Mostra o valor da turbidez
Select Case Turb_Scale
Case 0
    TU = -.00002 * V(3) ^ 4 + .0084 * V(3) ^ 3 - .2841 * V(3) ^ 2 + 8.8719 * V(3) + .0636
    STU = Format$(TU, "0")
    Gauge_Turb2.Value = TU
    Gauge_Turb2.Visible = True
    Gauge_Turb1.Visible = False
Case 1
    TU = -.00008 * V(3) ^ 3 + .0108 * V(3) ^ 2 + .2292 * V(3)
    STU = Format$(TU, "0.0")

```

```

    Gauge_Turb1.Value = TU * 10
    Gauge_Turb2.Visible = False
    Gauge_Turb1.Visible = True
End Select
Digi_Turb.Caption = STU & " NTU"
'Mostra o valor da condutância específica
Select Case Cond_Scale
Case 0
    COND = V(4) * .734 - .7    'Ajuste de off-set e ganho
    SCOND = Format$(COND, "0.0")
    Gauge_Con0.Value = COND * 10
    Gauge_Con0.Visible = True
    Gauge_Con1.Visible = False
    Gauge_Con2.Visible = False
    Digi_Condu0.Caption = SCOND & " uS/cm"
Case 1
    COND = (V(4) - .0001) * 8.85    'Ajuste de off-set e ganho
    SCOND = Format$(COND, "0.0")
    Gauge_Con1.Value = COND
    Gauge_Con0.Visible = False
    Gauge_Con1.Visible = True
    Gauge_Con2.Visible = False
    Digi_Condu1.Caption = SCOND & " uS/cm"
Case 2
    COND = V(4) * .08771    'Ajuste de off-set e ganho
    SCOND = Format$(COND, "0.00")
    Gauge_Con2.Value = COND * 100
    Gauge_Con0.Visible = False
    Gauge_Con1.Visible = False
    Gauge_Con2.Visible = True
    Digi_Condu2.Caption = SCOND & " mS/cm"
End Select
'Mostra a profundidade
PROF = V(5)
SPROF = Format$(PROF, "0")
Depth.Text = SPROF
'Mostra a data e a hora
STIME = Time$
SDATE = Date$
DispTime = STIME
DispDate = SDATE
'Inicia a gravação dos dados adquiridos
If ACQUISITION = "Auto" Then Acquisition_Timer.Enabled = True Else Acquisition_Timer.Enabled = False
dummy = DoEvents()
Wend
'Termina a gravação dos dados adquiridos
Acquisition_Timer.Enabled = False
'Fecha porta serial
If SerialComm.PortOpen = True Then SerialComm.PortOpen = False
GoTo NoError
Erro:
CommError = "Communication failure. Check if the selected Comm number matches the hardware connection"
CalError = "Calibration failure. Runs Calibration again."
Select Case Err
Case 68    'Device unavailable, causado por erro na comunicação
    MsgBox CommError, 16
Case 6    'Overflow, causado principalmente por erro na calibração
    MsgBox CalError, 16
Case 11    'Division by zero, causado principalmente por erro na calibração

```

```

        MsgBox CalError, 16
    End Select
    PowerOn = False
    PowerLight.BackColor = &HC0C0C0
Resume NoError
NoError:
End Sub

```

D1.6 Rotina de Inicialização (Form)

```

Sub Form_Load ()
On Error GoTo Erro3
'Rotinas de Inicialização
    PHWINDOW = "Closed"
    DOWINDOW = "Closed"
    Static CF_Menu(10), CAL_Var_Sub(19) As String
    Acqu_Frequency = 2 'Seta intervalo default como sendo 2 seg
    PowerOn = False 'Inicializa o botão de On/Off
    TB = Chr$(9)
'Inicialização
    STEMP = "0"
    SPH = "0"
    STU = "0"
    SCOND = "0"
    SOX = "0"
    SPROF = "0"
    STIME = "0"
    SDATE = "0"
    AC_Num = 0
    Pressure = 760
'Se o usuário não dá um nome ao arquivo de aquisição de dados, então os dados são gravados num arquivo de
nome NONAME.DAT
    DAF_Name = CurDir$ & "\NONAME.dat"
    AcquFileName.Text = DAF_Name 'Mostra o nome do arquivo de aquisição
'Escreve o cabeçalho on arquivo
    Open DAF_Name For Output As #1
        Print #1, "Temp(C)" & TB & "pH" & TB & "O2(%)" & TB & "Tu(NTU)" & TB & "Cdt(uS)" & TB & "Prof(m)" &
TB & "Hora" & TB & "Data"
    Close
'Abre o arquivo de configuração (Config.dat)
    Open CurDir$ & "\Cfg.dat" For Input As #1 'Carrega a última configuração do programa
    Config = Input$(LOF(1), #1)
    Close #1
'Lê a string Config e a separa em substrings relacionadas com a configuração do menu do programa
    j = 1
    k = 1
    i = 1
    Do
        i = InStr(k, Config, " ")
        CF_Menu(j) = Mid$(Config, k, i - k)
        j = j + 1
        k = i + 1
    Loop Until CF_Menu(j - 1) = "EOF"
'Faz a atribuição das variáveis do Menu e dos arquivos
    CALF_Name = CF_Menu(1)
    ACQUISITION = CF_Menu(2)
    COMM_PORT = Val(CF_Menu(3))
    PH_TEMP_CORR = CF_Menu(4)

```

```

COND_TEMP_CORR = CF_Menu(5)
'Restaura a última configuração do Menu
Select Case ACQUISITION
Case "Manual"
    Call Manual_A_Click
Case "Auto"
    Call Automatic_A_Click
End Select
Select Case COMM_PORT
Case 1
    Call Comm1_Click
Case 2
    Call Comm2_Click
Case 3
    Call Comm3_Click
Case 4
    Call Comm4_Click
End Select
If PH_TEMP_CORR = "On" Then pH_TC.Checked = True Else pH_TC.Checked = False
If COND_TEMP_CORR = "On" Then Condutivimeter_TC.Checked = True Else Condutivimeter_TC.Checked =
False
'Inicializa as variáveis de calibração com o último arquivo de calibração utilizado
Open CALF_Name For Input As #1
    CAL_VAR = Input$(LOF(1), #1)
Close #1
CalFileName.Text = CALF_Name 'Mostra o nome do arquivo de calibração
'Lê a string CAL_VAR e a separa em substrings relacionadas com a configuração do menu do programa
j = 1
k = 1
i = 1
Do
    i = InStr(k, CAL_VAR, " ")
    CAL_Var_Sub(j) = Mid$(CAL_VAR, k, i - k)
    j = j + 1
    k = i + 1
Loop Until CAL_Var_Sub(j - 1) = "EOF"
'Faz a atribuição das variáveis de calibração
PH_CAL1 = Val(CAL_Var_Sub(1))
PH_CAL2 = Val(CAL_Var_Sub(2))
VPH1 = Val(CAL_Var_Sub(3))
PH1 = Val(CAL_Var_Sub(4))
TPH1 = Val(CAL_Var_Sub(5))
VPH2 = Val(CAL_Var_Sub(6))
PH2 = Val(CAL_Var_Sub(7))
TPH2 = Val(CAL_Var_Sub(8))
VTU1 = Val(CAL_Var_Sub(9))
TU1 = Val(CAL_Var_Sub(10))
VTU2 = Val(CAL_Var_Sub(11))
TU2 = Val(CAL_Var_Sub(12))
DO_CAL0 = Val(CAL_Var_Sub(13))
DO_CAL100 = Val(CAL_Var_Sub(14))
VDO0 = Val(CAL_Var_Sub(15))
VDO100 = Val(CAL_Var_Sub(16))
TDO0 = Val(CAL_Var_Sub(17))
TDO100 = Val(CAL_Var_Sub(18))
'Mostra o modo de calibração do medidor de pH: uncal, 1pt or 2pt
If PH_CAL1 = 1 And PH_CAL2 = 1 Then
    pH_Status.Text = "Calibrated by 2pt"
Elseif PH_CAL1 = 1 Then

```

```

    pH_Status.Text = "Calibrated by 1pt"
    Else
    pH_Status.Text = "Uncalibrated"
    End If
'Mostra o modo de calibração do medidor de DO: uncal, calibrated
If DO_CAL0 = 1 And DO_CAL100 = 1 Then
    DO_Status.Text = "Calibrated"
    Else
    DO_Status.Text = "Uncalibrated"
    End If
    Press_Status = "P=" & Pressure & "mmHg"
GoTo NoError3
Erro3:
    FE = "First time running. Before exiting give a name to the Calibration File and save it"
    Select Case Err
        Case 53, 57, 71, 76, 52 'Erro de arquivo
            MsgBox FE, 48
        End Select
    CALF_Name = ""
Resume NoError3
NoError3:
    Startup.Present_Timer.Enabled = True
End Sub

```

D1.7 Timer da Aquisição de Dados

```

Sub Acquisition_Timer_Timer ()
    AC_Num = AC_Num + 1    'conta o número de aquisições feitas
    Acquisition_Num.Text = AC_Num
    TB = Chr$(9)
'Constrói uma string que contem todos os valores atuais
    DA_Var = STMP & TB & SPH & TB & SOX & TB & STU & TB & SCOND & TB & SPROF & TB & STIME & TB
    & SDATE & TB
'Grava em disco o grupo de dados atual
    Open DAF_Name For Append As #1
    Print #1, DA_Var
    Close
'Adiciona o novo grupo de valores na janela de visualização dos dados (DataView)
    DataView.DataTextCur.Text = DataView.DataTextCur.Text & DA_Var & Chr$(13) & Chr$(10)
End Sub

```

D1.8 Timer do WatchDogTimer

```

Sub WdgTimer_Timer ()
    Static toggle As Integer
'Muda o led piscante para um led com cor vermelha contínua
    RdataLed.BackColor = &HFF
'Alterna as mensagens de status
    toggle = Not toggle
    Select Case toggle
        Case True
            Messages.Text = "Communication Error."
        Case False
            Messages.Text = "Trying to recover..."
    End Select
'Trata erros

```

```

    On Error GoTo Erro2
'Esvazia o buffer da porta serial
    Lixo = SerialComm.Input
'Envia ao PIC16C84 um outro byte
    SerialComm.Output = Chr$(10)
GoTo NoError2
Erro2:
    CommError = "Communication failure. Check if the selected Comm number matches the hardware connection"
    CalError = "Calibration failure. Runs Calibration again."
Select Case Err
    Case 68 'Device unavailable, causado por erros na comunicação
        MsgBox CommError, 16
    Case 6 'Overflow, causado principalmente por erro na calibração
        MsgBox CalError, 16
    Case 11 'Division by zero, causado principalmente por erro na calibração
        MsgBox CalError, 16
End Select
PowerOn = False
PowerLight.BackColor = &HC0C0C0
WdgTimer.Enabled = False
Resume Next
NoError2:
End Sub

```

D2. Sub-Rotinas da Janela para Manipulação de Arquivos (FILES)

D2.1 Comando “Ok”

```

Sub Command1_Click ()
'Trata erro
    On Error GoTo Erro
'Define o caracter TAB
    TB = Chr$(9)
'Põe um "\" se o caminho não tem
    If Dir1.Path = "c:\" Then
        File_Name.Text = Dir1.Path + File_Name.Text
    Else
        File_Name.Text = Dir1.Path + "\" + File_Name.Text
    End If
'Seleciona a variável para receber o nome do arquivo e grava os parâmetros da calibração
    Select Case Files.Caption
        Case "New Acquisition Data File"
            N_ADF 'Chama sub-rotina
        Case "Open Acquisition Data File"
            O_ADF 'Chama sub-rotina
        Case "Open Calibration File"
            O_CF 'Chama sub-rotina
        Case "Save Calibration File"
            S_CF 'Chama sub-rotina
    End Select
    Files.Hide 'Esconde a janela de arquivos (Files)
    Main.AcquFileName.Text = DAF_Name 'Mostra o nome do arquivo de dados
GoTo NoError
Erro:
    FNF = "File not found"
    IO = "I/O error. Try Again"
    DNR = "Disk not ready"

```



```

PNF = "Path not found"
BFN = "Bad file name"
Select Case Err
    Case 53 'File Not Found
        MsgBox FNF, 16
    Case 57 'I/O error
        MsgBox IO, 16
    Case 71 'Disk not ready
        MsgBox DNR, 16
    Case 76 'Path not found
        MsgBox PNF, 16
    Case 52 'Bad file name'
        MsgBox BFN, 16
End Select
Call Command2_Click 'Cancela
Resume NoError
NoError:
End Sub

```

D2.2 Sub-Rotinas Auxiliares

D2.2.1 New Acquisition Data File

```

Sub N_ADF ()
    Static DA_File As String
    DAF_Name = File_Name.Text
    'Procura a extensão ".dat". Se não há, uma é colocada.
    If InStr(1, DAF_Name, ".") = 0 Then DAF_Name = DAF_Name & ".dat"
    AC_Num = 0 'Zera o número de aquisições feitas
    Main.Acquisition_Num.Text = AC_Num 'Atualiza a janela de status
    'Escreve o cabeçalho
    Open DAF_Name For Output As #1
    Print #1, "Temp(C)" & TB & "pH" & TB & "O2(%)" & TB & "Tu(NTU)" & TB & "Cdt(uS)" & TB &
    "Prof(m)" & TB & "Hora" & TB & "Data"
    Close
    Main.Enabled = True 'Habilita o controle na janela principal
    Main.SetFocus
    DataView.Enabled = True
End Sub

```

D2.2.2 Open Acquisition Data File

```

Sub O_ADF ()
    Static DA_File As String
    DAF_Name_Load = File_Name.Text
    Open DAF_Name_Load For Input As #1
    DA_File = Input$(LOF(1), #1)
    Close #1
    DataView.DataTextFile.Text = DA_File 'Mostra todo o arquivo carregado
    DataView.DataTextFile.Visible = True
    Main.Enabled = True 'Habilita controle na janela principal
    DataView.Enabled = True 'Habilita controle na janela de visualização dos dados (DataView)
    DataView.SetFocus
    DataView.FileData.Value = True
    DataView.Caption = "Data View - " & DAF_Name_Load

```

End Sub

D2.2.3 Open Calibration File

```
Sub O_CF ()
    Static CAL_Var_Sub(19) As String
    CALF_Name = File_Name.Text
    Open CALF_Name For Input As #1
    CAL_Var = Input$(LOF(1), #1)
    Close #1
    Main.CalFileName.Text = CALF_Name 'Mostra o nome do arquivo de calibração
    'Lê a string CAL_Var e a separa criando as substrings relacionadas à última configuração do menu
    j = 1
    k = 1
    i = 1
    Do
        i = InStr(k, CAL_Var, " ")
        CAL_Var_Sub(j) = Mid$(CAL_Var, k, i - k)
        j = j + 1
        k = i + 1
    Loop Until CAL_Var_Sub(j - 1) = "EOF"
    'Faz a atribuição das variáveis de calibração
    PH_CAL1 = Val(CAL_Var_Sub(1))
    PH_CAL2 = Val(CAL_Var_Sub(2))
    VPH1 = Val(CAL_Var_Sub(3))
    PH1 = Val(CAL_Var_Sub(4))
    TPH1 = Val(CAL_Var_Sub(5))
    VPH2 = Val(CAL_Var_Sub(6))
    PH2 = Val(CAL_Var_Sub(7))
    TPH2 = Val(CAL_Var_Sub(8))
    VTU1 = Val(CAL_Var_Sub(9))
    TU1 = Val(CAL_Var_Sub(10))
    VTU2 = Val(CAL_Var_Sub(11))
    TU2 = Val(CAL_Var_Sub(12))
    DO_CAL0 = Val(CAL_Var_Sub(13))
    DO_CAL100 = Val(CAL_Var_Sub(14))
    VDO0 = Val(CAL_Var_Sub(15))
    VDO100 = Val(CAL_Var_Sub(16))
    TDO0 = Val(CAL_Var_Sub(17))
    TDO100 = Val(CAL_Var_Sub(18))
    Main.Enabled = True 'Habilita controle na janela principal (Main)
    DataView.Enabled = True
    Main.SetFocus
Sub
```

D2.2.4 Save Calibration File

```
Sub S_CF ()
    CALF_Name = File_Name.Text
    'Procura pela extensão ".cal". Se não há, uma é colocada.
    If InStr(1, CALF_Name, ".") = 0 Then CALF_Name = CALF_Name & ".cal"
    'Faz a concatenação da variável CAL_Var, juntando todas as variáveis de calibração
    CAL_Var = PH_CAL1 & Space(1) & PH_CAL2 & Space(1) & VPH1 & Space(1) & PH1 & Space(1) &
    TPH1 & Space(1) & VPH2 & Space(1) & PH2 & Space(1) & TPH2 & Space(1) & VTU1 & Space(1) & TU1 &
```

```

Space(1) & VTU2 & Space(1) & TU2 & Space(1) & DO_CAL0 & Space(1) & DO_CAL100 & Space(1) & VDO0 &
Space(1) & VDO100 & Space(1) & TDO0 & Space(1) & TDO100 & Space(1) & "EOF" & Space(1)
    Open CALF_Name For Output As #1
    Print #1, CAL_Var
    Close
    Main.CalFileName.Text = CALF_Name 'Mostra o nome do arquivo de calibração
    Main.Enabled = True 'Habilita controle na janela principal (Main)
    DataView.Enabled = True
    Main.SetFocus
Sub

```

D2.2.5 Código dos objetos restantes

```

Sub Command2_Click ()
    Files.Hide
    Main.Enabled = True
    DataView.Enabled = True
    Main.SetFocus
Sub

Sub Dir1_Change ()
    File1.Path = Dir1.Path 'Atribui o caminho do diretório à lista de arquivo
    Label3.Caption = Dir1.Path 'Mostra o caminho do diretório
Sub

Sub Drive1_Change ()
    Dir1.Path = Drive1.Drive 'Muda o drive na lista de diretório
Sub

Sub Ext_Change ()
    Files.File1.Pattern = Files.Ext.Text 'Muda a extensão dos arquivos mostrados
Sub

Sub File1_Click ()
    File_Name.Text = File1.FileName 'Mostra o nome do arquivo selecionado
Sub

Sub Form_Load ()
    Main.Enabled = False
    DataView.Enabled = False
Sub

```

D3. Sub-Rotinas da Janela de Visualização dos Dados (DATAVIEW)

D3.1 Comando “Load”

```

Sub Command1_Click ()
    Files.Ext.Text = "*.dat"
    Files.File1.Pattern = Files.Ext.Text
    Files.Caption = "Open Acquisition Data File"
    Files.Show
End Sub

```

D3.2 Comando “Print”

```
Sub Command2_Click ()
    Select Case CurData.Value
    Case True
        Printer.Print TextHeader.Text
        Printer.Print DataTextCur.Text
    Case False
        Printer.Print DataTextFile.Text
    End Select
End Sub
```

D3.3 Comando “Cancel”

```
Sub Command3_Click ()
    DataView.Hide
End Sub
```

D3.4 Comando “Current Data”

```
Sub CurData_Click (Value As Integer)
    DataTextCur.Visible = True
    DataTextFile.Visible = False
    DataView.Caption = "Data View - " & DAF_Name
End Sub
```

D3.5 Comando “File Data”

```
Sub FileData_Click (Value As Integer)
    DataTextCur.Visible = False
    DataTextFile.Visible = True
    DataView.Caption = "Data View - " & DAF_Name_Load
End Sub
```

D3.6 Sub-Rotina associada ao carregamento da janela (form Load)

```
Sub Form_Load ()
    DataView.Caption = "Data View - " & DAF_Name
    tb = Chr$(9)
    Header = "Temp(C)" & tb & "pH" & tb & "O2(%)" & tb & "Tu(NTU)" & tb & "Cdt(uS)" & tb & "Prof(m)" & tb &
"Hora" & tb & "Data" & Chr$(13) & Chr$(10)
    TextHeader.Text = Header
    CurData.Value = True
End Sub
```

**D4. Sub-Rotinas da Janela de Calibração do Medidor de pH
(PHCAL)**

D4.1 Comando “Start”

```
Sub Command1_Click ()
    'Verifica se o analisador está ligado
    If PowerOn = False Then
        MsgBox "Turn first the analyzer on", 16
```

```

Else
'Inicia a calibração do padrão selecionado
    Cal_Message.ForeColor = &HFF0000
    Cal_Message = "Wait..."
    Select Case Disp_Buffer.Caption
    Case "Buffer 1"
        Timer1.Enabled = True
    Case "Buffer 2"
        Timer2.Enabled = True
    End Select
End If
End Sub

```

D4.2 Comando “Cancel”

```

Sub Command4_Click ()
'Termina o processo de calibração
    Timer1.Enabled = False
    Timer2.Enabled = False
    Progress_Meter.Value = 0
'Cancela a calibração do padrão selecionado
    Select Case Disp_Buffer.Caption
    Case "Buffer 1"
        PH_CAL1 = 0
        Buffer_Value.Text = 4
        Cal_Message.ForeColor = &HFF
        Cal_Message.Caption = "Buffer 1 calibration canceled"
    Case "Buffer 2"
        PH_CAL2 = 0
        Buffer_Value.Text = 10
        Cal_Message.ForeColor = &HFF
        Cal_Message.Caption = "Buffer 2 calibration canceled"
    End Select
'Atualiza a mensagem de status do pH
    If PH_CAL1 = 1 And PH_CAL2 = 1 Then
        Main.pH_Status.Text = "Calibrated by 2pt"
    ElseIf PH_CAL1 = 1 Then
        Main.pH_Status.Text = "Calibrated by 1pt"
    Else
        Main.pH_Status.Text = "Uncalibrated"
    End If
End Sub

```

D4.3 Timer 1

```

Sub Timer1_Timer ()
    Static LOCAL_VPH, DIF As Single
    Static k As Integer
'Calcula a diferença entre o valor atual do pH e o anterior
    DIF = Abs(LOCAL_VPH - V(1))
    LOCAL_VPH = V(1)
'Cada vez que a diferença é menor que 0.02 o contador k é incrementado
    If DIF < .02 Then k = k + 1
'Quando k=10 o processo de calibração termina
    If k = 10 Then VPH1 = LOCAL_VPH: PH1 = Val(Buffer_Value.Text): Cal_Message.Caption = "1st Point
Calibrated": Timer1.Enabled = False: PH_CAL1 = 1: TPH1 = TEMP: k = 0
    Progress_Meter.Value = k

```

End Sub

D4.4 Timer 2

```
Sub Timer2_Timer ()
    Static LOCAL_VPH, DIF As Single
    Static k As Integer
    'Calcula a diferença entre o valor atual do pH e o anterior
    DIF = Abs(LOCAL_VPH - V(1))
    LOCAL_VPH = V(1)
    'Cada vez que a diferença é menor que 0.02 o contador k é incrementado
    If DIF < .02 Then k = k + 1
    'Quando k=10 o processo de calibração termina
    If k = 10 Then VPH2 = LOCAL_VPH: PH2 = Val(Buffer_Value.Text): Cal_Message.Caption = "2nd Point
    Calibrated": Timer2.Enabled = False: PH_CAL2 = 1: TPH2 = TEMP: k = 0
    Progress_Meter.Value = k
End Sub
```

D4.5 Sub-rotinas dos objetos restantes

```
Sub Buffer_1_Click ()
    Disp_Buffer.Caption = "Buffer 1"
    Buffer_Value.Text = PH1
    Temp_PH_Ref.Text = TPH1
End Sub

Sub Buffer_2_Click ()
    Disp_Buffer.Caption = "Buffer 2"
    Buffer_Value.Text = PH2
    Temp_PH_Ref.Text = TPH2
End Sub

Sub Command3_Click ()
    PH_CAL_WINDOW.Hide
    PHWINDOW = "Closed"
    'Atualiza a mensagem de status do pH
    If PH_CAL1 = 1 And PH_CAL2 = 1 Then
        Main.pH_Status.Text = "Calibrated by 2pt"
    ElseIf PH_CAL1 = 1 Then
        Main.pH_Status.Text = "Calibrated by 1pt"
    Else
        Main.pH_Status.Text = "Uncalibrated"
    End If
End Sub

Sub Form_Load ()
    'Inicializa a janela de calibração com o Buffer 1
    Disp_Buffer = "Buffer 1"
    Buffer_Value.Text = PH1
End Sub
```

D5. Sub-Rotinas da Janela de Calibração do Medidor de Oxigênio

Dissolvido (DOCAL)

D5.1 Comando “Start”

```

Sub Command1_Click ()
'Verifica se o analisador está ligado
If PowerOn = False Then
    MsgBox "Turn first the analyzer on", 16
Else
'inicia a calibração do ponto selecionado
    Cal_Message.ForeColor = &HFF0000
    Cal_Message = "Wait..."
    Select Case Disp_DO.Caption
    Case "0%"
        Timer1.Enabled = True
    Case "100%"
        Timer2.Enabled = True
    End Select
End If
'Mostra a temperatura de referência
Temp_DO_Ref.Text = STEMP
End Sub

```

D5.2 Comando “Cancel”

```

Sub Command4_Click ()
'Paralisa o processo de calibração
Timer1.Enabled = False
Timer2.Enabled = False
Progress_Meter.Value = 0
'Cancela o ponto de calibração selecionado
Select Case Disp_DO.Caption
Case "0%"
    DO_CAL0 = 0
    Cal_Message.ForeColor = &HFF
    Cal_Message.Caption = "0% calibration canceled"
Case "100%"
    DO_CAL100 = 0
    Cal_Message.ForeColor = &HFF
    Cal_Message.Caption = "100% calibration canceled"
End Select
'Atualiza a mensagem de status do medidor de ox. dissol.
If DO_CAL0 = 1 And DO_CAL100 = 1 Then
    Main.DO_Status.Text = "Calibrated"
Else
    Main.DO_Status.Text = "Uncalibrated"
End If
End Sub

```

D4.3 Timer 1

```
Sub Timer1_Timer ()
    Static LOCAL_VDO, DIF As Single
    Static k As Integer
    'Calcula a diferença entre o valor atual da concentração de DO e o anterior
    DIF = Abs(LOCAL_VDO - V(2))
    LOCAL_VDO = V(2)
    'Cada vez que a diferença é menor que 0.02 o contador k é incrementado
    If DIF < .02 Then k = k + 1
    'Quando k=10 o processo de calibração termina
    If k = 10 Then VDO0 = LOCAL_VDO: Cal_Message.Caption = "0% Point Calibrated": Timer1.Enabled = False:
    DO_CAL0 = 1: TDO0 = TEMP: k = 0:
    Progress_Meter.Value = k
End Sub
```

D4.4 Timer 2

```
Sub Timer2_Timer ()
    Static LOCAL_VDO, DIF As Single
    Static k As Integer
    'Calcula a diferença entre o valor atual da concentração de DO e o anterior
    DIF = Abs(LOCAL_VDO - V(2))
    LOCAL_VDO = V(2)
    'Cada vez que a diferença é menor que 0.02 o contador k é incrementado
    If DIF < .02 Then k = k + 1
    'Quando k=10 o processo de calibração termina
    If k = 10 Then VDO100 = LOCAL_VDO: Cal_Message.Caption = "100% Point Calibrated": Timer2.Enabled =
    False: DO_CAL100 = 1: TDO100 = TEMP: k = 0
    Progress_Meter.Value = k
End Sub
```

D4.5 Sub-rotinas dos objetos restantes

```
Sub Command3_Click ()
    DO_CAL_WINDOW.Hide
    DOWINDOW = "Closed"
    'Atualiza a mensagem de status do medidor de oxig. dissol.
    If DO_CAL0 = 1 And DO_CAL100 = 1 Then
        Main.DO_Status.Text = "Calibrated"
    ElseIf PH_CAL1 = 1 Then
        Else
        Main.DO_Status.Text = "Uncalibrated"
    End If
End Sub

Sub Form_Load ()
    'Inicializa a janela de calibração do ox. dis. com o ponto de 0%
    Disp_DO = "0%"
End Sub

Sub Ponto_0_Click ()
    Disp_DO.Caption = "0%"
    Temp_DO_Ref.Text = TDO0
End Sub

Sub Ponto_100_Click ()
```



```

    Disp_DO.Caption = "100%"
    Temp_DO_Ref.Text = TDO100
End Sub

```

```

Sub Ponto_0_Click ()
    Disp_DO.Caption = "0%"
    Temp_DO_Ref.Text = STEMP
End Sub

```

```

Sub Ponto_100_Click ()
    Disp_DO.Caption = "100%"
    Temp_DO_Ref.Text = STEMP
End Sub

```

```

Sub Press_Box_Change ()
    Altitude = Val(Press_Box.Text)
    If Altitude > 0 And Altitude < 5000 Then
        Pressure = -.08 * Altitude + 760
    Else
        End If
    Main.Press_Status = "P=" & Pressure & "mmHg"
End Sub

```

D6. Sub-Rotinas da Janela de Apresentação (STARTUP)

```

Sub Form_Load ()
    Load Main
End Sub

```

```

Sub Present_Timer_Timer ()
    Main.Show
    Present_Timer.Enabled = False
End Sub

```