

**ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE SISTEMAS
ELETRÔNICOS**

PA – PROJETO ATLÂNTIDA

**São Paulo
2011**

PA – PROJETO ATLÂNTIDA

Equipe:

Lucas Gratz	nº USP: 3314920
Patricia Maria de Andrade Tirachi	nº USP: 5693712
Victor Matsumoto Tominaga	nº USP: 5432575

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo como parte dos requisitos para
a obtenção do Diploma de Engenheiro
Elétrico, com Ênfase em Sistemas
Eletrônicos.

Orientador:

Professor Dr. Fernando Josepetti Fonseca

São Paulo
2011

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado aos amigos e familiares dos membros da equipe.

AGRADECIMENTOS

A equipe do projeto agradece à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de Sistemas Eletrônicos e ao Orientador Professor Dr. Fernando Josepetti Fonseca pelo oferecimento da estrutura do Laboratório do Grupo de Eletrônica Molecular.

Agradece a Guilherme de Souza Braga, aluno de Pós-Graduação da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de Sistemas Eletrônicos, pelos inúmeros momentos em que ajudou o grupo com as dúvidas práticas no laboratório além de comparecer às apresentações do Projeto de Formatura com disposição e boa vontade.

Agradece a Adriano dos Santos de Souza, Luis Domingos Medaglia e Silvano Aparecido Bergamo, pela ajuda inestimável com a abertura da sala de projetos, o fornecimento de componentes eletrônicos e as construções para circuitos realizadas quando não se sabia como fazê-las.

Agradece a Ana Maria de Castro Badiali, pela paciência e simpatia ao ensinar os alunos a corrigir a monografia, colaborando assim para uma apresentação e finalização de boa qualidade do projeto por eles realizado.

Agradece a Ana Roberta Alcântara pelo apoio e dedicação ao longo do projeto.

Agradece a Daniel José de Andrade Tirachi por ceder o aquário que serviu de base para os testes e calibrações do projeto.

RESUMO

O projeto Atlântida baseia-se na construção de um sistema de controle e atuação automático do pH da água de um aquário. Inicialmente, estudou-se o sistema no qual é focado o projeto e seus principais fatores críticos variáveis, como o potencial hidrogeniônico, o nível de amônia e de oxigenação da água. O trabalho conta com três módulos, sendo o primeiro o sensor responsável pela medida do potencial hidrogeniônico da água, o segundo o circuito controlador que recebe dados do sensor e calcula os próximos passos para a regulação do pH, e a terceira parte composta pelo circuito de atuação que altera diretamente a basicidade ou a acidez da água de acordo com a necessidade do sistema. Ao final de cada etapa de construção, foram inseridos testes e análises dos resultados coletados, evidenciando a viabilidade da execução do projeto.

Palavras-Chave: Sistemas Eletrônicos. Atuador. Aquário. Potencial Hidrogeniônico.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo do nitrogênio [2]

Figura 2 - Polianilina – PANI [5]

Figura 3 – Curva de comportamento de polímeros, entre eles, PANI e POMA [5]

Figura 4 – Esquema simplificado do circuito controlador, com foco na conversão A/D dos sinais.

Figura 5 – Diagrama de Blocos Conversor A/D – Atmega8535 [6]

Figura 6 – Bomba Peristáltica

Figura 7 - Microeletrodo com geometria de 50 dígitos

Figura 8 - Robô utilizado para automontagem

Figura 9 - Robô de testes

Figura 10 – Suporte com os sensores a serem testados, recobertos com PANI

Figura 11 - Laboratório do GEM

Figura 12 – Esquemático do Circuito Completo

Figura 13 – Subrotina de inicialização do Conversor A/D e do microcontrolador para a leitura dos dados analógicos [7]

Figura 14 – Subrotina de conversão de dados, com a descarga e a carga do capacitor de conversão [7]

Figura 15 – Subrotina de finalização e ajuste do resultado da conversão A/D [7]

Figura 16 – Diagrama de blocos Circuito de Malha Fechada $\rightarrow G(s)$ é a função de transferência do sistema

Figura 17 – Gráfico do comportamento dos *buffers* ácido e básico

Figura 18 – Esquema Evidenciando a Pinagem do Circuito Final

Figura 19 - Gráfico de Impacto x Probabilidade para Análise de Risco do Projeto

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Quadro 1 – Pinagem Conversor A/D Microcontrolador ATmega 8535 [6]

Tabela 1 – Parâmetros dos 5 sensores em teste preliminar

Tabela 2 – Parâmetros dos 4 sensores em teste final

Tabela 3 – Componentes e Valores dos materiais utilizados em um Sensor. [8]

Tabela 4 – Componentes e Valores materiais utilizados no Circuito Controlador. [8]

Tabela 5 – Componentes e Valores dos materiais utilizados no Circuito Atuador. [8]

Tabela 6 – Pesos comparativos de cada quesito

Tabela 7 – Matriz os pesos normalizada

Tabela 8 – Peso de cada critério de avaliação

Tabela 9 – Nota atribuída para cada projeto

Tabela 10 – Matriz normalizada das notas

Tabela 11 – Multiplicação Matrizes (I) e (II)

LISTA DE ABREVIATURAS

pH	potencial Hidrogeniônico
A/D	Analógico/Digital
EEPROM	Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory
gH	general Hardness
kH	carbonate Hardness
PANI	polianilina
POMA	poli o-Metoxianilina
AHP	Analytic Hierarchy Process

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Contextualização e Motivação	12
1.2 Objetivos	13
1.3 Organização do Trabalho	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 Considerações Iniciais	15
2.2 O pH no Aquário e Outros Fatores Críticos	15
2.3 Sensor de Polímeros Condutores	19
2.4 Central de Controle	20
2.5 Sistema de Atuação	23
2.6 Considerações Finais	24
3 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	26
3.1 Considerações Iniciais	26
3.2 Projeto	26
3.3 Descrições das Atividades Realizadas	27
3.4. Resultados	37
3.5 Dificuldades e Limitações	43
3.6 Considerações Finais	44
4 CRONOGRAMA	46
5 ORÇAMENTO	46
5.1 Sensor de pH	47
5.2 Circuito Controlador	48
5.3 Circuito Atuador	49
5.4 Orçamento Total	49

6 ANÁLISE DE RISCO	50
<i>6.1 Matriz AHP para Decisão do Projeto</i>	<i>50</i>
<i>6.2 Riscos e impactos</i>	<i>54</i>
7 GERENCIAMENTO DO PROJETO	57
8 CONCLUSÃO	58
<i>8.1 Resultados e Contribuições/Inovações Esperadas</i>	<i>58</i>
REFERÊNCIAS	61
<i>APÊNDICE A – Cronograma das atividades (Microsoft Project)</i>	<i>64</i>
<i>APÊNDICE B – Gráficos para Testes de 1 hora</i>	<i>65</i>
<i>APÊNDICE C – Gráficos para os Sensores de 50 Dígitos / 20 Bicamadas (Teste Final)</i>	<i>69</i>
<i>APÊNDICE D – Gráficos de Histerese (Teste Final)</i>	<i>73</i>
<i>APÊNDICE E – Código em Linguagem C</i>	<i>74</i>
<i>APÊNDICE F – Esquemático do Circuito Controlador e Atuador Final, no Eagle</i>	<i>81</i>
<i>APÊNDICE G – Fluxograma do Microcontrolador</i>	<i>82</i>

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização e Motivação

O trabalho se baseia nos estudos sobre a capacidade dos polímeros condutores montados sobre microeletrodos interdigitados, em diferenciar e identificar características químicas de substâncias como a água, o leite ou a gasolina. O projeto, em particular, utiliza esta tecnologia para a produção de sensores específicos, com o intuito de medir o nível de pH a partir da variação da sua resistência.

O projeto também envolve o uso de um microcontrolador, que é o responsável pela aquisição e processamento dos dados, definindo a partir destes, o nível de atuação do sistema, a fim de manter a água na faixa ideal de pH (entre 5,5 e 8,5). O microcontrolador, ou processador de propósito geral, é peça central em um sistema embarcado, auxiliando na automatização e execução do processo no qual está inserido. Seus componentes periféricos, como, por exemplo, memórias EEPROM ou *flash*, conversores A/D ou *timers*, possibilitam o desenvolvimento de inúmeros sistemas de uso específico (automação residencial, receptores de TV digital, controle eletrônico do combustível, etc.). Para o trabalho realizado, utilizou-se o conversor A/D para interpretar as medidas de resistência vindas do sensor de pH.

O problema solucionado é intrínseco a qualquer usuário que queira se iniciar no universo do aquarismo. O nível de pH é apenas um dos fatores críticos a serem monitorados e controlados no sistema fechado de um aquário. Pode-se citar também a concentração de amônia, nitritos e nitratos (ciclo do nitrogênio), a temperatura e oxigenação da água, a concentração de carbonatos (dureza da água).

Normalmente, o controle do pH é feito de forma manual pelo usuário, a partir do acréscimo de *buffers* alcalinos ou acidificantes na água, em proporção adequada ao volume do aquário. A motivação deste projeto se deve ao fato de que os produtos similares existentes no mercado para a regulação automática do pH precisam ser importados, elevando ainda mais o seu custo de aquisição.

O desenvolvimento de um produto que automatize o processo de regulação do pH e possua um custo compatível com o mercado nacional possui um grande potencial de sucesso, uma vez que outros produtos mais simples, como por exemplo, um alimentador automático de peixes, são bastante desejados por aquaristas em lojas especializadas.

A realização do projeto pode servir adicionalmente, de motivação e pesquisa na área de polímeros condutores, para a fabricação de outros sensores específicos que acrescentem funcionalidades ao sistema do aquário, como por exemplo, um sensor que meça a oxigenação da água, ou a concentração de amônia, nitritos e nitratos.

1.2 Objetivos

O objetivo geral do projeto é a construção de um sistema automático de controle do nível de pH de um aquário de água doce, mantendo-o entre os níveis 5,5 a 8,5.

Este envolve a construção e caracterização de um sensor de pH, feito de polímeros condutores, bem como o desenvolvimento de uma central microprocessada e um sistema de atuação para a regulação desta variável, composta por *buffers* ácidos e alcalinos.

A seguir, são elencadas algumas metas a atingidas com o desenvolvimento do projeto:

- Caracterização do sensor de pH, feito de polímeros condutores, na faixa de 5,5 até 8,5 (ideal para a maioria dos peixes de água doce). Análise da estabilidade do sensor para intervalos de tempo de até 60 minutos e análise do comportamento deste quando o pH do líquido medido aumenta ou diminui.
- Desenvolvimento da central de recebimento e processamento de dados, em microcontrolador Atmel. Sendo esta central responsável pela aquisição das medidas de resistência ($k\Omega$) do sensor e conversão digital destes dados de entrada. Geração do sinal de controle para o atuador de acordo com o valor medido do pH. Definição do nível de atuação, baseado no volume de água do aquário onde será inserido o sistema.
- Desenvolvimento do sistema de atuação do pH, com dispositivos responsáveis pela deposição de soluções que alteram a acidez ou basicidade do sistema. Realização de testes para estimar a capacidade e o nível de mudança do pH, por meio dos *buffers* acidificante (ácido o-fosfórico) e alcalino (carbonato de sódio) adotados.

1.3 Organização do Trabalho

No **Capítulo 2 (REFERENCIAL TEÓRICO)**, são apresentados os conceitos e referências teóricas baseadas em referências bibliográficas, utilizadas para o projeto e necessárias para o seu entendimento.

No **Capítulo 3 (DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO)**, são detalhados os recursos e técnicas utilizados ao longo do desenvolvimento de cada módulo do projeto, contendo a descrição das atividades realizadas e os resultados esperados e obtidos em cada frente. Uma análise crítica da abordagem também é apresentada, apontando as dificuldades e limitações encontradas no projeto.

No **Capítulo 4 (CRONOGRAMA)**, são apresentadas as atividades realizadas no Primeiro Semestre de 2011 (PSI2591) e no Segundo Semestre de 2011 (PSI2594), ao longo do planejamento de cada etapa de execução e implementação do dispositivo.

No **Capítulo 5 (ORÇAMENTO)**, são apresentados os custos para a execução do projeto, desde o preço dos insumos envolvidos até o preço dos subsistemas.

No **Capítulo 6 (ANÁLISE DE RISCO)**, são apresentados os pontos onde foram encontradas dificuldades no projeto, além da descrição da infra-estrutura utilizada durante sua realização (laboratórios e salas).

No **Capítulo 7 (GERENCIAMENTO DE PROJETO)**, é analisada a evolução na execução das tarefas e as estratégias tomadas para dividi-las de acordo com os problemas e dificuldades enfrentados ao longo do trabalho desempenhado.

No **Capítulo 8 (CONCLUSÃO)**, são feitas discussões sobre os resultados obtidos, e um balanço final é realizado, analisando-se os pontos positivos além pontos que podiam ser reforçados quando da execução do projeto.

Ao final, será apresentada a listagem de **REFERÊNCIAS** utilizadas como base para o desenvolvimento do projeto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Considerações Iniciais

O capítulo a seguir reúne os conceitos necessários ao entendimento do Projeto Atlântida, abordando tanto o problema escolhido quanto as soluções propostas diante deste problema.

Três grandes temas surgem quando da pesquisa literária feita em relação ao projeto. Primeiramente tem-se a análise do sistema em estudo, o aquário. Sabendo-se as interações dentro do sistema, podem-se determinar seus fatores mais críticos e focar na solução de tais problemas.

Após a análise do sistema, concluiu-se que para solucionar o desequilíbrio de parâmetros internos a este é fundamental analisá-lo com o uso de bons sensores medidores de pH.

Por final, seguindo uma clara linha de raciocínio, iniciou-se a pesquisa do circuito controlador que receberia as medidas dos sensores e as manipularia, atuando no circuito e mantendo o pH próximo do valor de controle desejado pelo usuário do dispositivo. Neste capítulo, as referências bibliográficas são adicionalmente citadas.

2.2 O pH no Aquário e Outros Fatores Críticos

2.2.1 O pH no Aquário

O pH (potencial hidrogeniônico) é uma escala logarítmica de 0 a 14, que avalia o grau de acidez (quantidade de íons H^+) ou basicidade (quantidade de íons OH^-) de uma solução. Um pH menor que 7 indica acidez na solução (maior concentração de íons H^+ em relação aos íons OH^-) e um maior que 7 indica uma solução básica ou alcalina. O nível 7 marca igual concentração de íons H^+ e OH^- , representando a neutralidade da solução.

Para usuários que possuem um aquário, a regulação do pH, mantendo-o em uma faixa natural para os peixes nem sempre é uma tarefa fácil. Depende-se muito da água da torneira das casas, que raramente possui o pH adequado (faixa entre 5,5 e 8,5, para a maioria dos peixes de água doce).

O fato de o aquário ser um sistema fechado apresenta outro problema para a regulação do pH. Diversas reações químicas acontecem em seu interior, contribuindo para com a variação

da concentração dos íons. A água do aquário tende a se tornar ácida, devido aos ácidos fortes (como o ácido nítrico) formados no final do ciclo do nitrogênio. A presença de troncos, por sua vez, libera ácidos fracos, diminuindo o pH em menor intensidade, e materiais como a turfa ou folhas de tamarindo também diminuem o pH, pois abrandam a dureza da água.

Por outro lado, rochas calcárias aumentam a concentração de íons hidroxila (OH^-), fazendo subir o pH do aquário e minérios como o cálcio e o magnésio liberam íons metálicos dissolvidos na água, aumentando a sua dureza (reserva alcalina) e, conseqüentemente, a estabilidade do pH da água do aquário.

Geralmente, a correção do pH é feita por meio de buffers acidificantes (ácido o-fosfórico) ou alcalinizantes (carbonato de sódio), que podem ser encontrados em lojas de aquarismo. O eventual borbulhamento de CO_2 (gás carbônico) na água também produz ácidos fracos (ácido carbônico), que contribui para a diminuição do pH, adicionalmente, um exemplo de solução caseira para o aumento do pH é a dissolução de bicarbonato de sódio em água quente, produzindo uma mistura saturada deste sal [1].

2.2.2 O Ciclo do Nitrogênio

A decomposição dos restos de alimentos e dejetos dos peixes, inevitavelmente presentes no aquário, tem como resultados o composto amônia (NH_3), pois as aminas (NH_2^-) das proteínas se combinam com os átomos de hidrogênio da água, ao sofrer uma reação química. A amônia é bastante nociva para os peixes e, em altas concentrações, pode causar asfixia ou envenenamento.

A diminuição dos níveis deste composto na água ocorre devido às Nitrosomonas, bactérias aeróbicas que transformam amônia em nitrito (NO_2^-) e utilizam a energia liberada desta reação em seu metabolismo. O nitrito também é bastante prejudicial para os peixes, sendo consumido por outro tipo de bactéria aeróbica, a Nitrobacter. O resultado da oxidação do nitrito é o nitrato (NO_3^-), menos nocivo do que os produtos das reações químicas citados anteriormente (amônia e nitrito), mas este também deve ser eliminado. Na etapa final do ciclo do nitrogênio, há a liberação de íons H^+ , que contribuem para a diminuição do pH da água.

A Figura 1 mostra as curvas presentes no ciclo do nitrogênio. Este período enquanto as reações ocorrem é chamado de ciclagem. O tempo do ciclo depende de diversos fatores como temperatura, tipo de substrato, teor de oxigênio e pH. Os usuário de aquários monitoram os estes três elementos e realizam uma troca parcial de água (troca de 30 a 40% do volume de

água do aquário) quando os níveis de amônia e nitrito atingem o valor nulo da escala. A partir deste momento, o aquário pode receber seus primeiros habitantes.

As plantas também auxiliam na diminuição dos níveis de nitrato, pois os consomem em seu metabolismo [2].

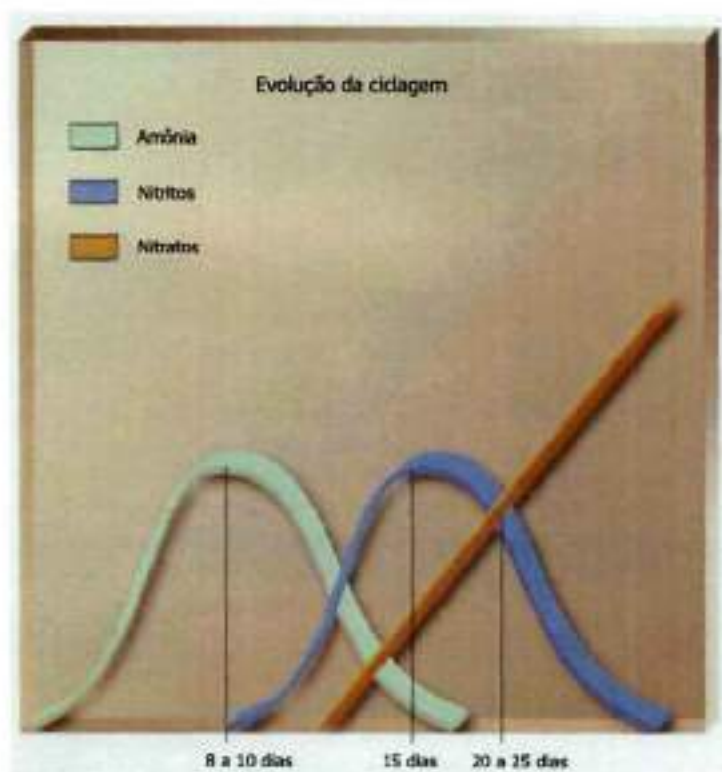


Figura 1 – Ciclo do nitrogênio [2]

2.2.3 A Dureza da Água

A dureza da água é uma propriedade que indica a concentração de íons de metais dissolvidos neste líquido. De maneira geral, a quantidade de íons de magnésio (Mg^{++}) e cálcio (Ca^{++}) é muito maior do que a das demais substâncias, como por exemplo, o bário e o ferro.

Tais íons são o resultado da ação lenta dos ácidos fracos (por exemplo, o ácido carbônico) sobre rochas, como o calcário, que dissolvem os íons metálicos na água [3].

2.2.3.1 General Hardness (gH)

A dureza pode ser dividida em dureza permanente e temporária. A dureza permanente se refere aos íons que não podem ser eliminados fervendo-se a água (cloretos, nitratos, sulfatos), enquanto que a temporária se refere aos íons facilmente eliminados com a ebulição da água (carbonatos e bicarbonatos).

A soma das duas durezas resulta no gH (*General Hardness*), medida na escala alemã dH (ou 17,8 ppm de CaCO_3 / MgCO_3). A convenção de água macia ou dura é dada pela tabela a seguir:

- 0 a 4 dH (0 a 70 ppm) – Muito macia
- 4 a 8 dH (70 a 140 ppm) – Macia
- 8 a 12 dH (140 a 210 ppm) – Média
- 12 a 18 dH (210 a 320 ppm) – Meio dura
- 18 a 30 dH (320 a 530 ppm) – Dura
- Acima de 30 dH (Acima de 530 ppm) – Muito dura, rocha líquida

Os peixes normalmente são bastante flexíveis quanto à preferência por águas macias ou duras. A criação em cativeiro pode fazer com que estas preferências sejam naturalmente selecionadas ao longo das gerações, e com isso, a dureza geral passa a afetar diretamente a transferência de nutrientes dos peixes, através das membranas celulares [3].

2.2.3.2 Carbonate Hardness (kH)

A dureza dos carbonatos (kH) é a medida de íons HCO_3^- na água. Ela também é conhecida como reserva alcalina, pois estes íons atuam na neutralização da água, quando na presença de um ácido. Como consequência, quanto maior o valor do kH, mais estável é o pH da água.

A unidade comumente usada para medir esta grandeza é o grau de dureza alemão de carbonatos, ou °dKh [3].

2.3 Sensor de Polímeros Condutores

Tendo-se como objetivo a construção de um dispositivo que cumpra com as necessidades da medição de pH para o usuário de um aquário, dois polímeros surgem como materiais potencialmente satisfatórios para a construção dos sensores com polímeros semicondutores: PANI – a polianilina [4]; POMA - Poli (*o*-metoxianilina) [5].



Figura 2 - Polianilina – PANI [5]

O sensor construído pela deposição da polianilina obteve resultados satisfatórios quando da medição do pH [5] através da obtenção da resistência do polímero imerso no *buffer* (solução) ácido ou básico. O material semicondutor pode ser protonado (recebendo um íon H^+) formando um conjugado ácido a esmeraldina sal, ou deprotonado (perdendo um íon H^+) formando um conjugado básico a esmeraldina base. Este sofre sempre alterações na sua condutância que pode ser obtida através de medições diretas do material, o polímero.

O único problema visitado em diversos materiais acerca do assunto refere-se ao fato de que na análise de desempenho dos sensores a base de polímeros semicondutores, ocorre uma prévia deprotonação devido ao processo de fabricação do polímero que faz com que íons H^+ já estejam desconectados de seu conjugado neutro quando a medida do pH se inicia [5].

Estudos recentes envolvendo o segundo polímero citado a POMA, evidenciam um comportamento característico de polímeros, como o observado com o material PANI, porém o primeiro material apresenta menor *gap* de energia em relação aos seus estados protonado/deprotonado [5].

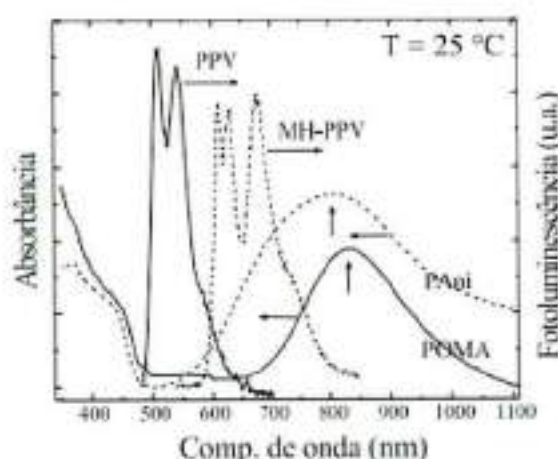


Figura 3 – Curva de comportamento de polímeros, entre eles, PANI e POMA [5]

Já entendendo o funcionamento de tais materiais quando em contato com soluções ácidas e básicas, após um primeiro passo de pesquisa e familiarização com os polímeros condutores, foi decidido construir e analisar os sensores a base do polímero semicondutor PANI, com diversas configurações (variando-se os números de dígitos e bicamadas) e foi possível escolher o sensor de melhor desempenho para o objetivo específico do projeto.

Com isso, nota-se que as atividades relacionadas à primeira área do trabalho foram de pesquisa e reconhecimento do que há de *state of the art* na área dos polímeros condutores com foco na medição de pH e na busca de maior conhecimento no comportamento de sensores compostos pelos materiais PANI e POMA.

2.4 Central de Controle

2.4.1 Circuito Controlador

O circuito controlador tem como principal tarefa trabalhar como conversor Analógico/Digital – A/D, recebendo a medida da resistência da água do aquário, fornecida pelos sensores.

Ao receber esta medida, o microcontrolador realiza a conversão da resistência recebida e então, dependendo do valor deste dado, suas portas de saída assumirão a configuração adequada para o acionamento do circuito atuador.



Figura 4 – Esquema simplificado do circuito controlador, com foco na conversão A/D dos sinais

O principal fator de risco ao se lidar com sinais analógicos para conversão digital encontra-se na necessidade de sincronização do sinal de entrada e a eliminação de ruídos deste sinal que provavelmente sofrerá pequenas alterações durante sua leitura por parte do microcontrolador.

Para isso o conversor foi programado com rotinas que garantem a segurança da leitura e a tolerância em relação a uma dada faixa de variação do *input* obtido. No caso do microcontrolador a ser utilizado, há a ferramenta *Sample and Hold* permitindo que o valor da voltagem permaneça constante durante a sua conversão.

2.4.2 ATmega 8535

O microcontrolador que utilizado para a montagem do protótipo foi o ATmega8535.

Isso se deve à familiarização com dispositivos da marca ATmega, ao fácil acesso ao seu kit de programação fornecido pelo departamento de Engenharia Elétrica com Ênfase em Sistemas Eletrônicos da Universidade de São Paulo, e ao fato de que este é um tipo de microcontrolador que possui um conversor A/D apto a lidar com as faixas de resistência (da ordem de dezenas a milhares de Ohms) necessárias para a aplicação do projeto.

O conversor A/D do ATmega8535 apresenta resolução de 10 bits. Esta ferramenta encontra-se conectada a um multiplexador analógico de 8 canais, que permite 8 diferentes entradas de voltagem (com referência em GND) inseridas nos pinos referentes à sua Porta A, ou 16 combinações de entradas diferenciais de voltagem podendo-se usar o primeiro pino do conversor A/D – ADC1 como um terminal negativo comuns aos demais inputs ADC que serão então o terminal positivo.

Adicionalmente, duas portas combinadas no modo diferencial de conversão A/D (ADC0-ADC1 ou ADC2-ADC3) estão conectadas a um amplificador que pode aumentar a voltagem do sinal em até 200 vezes. [6]

Pino	Função
AVCC	Alimentação do Conversor A/D, a voltagem pode ser fornecida On-chip
AREF	Pino referência da alimentação do conversor altera a voltagem fornecida On-chip, melhorando a sensibilidade do circuito em relação ao ruído.
ADC 0-7	Pinos de entrada para o circuito conversor A/D
GND	Referência base dos pinos de entrada conectados no modo não-diferencial

Quadro 1 - Pinagem Conversor A/D Microcontrolador ATmega 8535 [6]

Por final, o microcontrolador ATmega8535 também possui uma funcionalidade que se mostrou fundamental em relação à comunicação do circuito do sensor com o circuito de controle. O modo *Interrupt* deste dispositivo permite que o microcontrolador seja programado para iniciar sua rotina específica cada vez que ocorre uma alteração no seu sinal de entrada.

Mais detalhadamente, no caso do projeto, isso significa que cada vez que houver uma alteração significativa na resistência de saída do sensor medidor do pH, a voltagem do circuito montado para fornecer um sinal de entrada ao microcontrolador alterará significativamente e com isso, o microcontrolador automaticamente iniciará sua rotina de leitura do pH e de atuação do circuito.

Apesar de esta opção ser muito útil em situações que envolvem circuitos com sensores e realimentação de malha fechada do sistema, para esta aplicação em particular, o circuito de controle apenas iniciará sua rotina se esta mudança de voltagem se der após 4 horas da primeira atuação, já que os peixes não suportam variações de pH mais frequentes na água do aquário no qual estão inseridos.

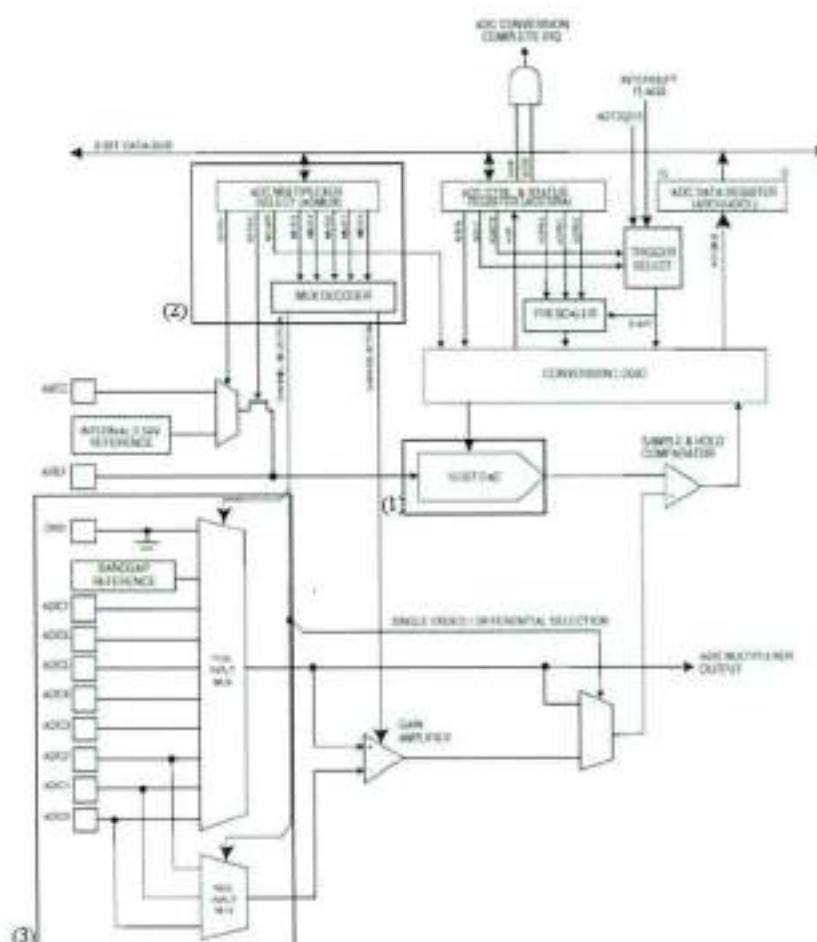


Figura 5 – Diagrama de Blocos Conversor A/D – Atmega8535 [6]

- 1) Amplificador de Sinais para as entrada – ADC0/ADC1 ou ADC2/ADC3
- 2) Multiplexador de 8 canais, permitindo 8 voltagens de entrada para a conversão.
- 3) Entradas, pinos da Port A e voltagem de referência Gnd ou Terra.

2.5 Sistema de Atuação

2.5.1 Circuito Atuador

Tendo-se as etapas de medição do pH e de controle, de acordo com o valor recebido pelo microcontrolador, foi então possível instalar um dispositivo que desempenhasse a função final do projeto, a atuação no sistema aquário e a regulação da variável de controle, o pH.

O sistema atuador conta com as bombas peristálticas que realizam a deposição dos *buffers* alcalinos ou ácidos (dependendo do pH medido e do pH de controle escolhido pelo usuário) e com os recipientes que conterão estas soluções.

De acordo com a medida feita pelos sensores, o circuito controlador ativará as bombas por um dado período de tempo para que a medida do pH seja devidamente regulada.

2.5.2 Bombas Peristálticas

Os principais componentes do sistema de atuação são as bombas peristálticas responsáveis por transportar os *buffers* (alcalino ou básico) de acordo com o tempo de atuação calculado pelo módulo Controlador citado anteriormente.

As bombas peristálticas possuem este nome que reflete seu principal mecanismo de transporte de soluções aquosas: com a ajuda de um motor DC simples, um mecanismo pressiona as paredes do tubo que contém os líquidos. Com isso, através de movimentos parecidos com os peristálticos de organismos vivos, o líquido é bombeado como consequência das alterações de pressão dentro do tubo. [7]

Um esquema simplificado da bomba pode ser visto na figura abaixo:

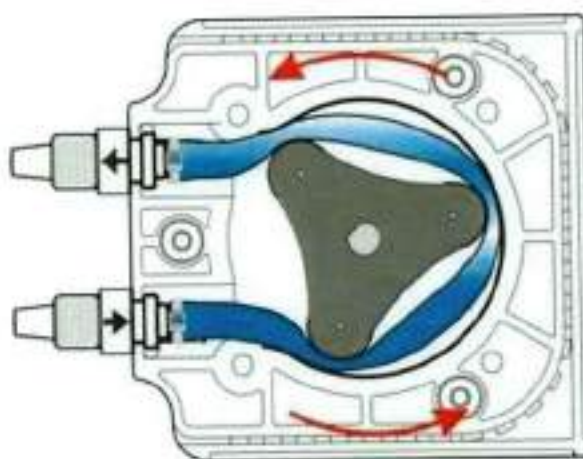


Figura 6 – Bomba Peristáltica [8]

2.6 Considerações Finais

O projeto aborda três aspectos teóricos muito importantes e fundamentais da área de sistemas eletrônicos. Primeiro, a construção de sensores a partir de polímeros condutores; segundo, a manipulação de dados e sua integração com circuitos microcontroladores; e por final o controle de um sistema por meio de sua realimentação em malha fechada.

Apesar da extensa pesquisa acerca dos polímeros condutores, o material para o filme condutor escolhido foi a PANI, primeiramente devido ao acesso a este componente nos

laboratórios de trabalho do projeto e em segundo lugar, devido ao maior conhecimento e estudos prévios acerca deste polímero, o que proporcionou maior controle e melhor manipulação deste componente. Com isso, pela caracterização dos sensores foi possível escolher o sensor de PANI com a espessura que mais se adequa à medição de pH do *buffer*.

A seguir o relatório explora as atividades realizadas ao longo do desenvolvimento do sistema, as etapas desenvolvidas no projeto, assim como os resultados finais obtidos. O leitor poderá entender com maiores detalhes a fase de execução e construção dos dispositivos e técnicas aqui explicados, sempre mantendo a divisão do trabalho em três partes: Sensores, Circuito Controlador e Circuito Atuador do medidor e regulador do potencial hidrogeniônico da água no sistema aquário.

3 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

3.1 Considerações Iniciais

O desenvolvimento do trabalho pauta-se principalmente na proposta do projeto, seu escopo, seus objetivos e a metodologia geral do trabalho nos três módulos que o compõem (sensor, central e atuação).

Posteriormente, o capítulo ilustrará como as atividades foram divididas, desenvolvidas e quais resultados foram obtidos com a conclusão das etapas de execução.

Ao final, as principais dificuldades e limitações encontradas pelo grupo são listadas, e uma análise crítica da abordagem adotada é realizada, terminando-se esta parte da descrição do projeto, com suas considerações finais. Assim, o capítulo relacionado ao desenvolvimento do trabalho no projeto é concluído.

3.2 Projeto

O projeto tem como objetivo automatizar o processo de regulação do pH de um aquário típico de água doce, o qual deve ficar na faixa de 5,5 a 8,5.

A proposta é criar um sistema que meça o pH da água de um aquário em períodos pré-determinados e atue em sua regulação, caso ele se encontre fora da faixa de tolerância. O usuário precisará inserir o nível do pH desejado para o seu aquário, de acordo com as espécies de peixes nele presentes. Caso o pH esteja 0,2 acima ou abaixo deste valor, o circuito de atuação será ativado depositando uma solução no aquário para acidificar ou alcalinizar a água nele presente. No projeto, consideramos um aquário com volume de aproximadamente 20 litros, porém, para melhor desenvolvimento do produto no futuro, deve-se permitir que o usuário possa especificar esta variável de acordo com o tamanho de seu aquário e o circuito deverá atuar de acordo com este valor definido.

A arquitetura do projeto divide-se em três módulos: sensor, controlador e atuador. A seguir, cada um destes módulos é brevemente especificado:

- Sensor: unidade de medida do pH da água. Feito com um polímero condutor (PANI) sobre microeletrodos interdigitados (2 ou 50 dígitos), em ouro sobre vidro. Associa-se a resistência do conjunto polímero/eletrodo a um determinado pH. A voltagem, amplificada, que cai nessa resistência, através

de um divisor resistivo, é a entrada diferencial do conversor A/D do Circuito Controlador.

- **Controlador:** é a parte do dispositivo composta por um amplificador, que aumenta o sinal de voltagem enviado pelo sensor, pelo microcontrolador (Atmel) e por um circuito com transistores que agem como chaves acionando o circuito atuador quando necessário. O microcontrolador recebe a informação do sensor, como descrito acima e a converte em um sinal digital. O sistema usa como referência um nível de pH de 7.4, que pode ser alterado pelo usuário a qualquer momento. Com a diferença entre o pH medido e a referência, o tempo e o tipo de atuação (solução ácida ou básica) são calculados. Este circuito também controla o intervalo de tempo entre cada atuação do sistema no aquário, já que como citado previamente, os peixes não suportam alterações freqüentes no nível do pH da água.
- **Atuador:** Esta parte do dispositivo final contém dois reservatórios, onde se encontram os *buffers*: soluções acidificantes (ácido o-fosfórico) e alcalinizantes (carbonato de sódio). Cada um deles é conectado a uma bomba peristáltica que recebe um sinal do Controlador, quando o pH está fora da faixa ideal especificada, e despeja o conteúdo do reservatório com o *buffer* necessário, na água do aquário, atuando assim na regulação da variável de interesse.

3.3 Descrições das Atividades Realizadas

3.3.1 – Construção e caracterização do sensor de pH

3.3.1.1 – Construção das unidades sensoras – Parte I

A etapa de construção do sensor de pH é dividida em duas etapas, sendo a primeira a confecção dos microeletrodos interdigitados de ouro e a segunda, a adsorção dos polímeros condutores sobre este substrato.

Os microeletrodos interdigitados são produzidos na Sala Limpa do LME-USP e sua fabricação consiste na deposição, via *sputtering*, de ouro (Au) sobre vidro (borossilicato). Antes da deposição, uma fina camada de níquel-cromo (NiCr) é depositada (via *sputtering*) sobre o vidro, para melhorar a adesão do ouro sobre o substrato. A espessura da camada de NiCr/Au é de aproximadamente 200nm.

As trilhas interdigitadas são gravadas logo depois, por fotogração. Foram produzidos microeletrodos de duas geometrias: 2 e 50 dígitos. A distância entre os dígitos é de $10\mu\text{m}$. A influência das geometrias sobre a medida de impedância da água foi testada à posteriori. A Figura 7 a seguir mostra um microeletrodo com geometria de 50 dígitos.



Figura 7 - Microeletrodo com geometria de 50 dígitos

A formação do filme polimérico ultrafino é feita utilizando a técnica da automontagem, que consiste na adsorção espontânea dos polímeros escolhidos, com cargas eletrostáticas opostas. O microeletrodo é mergulhado em uma solução positiva, lá permanecendo durante 3 minutos. Este então é lavado em um béquer com água destilada (com agitação), secado com um fluxo de gás nitrogênio e mergulhado em uma solução negativa, onde permanece por mais 3 minutos. Após este tempo, o microeletrodo é novamente lavado e secado. Assim é formada uma bicamada. O procedimento é repetido para se obter quantas bicamadas forem necessárias.

Para auxiliar neste processo, um robô é utilizado (Figura 8), sendo necessário definir o número de bicamadas, o tempo de imersão nas soluções, a velocidade de subida e descida do braço mecânico e a sequência de passagem do braço pelos cinco compartimentos os quais podem ser visualizados na figura. Definindo tais parâmetros o robô realiza a deposição das bicamadas automaticamente.



Figura 8 - Robô utilizado para automontagem

Como citado previamente, o polímero utilizado é a Polianilina-PANI. Antes da automontagem, os microeletrodos necessitam de um pré-tratamento de superfície, ficando imersos em uma solução de 3-mercaptopana (3-ácido mercaptopropiônico) com metanol (100M), durante 18 horas, à temperatura ambiente. Isto causa a funcionalização do ouro, fazendo com que os polímeros adsorvam mais eficientemente ao substrato.

Os testes foram feitos com sensores de diferentes espessuras (números de bicamadas), onde cada bicamada possui uma espessura média de 10Å:

- 0 bicamadas (eletrodo de referência)
- 10 bicamadas
- 20 bicamadas
- 30 bicamadas

Após a automontagem, os sensores são dopados com íons H^+ em uma solução de ácido clorídrico HCl (1M), ficando imersos durante 1 minuto. Após a secagem com fluxo de gás nitrogênio, estes dispositivos estão prontos para os testes.

3.3.1.2 – Teste preliminar das unidades sensoras

O teste preliminar dos sensores é realizado para verificar a influência das diversas configurações, na medida do pH da água. Os sensores foram imersos em uma mesma amostra de água de torneira, para evitar que variações provenientes do processo de tratamento de água ao longo dos dias não influenciassem os resultados dos testes.

Para esta etapa, é utilizado um robô de testes (Figura 9), onde as unidades sensoras são colocadas em uma espécie de suporte (Figura 10), podendo ser testados até dez sensores simultaneamente. Um computador conectado ao robô controla o tempo de imersão do suporte no béquer, que possui um agitador magnético para manter a solução em movimento.



Figura 9 - Robô de testes

As medidas de resistência são então transmitidas para um multiplexador, e são obtidas com o uso do medidor de impedância (*Solartron*). O equipamento *Solartron* possui uma interface em *Labview*, onde os dados de resistência são gerados em planilhas, e as medidas podem ser tomadas quantas vezes o operador achar necessário.



Figura 10 – Suporte com os sensores a serem testados, recobertos com PANI

Os testes foram realizados no laboratório do Grupo de Estudos Moleculares (GEM-USP – Figura 11), com o auxílio de um *pHmeter* eletrônico calibrado como referência.



Figura 11 - Laboratório do GEM

Além dos testes de configuração, foram realizados testes de longa duração (imersão dos sensores pelo período de 1 hora em solução com pH fixo), para que fosse analisada a capacidade dos sensores de proverem medidas do pH estáveis em longo prazo. O auxílio do robô de testes foi novamente necessário para esta etapa.

3.3.1.3 – Construção das unidades sensoras – Parte II

Após a definição da melhor configuração, foram construídos 4 sensores iguais. Foi utilizada a mesma técnica de automontagem do filme de PANI sobre os microeletrodos interdigitados, construídos dois a dois (Tabela 2 – F66/F72 e F65/F74), devido à limitação física dos recipientes utilizados no processo.

A configuração escolhida foi a seguinte:

- Geometria de 50 dígitos e 20 bicamadas de PANI.

Para esta escolha, foram considerados dois fatores principais levantados nos testes previamente realizados: a diferença entre os valores absolutos de resistência para diferentes níveis de pH e a estabilidade destas medidas ao longo do tempo. Posteriormente, testes com estes dispositivos foram realizados.

3.3.1.4 – Teste final das unidades sensoras

O teste final dos 4 sensores foi realizado, medindo-se a resistência de amostras de água com diferentes valores de pH. Os mesmos instrumentos foram utilizados nesta etapa (*pHmeter*, multiplexador e Solartron). O suporte utilizado para os sensores foi o mesmo, apenas substituindo-se as unidades antigas pelas novas.

Para cada sensor, foi traçada uma curva de Resistência x pH. Esta curva serviu como base para a escolha do melhor sensor a ser acoplado ao sistema.

Todos estes testes são abordados detalhadamente na Seção 3.4.

3.3.1.5 – Integração ao sistema

Após a definição do sensor ideal, este foi integrado ao sistema, sendo responsável pelo envio dos sinais de voltagem para que a Central (Controlador) decida como será a atuação no pH da água, caso necessário.

O sensor fica permanentemente imerso na água, enviando as medidas de voltagem para o módulo Controlador do circuito. Devido a isso, testes de resistência e estabilidade foram realizados, podendo-se assim garantir a qualidade da variável que o sensor envia para a entrada do microcontrolador.

3.3.2 – Desenvolvimento do Circuito Controlador e Atuador

3.3.2.1 – Construção do Circuito Controlador – ATmega8535

A segunda área do projeto se baseia no recebimento por parte do circuito controlador, da resistência medida pelo sensor de pH e na manipulação dos dados para que o circuito atuador realmente o sistema (aquário) regulando-o e trazendo a variável medida (pH) o mais próximo possível do seu valor de referência, inserido pelo usuário.

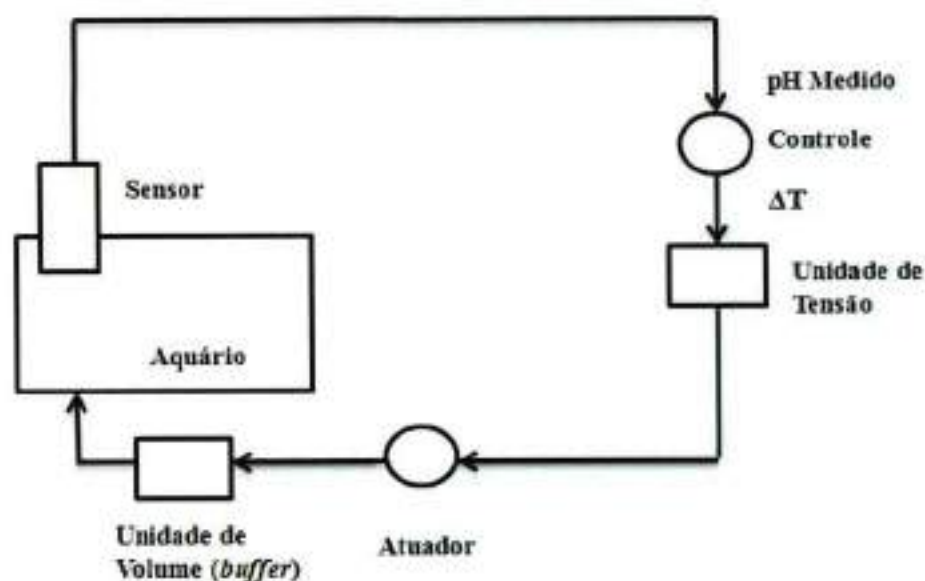


Figura 12 – Esquemático do Circuito Completo

Para a parte de recebimento e conversão de dados é utilizado o microcontrolador ATmega8535 que possui conversor A/D permitindo a entrada destes valores em formato analógico, por parte do sensor, e a conversão de tais valores para o modo digital.

Para a programação do microcontrolador o kit de desenvolvimento para *chips*, da Atmel é utilizado e primeiramente foram desenvolvidas as funções primordiais referentes ao funcionamento básico do conversor A/D.

São três as subrotinas principais que fazem parte da rotina completa de conversão A/D. A primeira refere-se à inicialização do Conversor, ativando o comparador de voltagem e o modo *interrupt* do microcontrolador que recebe dados analógicos externos, como visto na figura abaixo.

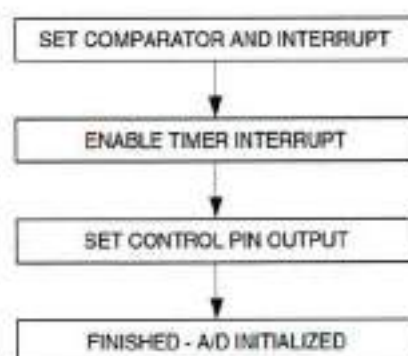


Figura 13 – Subrotina de inicialização do Conversor A/D e do microcontrolador para a leitura dos dados analógicos. [9]

Por sua vez, o contador do circuito é inicializado e após um intervalo de tempo de pelo menos $200\mu\text{s}$, o capacitor de conversão é descarregado, evitando-se cargas remanescentes de medidas anteriores.

Após este intervalo de tempo, o capacitor de conversão carregará e a conversão ocorrerá através da leitura da voltagem no microcontrolador, a partir da curva de carga do capacitor.

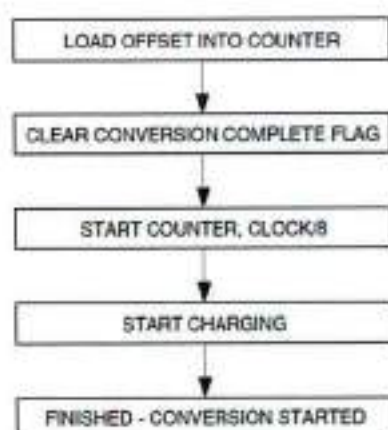


Figura 14 – Subrotina de conversão de dados, com a descarga e a carga do capacitor de conversão. [9]

Com o final da contagem, o *timer* pára e o *offset* adicionado previamente ao menos 7 vezes (uma para cada ciclo de *clock* passado durante a carga do capacitor) é subtraído do valor obtido pela conversão.

Assim, a *Flag* de conversão completa é novamente acionada e a Rotina é inteiramente finalizada.

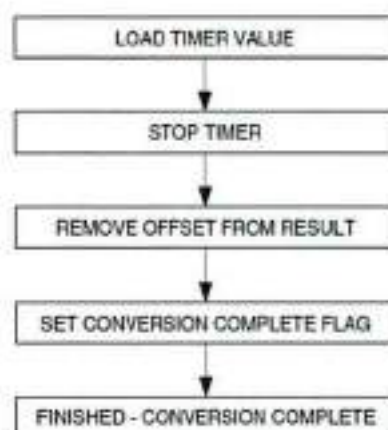


Figura 15 – Subrotina de finalização e ajuste do resultado da conversão A/D [9]

3.3.2.1 – Desenvolvimento do Circuito Atuador

O circuito atuador é responsável por despejar os buffers no aquário utilizando um mecanismo eletronicamente controlado para ativar e desativar duas bombas peristálticas responsáveis por levar os *buffers* de seus respectivos recipientes até a água do sistema. Com isso, temos um circuito de controle com realimentação em malha fechada, como notamos pelo referente diagrama de blocos (Figura 15).

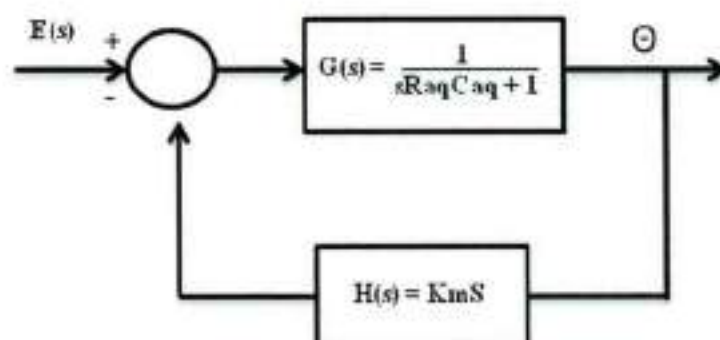


Figura 16 – Diagrama de blocos Circuito de Malha Fechada $\rightarrow G(s)$ é a função de transferência do sistema

Após a medição por parte do sensor, tendo-se um valor consideravelmente fora do intervalo aceitável para o pH especificado pelo usuário, o circuito atuador entrará em ação depositando a solução reguladora no sistema.

O comportamento do pH após a adição dos *buffers* no aquário pode ser visto no gráfico abaixo. Este comportamento serviu de base para o cálculo do nível de atuação do microcontrolador, sendo utilizado adicionalmente na etapa de ajustes e testes finais.

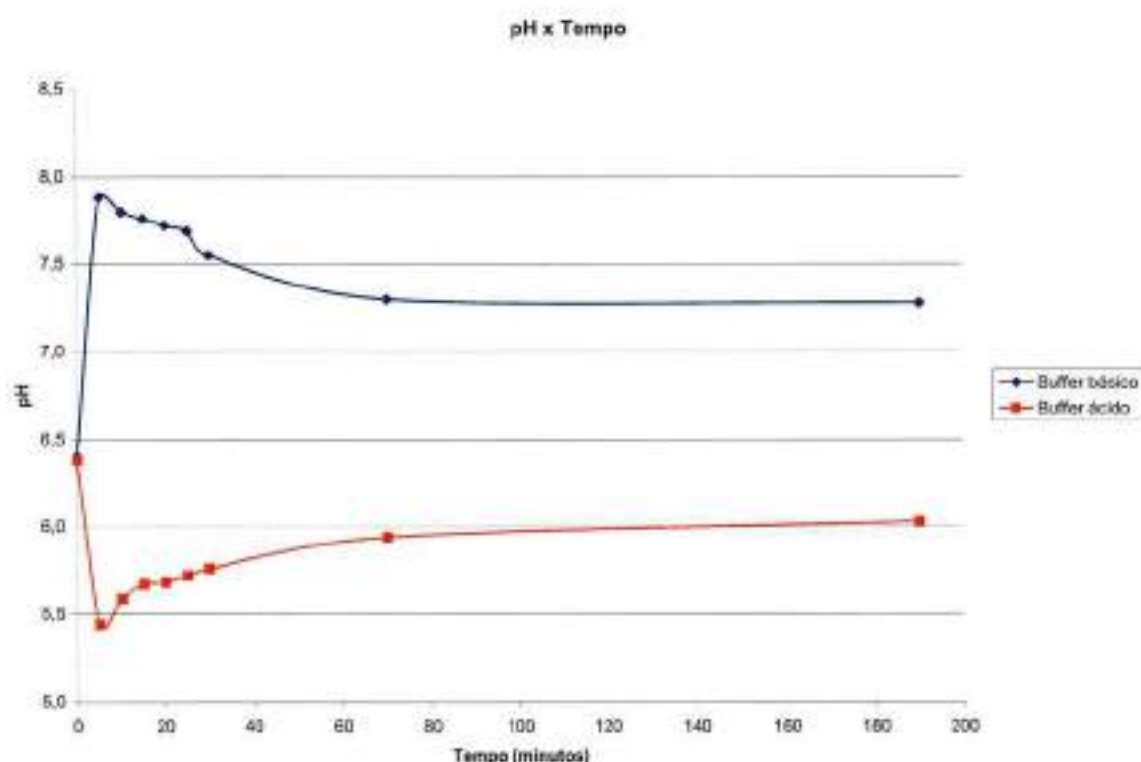


Figura 17 – Gráfico do comportamento dos *buffers* ácido e básico

Por final, foi também levada em conta a reposição das soluções reguladores de pH, posicionando-se os recipientes que as contém e um local de fácil acesso e controle por parte do usuário.

3.3.3 - Gestão do projeto, integração dos sistemas e análise comercial

Para a gestão de projeto, foi desenvolvido um plano utilizando o software MS Project, para controlar o cronograma das futuras atividades e monitorar eventuais atrasos.

Semanalmente, reuniões foram realizadas para que cada integrante do grupo explicasse as atividades realizadas e as metas atingidas. Se necessário, novas metas eram traçadas ou mudanças no planejamento inicial eram efetuadas.

O líder acompanhava ambas as frentes de trabalho, sendo a primeira referente ao trabalho de construção e caracterização dos sensores e a segunda referente ao trabalho de construção e implementação dos módulos Controlador e Atuador. Ao final da execução de tais etapas iniciou-se a integração de ambas as frentes.

Esta integração dos sistemas foi feita através de uma cuidadosa rotina de testes, etapa que foi realizada em paralelo com a construção dos circuitos finais necessários para o projeto. Com a construção do sensor já bem encaminhada, o foco se voltou para o desenvolvimento do circuito de controle e os testes de uso do protótipo final.

Na análise comercial, foi visto que o produto final do projeto seria de grande interesse para aquaristas, pois não existe um produto similar com preço acessível e as pesquisas nas lojas especializadas do ramo demonstraram que os donos de aquário estão dispostos a comprar produtos que auxiliem em seu *hobby*. Um exemplo analisado para comparação foi um alimentador automático, que custa aproximadamente R\$150,00 sendo um mecanismo consideravelmente mais simples do que o proposto por este projeto.

3.4. Resultados

O Projeto Atlântida teve suas etapas de planejamento, execução, implementação e testes finais concluída. O trabalho foi dividido em três partes principais: a construção do sensor de pH a base de polímeros condutores, como foi previamente exemplificado, o desenvolvimento de um conversor A/D que atua de acordo com os valores obtidos das medidas do sensor e o sistema de atuação que deposita as soluções reguladoras no aquário de acordo com a necessidade deste sistema.

3.4.1 Construção e Caracterização de Sensores com Polímeros Condutores

3.4.1.1 Teste Preliminar

Foram realizados testes com 5 tipos de sensores (Tabela 1), variando-se o número de dígitos (geometria) e a quantidade de PANI (número de bicamadas). Os testes foram feitos para se escolher o sensor de maior estabilidade e diferenciação entre os níveis de pH (em termos de resistência).

Tabela 1 - Parâmetros dos 5 sensores em teste preliminar

Sensor 1 (D29)	Sensor 2 (F12)	Sensor 3 (D90)	Sensor 4 (D83)	Sensor 5 (D97)
2 dígitos	50 dígitos	50 dígitos	50 dígitos	50 dígitos
10 bicamadas	Sem PANI	10 bicamadas	20 bicamadas	30 bicamadas

Foram coletadas medidas de resistência a partir da imersão dos sensores em amostras de água de diferentes pHs, à temperatura ambiente (20°C). Para cada pH, foi realizada a seguinte rotina de testes:

1. Lavagem dos sensores em água destilada (5 minutos);
2. Posicionamento do suporte dos sensores na amostra de água de torneira, com o pH estável (acompanhado pelo *pHmeter*), e espera de 1 minuto;
3. Primeira tomada de medidas de resistência, com duração de 1 hora (720 amostras);
4. Intervalo de 5 minutos;
5. Segunda tomada de medidas de resistência, com duração de 10 minutos.

Os gráficos obtidos com as rotinas de testes durante 1 hora são mostrados no **Apêndice B**, ao final deste relatório.

3.4.1.2 Teste Final

Após a construção dos 4 sensores de igual geometria e número de bicamadas (Tabela 2), foram realizados testes para verificar a repetibilidade dos valores medidos.

Tabela 2 - Parâmetros dos 4 sensores em teste final

Sensor 1 (F65)	Sensor 2 (F66)	Sensor 3 (F72)	Sensor 4 (F74)
50 dígitos	50 dígitos	50 dígitos	50 dígitos
20 bicamadas	20 bicamadas	20 bicamadas	20 bicamadas

Foram coletadas novamente medidas de resistência a partir da imersão dos sensores em amostras de água de diferentes pHs (faixa de pH 5,0 até 9,0), à temperatura ambiente (20°C). Para cada pH, foi realizada a seguinte rotina de testes:

1. Posicionamento da cabeça dos sensores na amostra de água de torneira, com o pH estável (acompanhado pelo *pHmeter*), e espera de 1 minuto;
2. Tomada de medidas de resistência, com duração de 10 minutos (120 amostras);

Os gráficos obtidos com a rotina de testes também são mostrados no **Apêndice C**, ao final deste relatório.

Verificou-se um comportamento monotônico ascendente nos valores de resistência para os 4 sensores, na faixa de pH 5,0 até 7,0. A partir do pH 7 (níveis de pH básico), as curvas demonstraram variações de comportamento entre os dois lotes de sensores. Devido a estes resultados, foi realizada uma nova bateria de testes que cobriu esta nova faixa (faixa de pH 4,5 até 7,5).

Foram tomadas novas medidas de resistência, partindo-se de um pH mais baixo até um pH mais alto (subida) e depois seguindo o caminho contrário (descida). Com isso, procurou-se verificar os efeitos de histerese dos sensores.

O gráfico obtido com a rotina de teste para os sensores 1 (F65) e 2 (F66) são mostrados no **Apêndice D**, ao final deste relatório.

3.4.2 Programação do Circuito Controlador

Paralelamente à construção e caracterização dos sensores para a medição do pH, iniciou-se a programação do microcontrolador que é o dispositivo responsável pela parte de controle do circuito e atuação no sistema, o aquário.

O microcontrolador ATmega8535 foi programado em linguagem C e a primeira etapa envolveu a implementação de um conversor A/D que recebe uma voltagem e a converte em valores binários. Estes valores servem então para definir as ações do atuador após a medição do pH. O fluxograma do código pode ser visto no **Apêndice G**.

O conversor foi completamente desenvolvido, identificando valores de tensão com exatidão de até duas casas decimais, num intervalo de -5V a 5V.

A principal rotina do programa prepara o conversor para receber dados analógicos e após certo intervalo de tempo previamente determinado, todas as atividades do microcontrolador são pausadas e este valor é lido.

O dado é então convertido em valores binários de até 10 bits. Sendo assim, a mínima divisão suportada pelo dispositivo é de $5 - (-5) / 10^{10} = 10 / 1024 = 0,0097 \text{ V}$.

Como a precisão obtida foi bem elevada para as aplicações do projeto, rotinas de arredondamento e da média ponderada de diversas medidas realizadas pelo sensor foram implementadas, garantindo-se assim a estabilidade e confiabilidade dos valores convertidos. O código completo encontra-se no **Apêndice E** ao final do relatório.

Para manter uma maior fidelidade dos dados convertidos, os valores lidos apresentam duas casas decimais após a vírgula, assim o conversor lê até três dígitos, mas arredonda com exatidão e confiabilidade o valor lido pelo programador.

Tendo o valor do dado fornecido pelo sensor, a próxima etapa (já encaminhada devido ao trabalho inicial com o microcontrolador) envolveu a análise das faixas de voltagem obtidas e a relação destas com o pH referente.

Então o projeto entrou na etapa final que envolveu o ajuste do modelo do circuito atuador de acordo com dados matemáticos, para que o pH (no caso a variável de controle) se mantivesse dentro da faixa esperada para o equilíbrio do ambiente estudado (o aquário) e envolveu a implementação e os testes do protótipo final.

3.4.3 Desenvolvimento e Construção do Circuito Final

O circuito final apresenta como citado previamente, o microcontrolador ATmega8535 o qual recebe em suas entradas PA0 (ADC0) e PA1 (ADC1) a voltagem para a conversão digital. Pode-se notar no esquemático abaixo que há um circuito amplificador antes da entrada do sinal no microcontrolador. Isto se deve ao fato de que a voltagem fornecida pelo sensor é de ordens de grandeza abaixo da voltagem necessária para que o microcontrolador realize a conversão A/D.

Por sua vez, as saídas PB0 e PB1 contêm os valores obtidos a partir da conversão do valor da voltagem do sinal de entrada. Tais saídas são diretamente conectadas aos registradores, os quais estão conectados aos displays que informam ao usuário o pH da água do aquário.

As saídas de PB3 a PB8 ligam ou desligam os *leds* referentes ao pH medido e sua relação com o pH desejado pelo usuário. Ou seja, caso o pH esteja abaixo do previamente especificado pelo usuário, o LED_ACIDO acenderá, caso o pH esteja acima deste valor, o LED_BASICO acenderá. Por final, caso o pH esteja dentro de uma faixa aceitável em relação ao pH definido pelo usuário, o LED_NEUTRO será o *led* que permanecerá aceso.

As portas de PD0 a PD3 são ligadas aos *push-buttons* que permitirão ao usuário setar o valor do pH desejado para a variável de controle que servirá posteriormente de referência para a atuação do circuito.

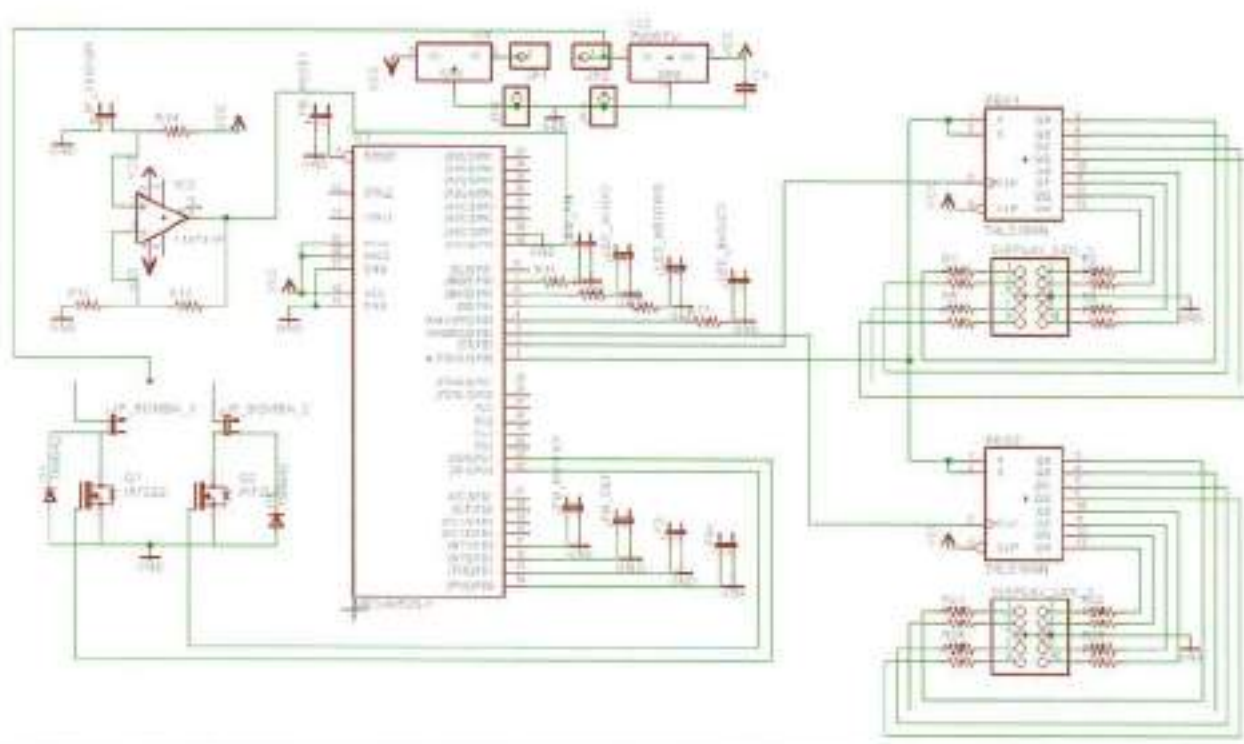


Figura 18 – Esquema Evidenciando a Pinagem do Circuito Final

Os registradores conectam-se aos *displays* e mantêm o valor obtido anteriormente enquanto não ocorre uma nova medida do pH do água por parte do sensor e do circuito controlador.

As portas PC0 e PC1 do microcontrolador são utilizadas para o controle da atuação. As bombas peristálticas estão ligadas a elas através de uma chave eletrônica, um transistor. Caso a atuação no nível de pH seja necessária, a saída é mudada para um valor lógico *high*, acionando a bomba por um dado intervalo de tempo.

3.4.4 Integração do Sensor ao Módulo Controlador

Após os testes com os sensores novos, foi escolhido o sensor com a melhor curva de Resistência x pH. O Sensor 2 (F66) **Tabela 2**, foi então inserido em um circuito resistivo divisor de tensão, alimentado por uma fonte de 5 Volts de Tensão Contínua. Deste modo, foi possível levantar sua curva de Tensão x pH, necessária para que o microcontrolador fosse programado de forma a traduzir as tensões de entrada recebidas para valores de pH.

Amostras com diferentes valores de pH foram medidas e foi levantada uma curva de Tensão (V) x pH para o sensor de PANI.

O gráfico obtido com a rotina de testes é mostrado no **Apêndice H**, ao final deste relatório.

3.5 Dificuldades e Limitações

3.5.1 Durabilidade do Sensor de Polímeros Condutores

Como uma das dificuldades e limitações encontradas durante o desenvolvimento do PA (Projeto Atlântida), é possível citar o tempo de vida do sensor utilizado. Em substâncias mais agressivas, como por exemplo, o leite, o sensor de polímeros condutores necessita de uma limpeza com água destilada em agitação para que possa realizar outras medidas. Esta ação acaba por degradar lentamente o filme polimérico sobre o sensor, encurtando seu tempo de vida.

No caso do PA, o meio inserido será menos agressivo (água do aquário), porém, sujeito a algumas impurezas como os dejetos de peixes, restos de comida, nitratos, etc. Somente com os resultados dos testes de longa duração foi possível afirmar a viabilidade comercial do produto.

Tais testes foram realizados e encontram-se na seção 3.4.1 (Construção e Caracterização de Sensores com Polímeros Condutores) mostrando que a necessidade de se realizar uma lavagem após cada medida do sensor não é significativa já que este estará imerso em água, não sofrendo protonação ou deprotonação do polímero de forma indesejada.

3.5.2 Robustez do Sensor de Polímeros Condutores

Outra limitação importante encontrada após diversos testes com o sensor de polímeros semicondutores refere-se à baixa robustez do dispositivo. Tendo quase finalizado a etapa da caracterização do sensor, notou-se que é necessário ter muito cuidado com a escolha da configuração correta para realizar medidas num ambiente como um aquário.

Muitos testes foram realizados com sensores variados e após a seleção da melhor configuração ainda foram construídos quatro sensores com 20 bicamadas e os quatro foram testados e novamente um sensor foi selecionado para a aplicação no projeto.

3.5.3 Incompatibilidade do sinal de saída do sensor e entrada do microcontrolador e Incompatibilidade do sinal de saída do microcontrolador e de entrada das bombas peristálticas

Durante a fase de integração dos módulos do Sensor, Controlador e Atuador foram encontradas dificuldades relacionadas à dimensão da voltagem de saída do sensor da ordem de mV e a sensibilidade do microcontrolador em relação a seu sinal de entrada.

Tendo-se voltagens de ordem de grandeza maior a conversão A/D do sinal, realizada seria mais precisa e confiável. Com isso, ajustes no circuito foram realizados utilizando-se amplificadores que solucionaram o problema, como se pode observar na seção 3.4.3 (Desenvolvimento e Construção do Circuito Final).

Uma dificuldade de mesma natureza ocorreu na etapa do circuito que se refere ao sinal de saída do microcontrolador que alimentaria as bombas peristálticas. Este sinal, apesar de apresentar voltagem suficiente, apresentava uma corrente de alimentação para as bombas da ordem de mA o que era insuficiente para o seu funcionamento correto.

Para contornar esta dificuldade, a alimentação principal do circuito foi desviada para as bombas peristálticas e uma chave foi colocada entre o microcontrolador e estas, como novamente se observa na seção 3.4.3. Assim, a responsável pela alimentação das bombas é a própria alimentação geral do circuito e o microcontrolador apenas fecha ou abre a chave implementada permitindo ou impedindo que a corrente as alimente.

3.6 Considerações Finais

Após a descrição dos processos e componentes apresentadas neste capítulo, verifica-se que as principais características do PA foram mensuradas e analisadas. Posteriormente foi possível, a partir dos dados coletados, selecionar o sensor de melhor aplicação no projeto e paralelamente se deu o desenvolvimento do circuito Controlador (Central).

Em posse dos dados das medidas realizadas pelo sensor em amostras de água, foi possível também adaptar o circuito aos pequenos distúrbios e imprecisões que este pudesse apresentar.

A Central apresentou pequenas dificuldades iniciais de integração e adaptação dos sinais do circuito, porém atingiu-se o objetivo final que era o desenvolvimento de um bom

conversor A/D e de um circuito Controlador que fizesse a comunicação entre as medidas realizadas pelo sensor e a atuação no aquário.

Por final, o desenvolvimento do circuito Atuador foi mais simples, já que com a integração do Sensor e do Controlador, muito se descobriu sobre estes circuitos e ao se incluir as bombas peristálticas os pequenos problemas encontrados foram solucionados e a construção do protótipo foi finalizada.

Após a construção do protótipo, o dispositivo final pôde ser implementado e testado, realizando-se assim os ajustes finais.

Nos capítulos seguintes o leitor poderá entender outros aspectos do projeto, primeiro observando-se seu Cronograma, seguido do Orçamento Final estimado para o dispositivo e por final a Análise de Riscos realizada e como tais riscos influenciaram o projeto ou foram solucionados.

4 CRONOGRAMA

O planejamento do cronograma do projeto levou em consideração a divisão de trabalho previamente exposta na seção 3.3.

O cronograma completo pode ser visto no **Apêndice A**.

Assim como o projeto, seu cronograma foi dividido em três etapas principais. Sendo a primeira referente aos sensores de polímeros semicondutores. A pesquisa acerca destes componentes bem como a análise de viabilidade para uso na medição do pH ocorreu logo no início do projeto 19/04/2011 e no dia 24/05/2011 foi possível iniciar a construção dos sensores de diferentes configurações.

Os testes ocorreram durante o mês de junho e no dia 23/06/2011 a melhor configuração foi selecionada iniciando-se a construção dos 4 sensores de mesma configuração já no dia 24/06/2011. A etapa de testes com os novos sensores se deu até o dia 28/07/2011 e no dia 01/12/2011 testes com o circuito Controlador completo integrado com os sensores foram realizados.

A segunda etapa do projeto deu-se com a programação do microcontrolador e a montagem do circuito Central. Esta etapa iniciou-se no dia 24/05/2011 e a programação do circuito foi finalizada em 01/07/2011. Logo em seguida, o circuito ao redor do microcontrolador foi desenvolvido e as incompatibilidades entre os sinais do sensor e de entrada deste dispositivo foram solucionadas.

A construção do Controlador foi finalizada no dia 08/09/2011 e ajustes foram realizados com o sensor e o controlador posteriormente.

Em novembro, com estes dois módulos iniciais já concluídos houve a possibilidade de montar o circuito Atuador. Seu desenvolvimento iniciou-se no dia 07/11/2011 culminando no dia 02/12/2011 com a integração deste módulo ao resto do circuito com os módulos do Sensor e do Controlador já prontos.

Após este dia foi possível então pensar no protótipo final. A partir do dia 14/11/2011 pôde-se desenhar o esquemático do circuito final no software Eagle e já na semana do dia 21/11/2011 a placa final do circuito Controlador foi montada sendo testada 2 semanas depois.

A partir do dia 02/12/2011 testes e ajustes finais foram realizados e o projeto foi finalizado para sua apresentação no dia 09/12/2011.

5 ORÇAMENTO

Sendo o projeto composto por três partes, a análise de custo foi dividida em relação ao dispositivo Sensor, ao Circuito Controlador e ao Atuador do pH:

5.1 Sensor de pH

Tabela 3 – Componentes e Valores dos materiais utilizados em um Sensor. [10]

Componente	Valor
Placa de Vidro	$184,14/\text{m}^2 \times 0,01 \text{ m}^2 = 1,85\text{R\$}$
Polímero Condutor (PANI)	35,00R\$
Filme/Película de Ouro (Au)	70,80R\$ (em média/sensor)
Fios de cobre revestidos	0,60R\$ (dois fios por sensor)
Soldas + Camada de Araldite em cima dos contatos para proteção	$24\text{R\$}(\text{tubo de Araldite}) \times 1/50 = 0,48\text{R\$}$ $6,30\text{R\$}(\text{tubo estanho}) \times 1/10 = 0,63\text{R\$}$
Máquina para a deposição dos filmes ¹	$19,50\text{R\$/dia} \times 1 \text{ dia} = 19,50\text{R\$}$

Valor Total Sensor de pH = 130,56R\$ = 81,60US\$ (1R\$=1,60US\$)

¹ A máquina no caso do projeto de graduação foi gratuitamente utilizada no laboratório LME-PSI, porém para efeito de mercado, analisaremos o valor de utilização de uma máquina destas por dia (/dia)

5.2 Circuito Controlador

Tabela 4 – Componentes e Valores dos materiais utilizados no Circuito Controlador. [10]

Componente	Valor
Gabinete plástico	16,00R\$
Placa Cobre Padrão (10cm x 10 cm)	2,00R\$
Chave <i>On/Off</i>	1,50R\$
2 x Suporte para bateria 9V	2 x 0,50R\$ = 1,00R\$
Solda	1/5 x 6,30R\$(tubo estanho) = 1,26R\$
Regulador de Tensão (7805)	1,00R\$
Regulador de Tensão (7905)	1,10R\$
Soquete Microcontrolador	2,10R\$
Microcontrolador ATmega8535	13,50R\$
2 x Registrador	2 x 0,90R\$ = 1,80R\$
2 x <i>Display</i> de 7 segmentos	2 x 4,00R\$ = 8,00R\$
Amplificador operacional (LM741)	R\$0,70
24 x Resistor	24 x 0,05R\$ = 1,20R\$

Valor Total Circuito Controlador = 51,16R\$ = 31,98US\$

5.3 Circuito Atuador

Tabela 5 – Componentes e Valores dos materiais utilizados no Circuito Atuador.

[10]

Componente	Valor
4 x Resistor	$0,05\text{R\$} \times 4 = 0,20\text{R\$}$
Tubos plásticos	1,50R\$
2 x Bomba Peristáltica	$80,00\text{R\$} \times 2 = 160,00\text{R\$}$
2 x IRF520 (transistor NMOS)	$2 \times 1,20\text{R\$} = 2,40\text{R\$}$

Valor Total Circuito Controlador = 164,10R\$ = 102,56US\$

5.4 Orçamento Total

Com o cálculo dos orçamentos parciais de cada parte do circuito, ao somar cada valor, obtemos:

Valor Total = 403,62R\$ = 252,27US\$

6 ANÁLISE DE RISCO

6.1 Matriz AHP para Decisão do Projeto

6.1.1 - Definição dos critérios

Para a análise de possíveis alternativas de projeto, é necessário entender os objetivos que se espera alcançar com este, com isso, definindo os critérios de escolha e de análise a serem utilizados na comparação entre as alternativas dos possíveis temas:

- Criatividade
- Inovação
- Complexidade Técnica
- Interesse da Equipe
- Aplicabilidade

6.1.2 - Para se definir os pesos dos critérios, monta-se uma matriz, atribuindo pesos comparativos a cada um dos quesitos:

Tabela 6 – Pesos comparativos de cada quesito

	Criatividade	Inovação	Comp. Técnica	Interesse da Equipe	Aplicabilidade
Criatividade	1	1/5	1/3	1/5	1/7
Inovação	5	1	3	1	1/3
Comp. Técnica	3	1/3	1	1/3	1/5
Interesse da Equipe	5	1	3	1	1/3
Aplicabilidade	7	3	5	3	1
Soma Colunas	21	5,53	12,33	5,53	2,00

Matriz Normalizada

Tabela 7 – Matriz dos pesos normalizada

	Criatividade	Inovação	Comp. Técnica	Interesse da Equipe	Aplicabilidade
Criatividade	0,05	0,0 4	0,0 3	0,0 4	0,07
Inovação	0,24	0,1 8	0,2 4	0,1 8	0,17
Comp. Técnica	0,14	0,0 6	0,0 8	0,0 6	0,1
Interesse da Equipe	0,24	0,1 8	0,2 4	0,1 8	0,17
Aplicabilidade	0,33	0,5 4	0,4 1	0,5 4	0,5

Pesos dos Critérios – (I)

Tabela 8 – Peso de cada critério de avaliação

Critérios	Pesos (1/100)
Criatividade	0,11
Inovação	0,19
Comp. Técnica	0,08
Interesse da Equipe	0,19
Aplicabilidade	0,43

6.1.3 - Multiplicação dos pesos pelas notas normalizadas dadas às alternativas de projeto

Alternativas de Projeto:

Sensor de Glicose – Construção de sensor para medição da glicose sanguínea e criação de software para o usuário.

Sensor de pH e Controle – Construção de sensor para a medição de pH em aquários e construção de circuito de controle do pH de acordo com as medições.

Menu *Wireless* – Menu para motoristas que visa a interação simples com o usuário e a manipulação dos dados *Wireless*.

Tabela 9 – Nota atribuída para cada projeto (de 1 a 5)

	Criatividade de	Inovação	Comp. Técnica	Interesse da Equipe	Aplicabilidade
Sensor de Glicose	1	2	1	3	5
Sensor de pH e Controle	3	4	4	4	4
Menu Wireless	3	3	2	1	4
Soma	7	9	7	8	13

Matriz normalizada (II)

Tabela 10 – Matriz normalizada das notas

	Criatividade	Inovação	Comp. Técnica	Interesse da Equipe	Aplicabilidade
Sensor de Glicose	0,14	0,22	0,14	0,38	0,38
Sensor de pH e Controle	0,43	0,44	0,57	0,5	0,31
Menu Wireless	0,43	0,33	0,29	0,12	0,31

6.1.4 - Multiplicação Matriz de Pesos (I) e Matriz Normalizada (II)

Tabela 11 – Multiplicação Matrizes (I) e (II)

Projeto	Pontuação Final
Sensor de Glicose	0,30
Sensor de pH e Controle	0,41
Menu Wireless	0,29

Sendo assim, obteve-se maior pontuação para o Projeto Sensor de pH e Controle que foi o projeto realizado pela equipe.

6.2 Riscos e impactos

A análise de riscos na etapa de planejamento permite que possíveis problemas sejam mitigados, com isso, a seguir listam-se riscos delimitados pela equipe e posteriormente pode-se visualizar o gráfico de probabilidade e impacto que se estima para cada um dos riscos levantados.

1. Medidas instáveis ou não confiáveis do sensor de polianilina;
2. Corrosão do sensor ao entrar em contato com a água originando um comprometimento das medidas em longo prazo;
3. Incompatibilidade entre a voltagem de saída do sensor e a voltagem de entrada do microcontrolador necessária para que este reconheça o sinal a este enviado;
4. Grande tempo despendido com a construção e desenvolvimento do circuito de controle (Central);
5. Complexidade muito alta do circuito controlador não permitindo a construção de um protótipo final de baixo custo e de fácil instalação no aquário;
6. Incompatibilidade entre a voltagem e corrente de saída do microcontrolador e a voltagem e corrente de entrada necessária para o funcionamento das bombas peristálticas;
7. Dificuldade em se construir o circuito atuador e definir o melhor *design* para o usuário.
8. Grande tempo despendido com alguma etapa do trabalho, impedindo que outras áreas do projeto fossem desenvolvidas a tempo.

A seguir, mostra-se o gráfico de impacto x probabilidade de cada risco listado previamente:

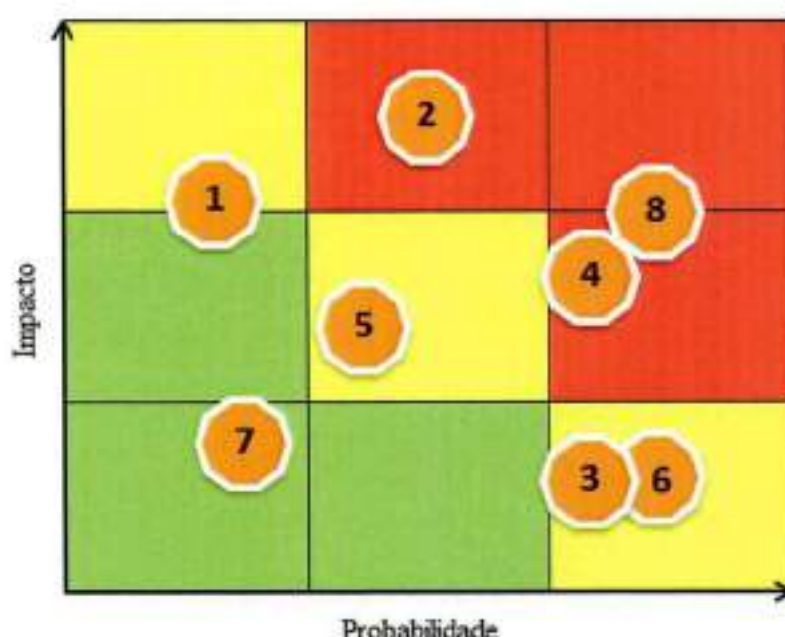


Figura 19 - Gráfico de Impacto x Probabilidade para Análise de Risco do Projeto

Como é possível notar a partir do gráfico de análise de riscos probabilidades e impactos, o primeiro risco foi considerado baixo, porém caso este risco ocorresse teria grande impacto no projeto. Com isso, foi decidida previamente uma medida de contenção que seria tomada caso este risco ocorresse: a equipe focaria em pesquisar outro tipo do sensor e ao mesmo tempo cotar sensores já existentes e funcionais no mercado para a aplicação do projeto.

O segundo risco, já era mais provável de ocorrer e seu impacto era razoavelmente alto, com isso, foi decidido que caso o sensor realmente sofresse grandes corrosões ao ficar muito tempo imerso na água do aquário, um dispositivo que o mergulharia e o retiraria da água seria desenvolvido.

Os riscos 3 e 6, com probabilidades mais elevadas, porém baixo impacto no projeto caso ocorressem, não tiveram um plano de contenção já que a equipe saberia que adicionando outros dispositivos eletrônicos adequados, os problemas poderiam ser contornados de forma simples.

Os riscos 4 e 8 por sua vez, tinham grande probabilidade e um impacto significativo caso ocorressem, merecendo especial atenção em suas análises. Com isso, o gerenciamento do grupo foi adaptado tal que os dois primeiros módulos (Caracterização do Sensor e Construção do Módulo Controlador) foram desenvolvidos paralelamente, assim caso houvesse maiores

dificuldades em alguma área, o líder do grupo poderia dar suporte operacional ou mesmo a pessoa responsável poderia procurar soluções alternativas por meio de pesquisa a materiais literários ou a professores experientes na área.

O risco 5 foi considerado de média probabilidade e impacto, e foi mitigado buscando-se desde o início utilizar um microcontrolador que é um dispositivo de pequenas dimensões e ainda permite que diversas funções sejam nele implementadas, evitando-se o uso excessivo de componentes adicionais no circuito final.

Por final, o risco 7, de baixa probabilidade e impacto foi mitigado, buscando-se desde o início opções de dispositivos que fariam a deposição dos buffers no aquário, isso possibilitou que ao se construir o circuito atuador pequenas bombas peristálticas fossem utilizadas, facilitando-se o desenvolvimento do protótipo final e a criação de seu design focado no usuário aquarista.

7 GERENCIAMENTO DO PROJETO

O gerenciamento do projeto iniciou-se com a definição de um líder para a equipe, o qual seria responsável por desenvolver os cronogramas, delegar tarefas e tomar decisões em caso de impasses entre os integrantes do grupo.

A divisão de tarefas ocorria semanalmente e dependia tanto do planejamento prévio do projeto quanto da evolução das atividades realizadas na semana anterior. Em caso de problemas ou atrasos o cronograma seria atualizado e se necessário medidas para adiantar o projeto seriam tomadas.

Tendo três módulos a se desenvolver no projeto, optou-se por manter o desenvolvimento de 2 módulos em paralelo, a Construção e Caracterização dos Sensores e o Desenvolvimento e a Implementação do Módulo Controlador. Em caso de problemas nestes módulos o líder ajudaria e trabalharia com o componente do grupo envolvido na área.

Em relação ao Orientador, reuniões semanais ou mesmo a cada duas semanas dependendo da quantidade de dúvidas e problemas, ocorriam. Nestas reuniões era possível expor as metas atingidas e as novas dúvidas obtidas, ou mesmo conselhos eram dados pelo Orientador, para melhorar o desenvolvimento do projeto.

Apesar de encontrar muitos problemas, a equipe teve um trabalho consistente e uniforme ao longo da etapa de desenvolvimento, podendo assim retirar os obstáculos a rapidamente, desenvolver os módulos e integrá-los ao final do projeto.

8 CONCLUSÃO

O objetivo do PA era o desenvolvimento e a construção de um circuito medidor, controlador e atuador do nível do pH de um sistema, um aquário. Tendo com clareza três pontos distintos, o projeto apresenta três meios de atuação quando da construção de cada componente do protótipo final.

Para a construção dos sensores, optou-se pelo uso de sensores com polímeros condutores. Para isso os sensores foram construídos pelo método da deposição de íons e caracterizados com a obtenção de gráficos e dados de desempenho. O circuito controlador, por sua vez, utiliza um conversor A/D de um *chip* que foi programado em linguagem C e fornece dados digitais ao circuito atuador.

Este último realiza a atuação no sistema aquário, depositando o *buffer* e permitindo que a variável pH retorne ao valor de controle, o valor desejado pelo usuário do aquário.

Foi possível notar como os sensores são suscetíveis a influências de circuitos eletrônicos, sendo necessário separar momentos do projeto para se resolver tais problemas. Outro ponto importante é notar que apesar da incompatibilidade entre a saída de certos componentes e a entrada de outros, é possível com um bom projeto de eletrônica, solucionar tais empecilhos e melhorar a estabilidade e confiabilidade do sistema.

8.1 Contribuições e Inovações Esperadas

O projeto, como listado anteriormente, foi escolhido pela equipe devido a sua adequação ao curso de Engenharia Elétrica com Ênfase em Sistemas Eletrônicos e devido a sua aplicabilidade no cotidiano dos usuários aquaristas.

8.1.1 – Contribuições Disciplinares

8.1.1.1 – Estudo de sensores microeletrônicos e fabricação destes

Apesar de possuir contato com a microeletrônica, línguas eletrônicas e mesmo com os polímeros condutores, os alunos neste projeto puderam concretamente lidar com tais dispositivos tendo até mesmo que decidir por si só certos aspectos técnicos e eletrônicos.

A leitura de artigos foi importante e mesmo as visitas aos laboratórios do Departamento de Sistemas Eletrônicos da Universidade de São Paulo e a construção dos sensores, levaram a equipe a um novo nível de proximidade com este assunto.

8.1.1.2-Sistema de Controle de Malha Fechada

O grande diferencial deste projeto é sua abrangência no que diz respeito às diversas áreas dos sistemas eletrônicos e ainda este une todos estes sistemas num dispositivo de malha fechada que aborda um dos mais importantes temas da área de Automação e Controle.

8.1.1.3-Circuito Controlador e Conversor A/D

O aluno de Engenharia Elétrica depara-se com os microcontroladores inúmeras vezes durante o período da graduação. Por isso, cada vez mais, lidar com as diferentes ferramentas que este dispositivo apresenta é fundamental para não estagnar o desenvolvimento profissional e acadêmico nesta área.

Lidar com o microcontrolador do ponto de vista do Conversor A/D e, adicionalmente, entender a relação deste com um sensor de microeletrônica trazem uma nova perspectiva ao projeto, apesar dos desafios ao longo deste, encontrados.

8.1.2 – Contribuições Pessoais

8.1.2.1 – Aplicação do Conhecimento e Aquisição de Autoconfiança

Uma contribuição pessoal importantíssima para a equipe como um todo foi a aplicação de conhecimentos sedimentados em um projeto no qual o aluno possui liberdade para se expressar e para dar opiniões.

Após aulas assistidas e trabalhos desenvolvidos o aluno pode aplicar o conhecimento de uma forma concreta no projeto.

8.1.2.2 – Evolução no trabalho em equipe

Em relação ao trabalho em equipe, o projeto foi uma oportunidade para notar o quanto se progrediu nesta área e como as lições aprendidas anteriormente aceleraram a integração do grupo e a geração de bons resultados.

8.1.3 – Inovações Esperadas

8.1.3.1 – Aumento da durabilidade do sensor em contato com a água

O grande problema dos polímeros condutores e sensores que utilizam este material é a degradação do dispositivo em um curto período de uso. [5]

Inúmeros artigos e estudos de ponta sobre o assunto apontam esta falha e o projeto visou buscar uma solução primeiramente com a construção de variadas opções de sensores a base dos polímeros de estudo que serão estudados e caracterizados.

Em segundo lugar notou-se que em contato com a água, a degradação do sensor não é considerável, mas tal conclusão apenas foi possível com os dados levantados acerca da durabilidade deste componente que podem ser visualizados nos gráficos do **Apêndice B**.

8.1.3.2 – Automatização de um sistema que apresenta necessidade de intervenção do proprietário do aquário

Automatizar uma função que se em desequilíbrio pode colocar todo o sistema em perigo é a inovação deste projeto, mais ainda se ao fazê-lo de forma simples e bem planejada, for possível diminuir os alto gastos com equipamentos importados que muitas vezes oferecem mais funções que o necessário, para o usuário do aquário.

Aqui se buscou fornecer uma solução acessível e suficiente para o controle de um sistema aquático, que facilitasse a vida de seu usuário.

REFERÊNCIAS

- [1] Fórum Aquário, O pH no Aquário. Disponível em:
<<http://www.forumaquario.com.br/portal/o-ph-no-aquario>>. Acesso em 03/04/11.
- [2] Fórum Aquário, Ciclo do Nitrogênio ou Azoto. Disponível em:
<<http://www.forumaquario.com.br/portal/ciclo-do-nitrogenio-ou-azoto>>. Acesso em 14/05/11.
- [3] Fórum Aquário, Dureza da Água. Disponível em:
<<http://www.forumaquario.com.br/portal/dureza-agua>>. Acesso em 14/05/11.
- [4] PATERNO, L.G., Oliveira Jr O. N., Mattoso L. H. C. Filmes poliméricos ultrafinos produzidos pela técnica de automontagem: preparação, propriedades e aplicações. **Química Nova**, Volume 24, N. 2, p. 228-235, 2001
- [5] GILL, E. et al. Investigation of Thick-Film Polyaniline-Based Conductimetric pH Sensors for Medical Applications. **IEEE Sensors Journal**, Volume 9, N. 5, p. 555-562, May 2009
- [6] 8-bit Microcontroller with 8K Bytes In-System Programmable Flash, ATmega8535, ATmega 8535L. Disponível em:
<http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2502.pdf>. Acesso em 02/06/2011
- [7] Photobucket. Disponível em:
<<http://img.photobucket.com/albums/v702/Pinatubo/peristalticpump.jpg>>. Acesso em 15/11/2011
- [8] Wikipedia, Peristaltic Pump. Disponível em:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Peristaltic_pump>. Acesso em 28/11/2011
- [9] AVR 400: Low Cost A/D Converter. Disponível em:
<http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc0942.pdf>. Acesso em 14/06/2011
- [10] Mult Comercial Ltda. Componentes Eletrônicos. Disponível em:
<http://loja.multcomercial.com.br/ecommerce_site/index.php>. Acesso em 20/06/2011
- [11] Mercado Livre, Bomba Peristáltica. Disponível em:
<http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-183909970-bomba-peristaltica-_JM>. Acesso em 20/06/2011

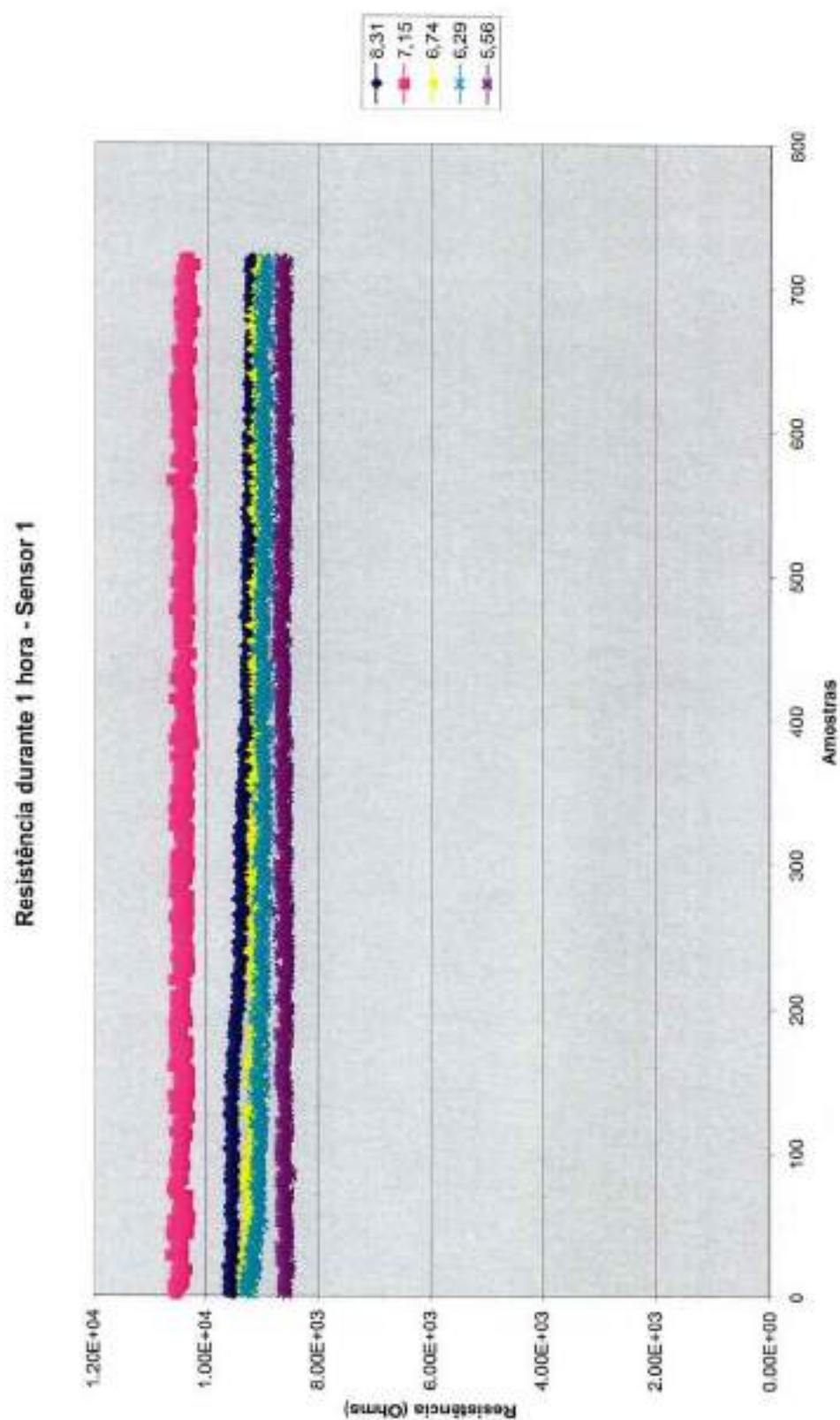
- [12] BLEIBAUM, R.N. et al. Comparison of sensory and consumer results with electronic nose and tongue sensors for apple juices. **Food Quality and Preference**, Volume 13, N. 6, p. 409-422, September 2002
- [13] CARVALHO, E.R. et al. Sensorial System to Detect Chloroform in Water. **Sensor Letters**, Volume 4, N. 2, p. 1-6, June 2006
- [14] CORTINA, M, GUTÉS, A., ALEGRET, S., del VALE, M. Sequential injection system with higher dimensional electrochemical sensor signals Part 2 Potentiometric e-tongue for the determination of alkaline ions. **Talanta**, Volume 66, N. 5, p. 1197-1206, June 2005
- [15] GALLARDO, J. et al. An electronic tongue using potentiometric all-solid-state PVC-membrane sensors for the simultaneous quantification of ammonium and potassium ions in water. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, Volume 377, N. 2, p. 248-256, September 2003.
- [16] GUTÉS, A., CÉSPEDES, F., ALEGRET, S., del VALE, M. Sequential injection system with higher dimensional electrochemical sensor signals Part 1. Voltammetric e-tongue for the determination of oxidizable compounds. **Talanta**, Volume 66, N. 5, p. 1187-1196, June 2005
- [17] GUTIÉRREZ, M., ALEGRET, S., del VALE, M. Potentiometric bioelectronic tongue for the analysis of urea and alkaline ions in clinical samples. **Biosensors and Bioelectronics**, Volume 22, N. 9-10, p. 2171-2178, April 2007
- [18] LEGIN, A., et al. Application of electronic tongue for qualitative and quantitative analysis of complex liquid medias. **Sensors and Actuators B: Chemical**, Volume 65, N. 1-3, p. 232-234, June 2000
- [19] LEGIN, A. et al. Application of the electronic tongue for quantitative analysis of mineral water and wine. **J. Electroanalysis**, Volume 11, N. 10-11, p. 814-820, 1999
- [20] MARTINA, V. et al. Development of an electronic tongue based on a PEDOT-modified voltammetric sensor. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, Volume 387, N. 6, p. 2101-2110, 2007
- [21] MOTTRAM, T., et al. Evaluation of a novel chemical sensor system to detect clinical mastitis in bovine milk. **Biosensors and Bioelectronics**, Volume 22, N. 11, p. 2689-2693, May 2007
- [22] PIOGGIA, G, et al. A composite sensor array impedentiometric electronic tongue Part I. Characterization. **Biosensors and Bioelectronics**, Volume 22, N. 11, p. 2618-2623, May 2007

- [23] RIUL, A., et al. Wine classification by taste sensors made from ultra-thin films and using neural networks. **Sensors and Actuators B: Chemical**, Volume 98, N. 1, p. 77–82, March 2004
- [24] RIUL, A., et al. An electronic tongue using polypyrrole and polyaniline. **Synthetic Metals**, Volume 132, N. 2, p. 109–116, 2009
- [25] RIUL, A., et al. Artificial taste sensor: efficient combination of sensors made from Langmuir-Blodgett films of conducting polymers and a ruthenium complex and self-assembled films of an azobenzene-containing polymer. **Langmuir**, Volume 18, N. 1, p. 239–245, December 2001
- [26] RIUL, A. Jr. et al. Nano-assembled films for taste sensor applications. **Artificial Organs**, Volume 27, N. 5, p. 469–472, May 2003
- [27] WINQUIST, F. et al. Monitoring of freshness of milk by an electronic tongue on the basis of voltammetry. **Measurement Science and Technology**, Volume 9, N. 12, p. 1937–1946, September 1998
- [28] MELLO, R.M., DANTAS N.O. Formação e Caracterização Óptica de Filmes Automontados de POMA/PPV. **Química Nova**, Volume 26, N. 2, p. 177–180, 2003
- [29] Fórum Aquário, Qualidade da Água – Melhor Prevenir que Remediar. Disponível em: <<http://www.forumaquario.com.br/portal/qualidade-da-agua-melhor-prevenir-que-remediar>>. Acesso em 03/04/11
- [30] Felideo, O pH do Aquário. Disponível em: <<http://www.felideo.com/2007/05/o-ph-do-aquario.html>>. Acesso em 03/04/11
- [31] Mercado Livre, Controlador e Medidor de pH. Disponível em: <http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-171126860-controlador-e-medidor-de-ph-sera-ceramic-p-aquarios-_JM>. Acesso em 27/03/11
- [32] Felideo, O pH do Aquário. Disponível em: <<http://www.felideo.com/2007/05/o-ph-do-aquario.html>>. Acesso em 10/04/11
- [33] MELLO, R.M., DANTAS N.O. Formação e Caracterização Óptica de Filmes Automontados de POMA/PPV. **Química Nova**, Volume 26, N. 2, p. 177–180, 2003
- [34] SEDRA, A.S., Smith, K.C. et al. Microeletrônica; Pearson, Edição 5, p. 8–140, 2007

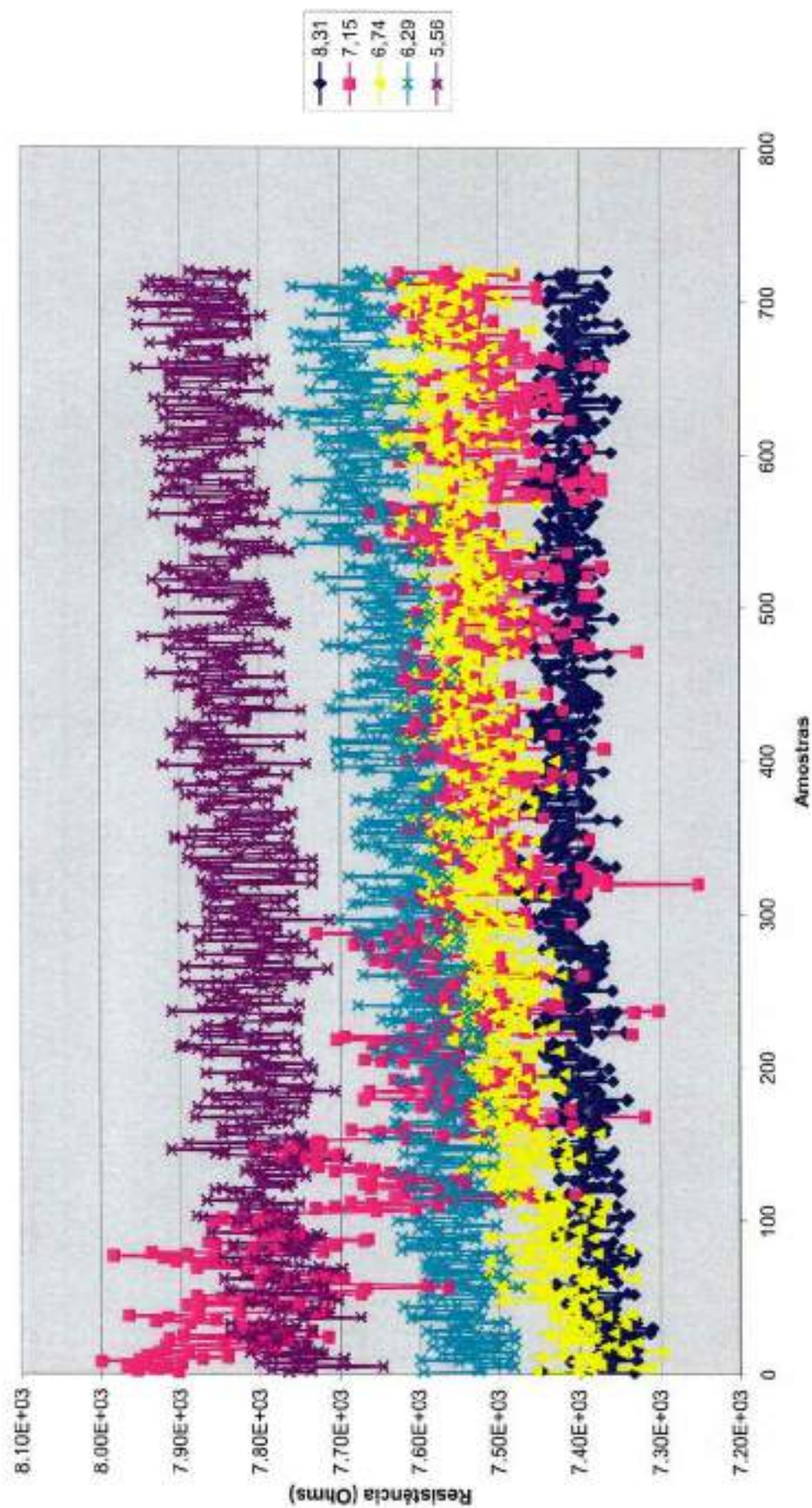
APÊNDICE A – Cronograma das Atividades (Microsoft Project)

	% Com	WBS	Task Name	Duration	Start	Finish	Pred	Resource Names
1	✓ 100%	1	Projeto Atlântida	164 days	Tue 19/04/11	Fri 02/12/11		
2	✓ 100%	1.1	Sensor de pH	163 days	Tue 19/04/11	Thu 01/12/11		
3	✓ 100%	1.1.1	Construção	53 days	Tue 19/04/11	Thu 30/06/11		
4	✓ 100%	1.1.1.1	Levantamento de pesquisa	10 days	Tue 19/04/11	Mon 02/05/11		Grupo
5	✓ 100%	1.1.1.2	Análise de viabilidade	15 days	Tue 03/05/11	Mon 23/05/11	4	Grupo
6	✓ 100%	1.1.1.3	Construção de sensores variados	5 days	Tue 24/05/11	Mon 30/05/11	5	Victor Tominaga
7	✓ 100%	1.1.1.4	Escolha do sensor a ser utilizado	1 day	Thu 23/06/11	Thu 23/06/11	13	Grupo
8	✓ 100%	1.1.1.5	Construção de 4 iguais ao escolhido	5 days	Fri 24/06/11	Thu 30/06/11	7	Lucas Gratz;Victor T
9	✓ 100%	1.1.2	Caracterização do Sensor	133 days	Tue 31/05/11	Thu 01/12/11		
10	✓ 100%	1.1.2.1	Preparação das soluções com pHs variados	2 days	Tue 31/05/11	Wed 01/06/11	6	Lucas Gratz
11	✓ 100%	1.1.2.2	Medidas de estabilidade	3 days	Thu 02/06/11	Mon 06/06/11	10	Victor Tominaga
12	✓ 100%	1.1.2.3	Curva de subida do pH	2 days	Tue 07/06/11	Wed 08/06/11	11	Victor Tominaga
13	✓ 100%	1.1.2.4	Curva de descida do pH	2 days	Thu 09/06/11	Fri 10/06/11	12	Victor Tominaga
14	✓ 100%	1.1.2.5	Testes em várias temperaturas	7 days	Mon 13/06/11	Tue 21/06/11		
15	✓ 100%	1.1.2.5.1	Testes a 15 Graus	2 days	Mon 13/06/11	Tue 14/06/11	11	Victor Tominaga
16	✓ 100%	1.1.2.5.2	Testes a 20 Graus	2 days	Wed 15/06/11	Thu 16/06/11	15	Victor Tominaga
17	✓ 100%	1.1.2.5.3	Testes a 25 Graus	2 days	Fri 17/06/11	Mon 20/06/11	16	Victor Tominaga
18	✓ 100%	1.1.2.5.4	Testes a 30 Graus	1 day	Tue 21/06/11	Tue 21/06/11	17	Victor Tominaga
19	✓ 100%	1.1.2.6	Testes de Deriva	1 day	Wed 22/06/11	Wed 22/06/11	18	Victor Tominaga
20	✓ 100%	1.1.2.7	Repetição das etapas de teste para os novos sensores	20 days	Fri 01/07/11	Thu 28/07/11	8	Lucas Gratz;Victor T
21	✓ 100%	1.1.2.8	Testes com o sensor integrado ao circuito	1 day?	Thu 01/12/11	Thu 01/12/11		Lucas Gratz;Patricia
22	✓ 100%	1.2	Circuito de Controle e Automação	139 days	Tue 24/05/11	Fri 02/12/11		
23	✓ 100%	1.2.1	Estudo do sinal de entrada	6 days	Tue 24/05/11	Tue 31/05/11		Lucas Gratz;Patricia
24	✓ 100%	1.2.2	Aquisição dos componentes do protótipo	5 days	Wed 01/06/11	Tue 07/06/11	23	Lucas Gratz
25	✓ 100%	1.2.3	Montagem do protótipo	5 days	Wed 08/06/11	Tue 14/06/11	24	Patricia Tirachi
26	✓ 100%	1.2.4	Simulação do sinal de entrada	3 days	Wed 15/06/11	Fri 17/06/11	25	Patricia Tirachi
27	✓ 100%	1.2.5	Conversão AD do sinal de entrada	10 days	Mon 20/06/11	Fri 01/07/11	26	Lucas Gratz;Patricia
28	✓ 100%	1.2.6	Registradores do Display de LEDs	5 days	Mon 04/07/11	Fri 08/07/11	27	Lucas Gratz;Patricia
29	✓ 100%	1.2.7	Amplificação do sinal de entrada	10 days	Mon 11/07/11	Fri 22/07/11	28	Lucas Gratz;Patricia
30	✓ 100%	1.2.8	Rotina de interrupção para inserir referência	10 days	Mon 25/07/11	Fri 05/08/11	29	Patricia Tirachi
31	✓ 100%	1.2.9	Rotina de interrupção para atuar via push-button	10 days	Mon 08/08/11	Fri 19/08/11	30	Patricia Tirachi
32	✓ 100%	1.2.10	Saída para o circuito atuador	5 days	Wed 23/11/11	Tue 29/11/11	38	Patricia Tirachi
33	✓ 100%	1.2.11	Criação da função de leitura do pH	15 days	Fri 29/07/11	Thu 18/08/11	20	Lucas Gratz;Patricia
34	✓ 100%	1.2.12	Revisão da programação	15 days	Fri 15/08/11	Thu 08/09/11	33	Lucas Gratz
35	✓ 100%	1.2.13	Atuador	20 days	Mon 07/11/11	Fri 02/12/11		
36	✓ 100%	1.2.13.1	Aquisição das bombas peristálticas	5 days	Mon 07/11/11	Fri 11/11/11		Victor Tominaga
37	✓ 100%	1.2.13.2	Caracterização da vazão da bomba	5 days	Mon 14/11/11	Fri 18/11/11	36	Patricia Tirachi
38	✓ 100%	1.2.13.3	Caracterização da resposta do buffer ácido	2 days	Mon 21/11/11	Tue 12/12/11	37	Patricia Tirachi
39	✓ 100%	1.2.13.4	Caracterização da resposta do buffer alcalino	2 days	Wed 23/11/11	Thu 24/11/11	38	Patricia Tirachi
40	✓ 100%	1.2.13.5	Integração da bomba ao circuito de controle	5 days	Mon 28/11/11	Fri 02/12/11	43	Lucas Gratz;Patricia
41	✓ 100%	1.3	Produto Final	15 days	Mon 14/11/11	Fri 02/12/11		
42	✓ 100%	1.3.1	Criação do esquema do circuito utilizando o Eagle	5 days	Mon 14/11/11	Fri 18/11/11		Lucas Gratz;Victor T
43	✓ 100%	1.3.2	Montagem da placa do circuito	5 days	Mon 21/11/11	Fri 25/11/11	42	Grupo
44	✓ 100%	1.3.3	Testes da placa	5 days	Mon 28/11/11	Fri 02/12/11	43	Grupo
45	✓ 100%	1.3.4	Projeto do exterior do produto	5 days	Mon 14/11/11	Fri 18/11/11		Grupo
46	✓ 100%	1.3.5	Montagem do exterior	5 days	Mon 28/11/11	Fri 02/12/11	43;45	Grupo

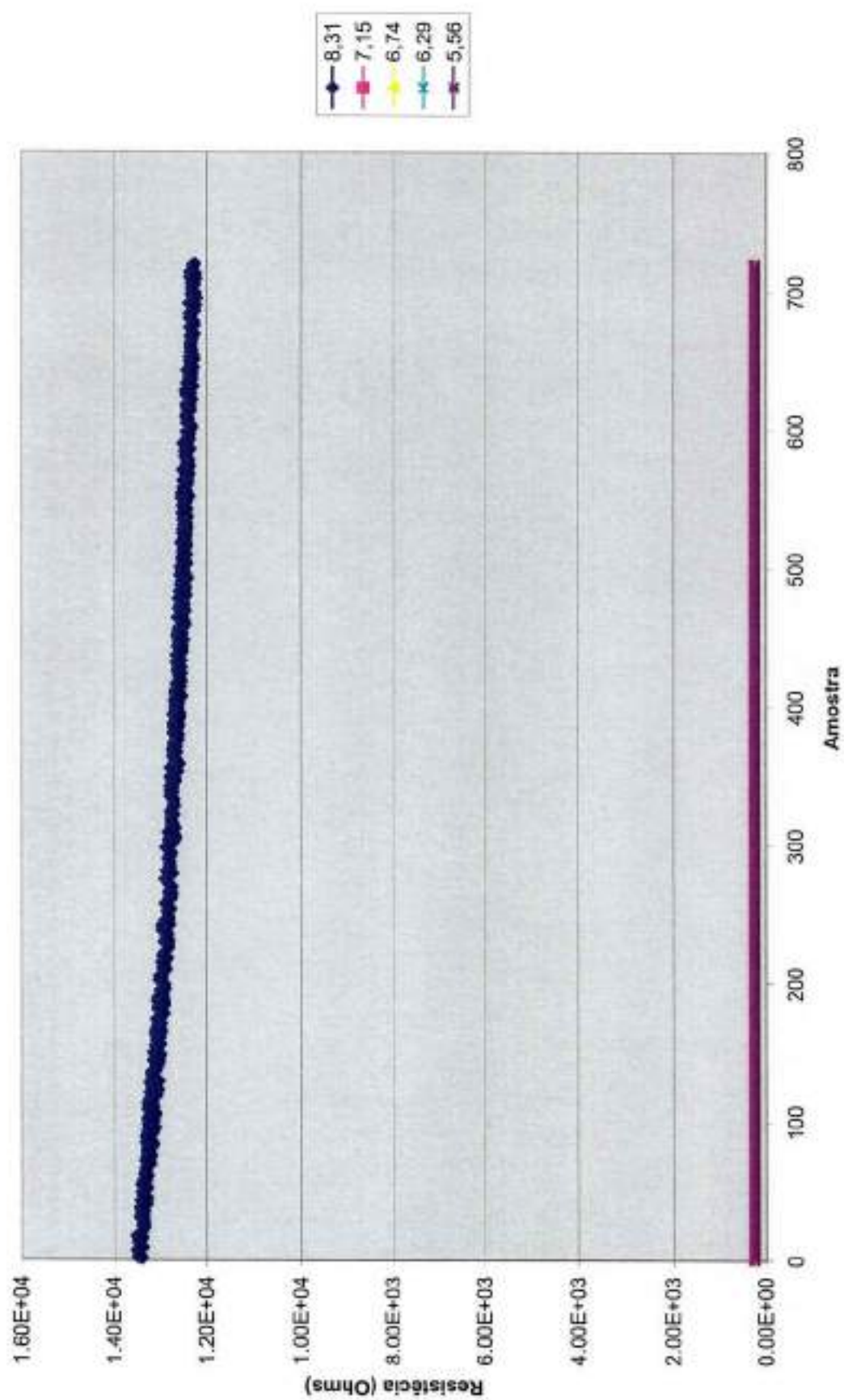
APÊNDICE B – Gráficos para Testes de 1 hora



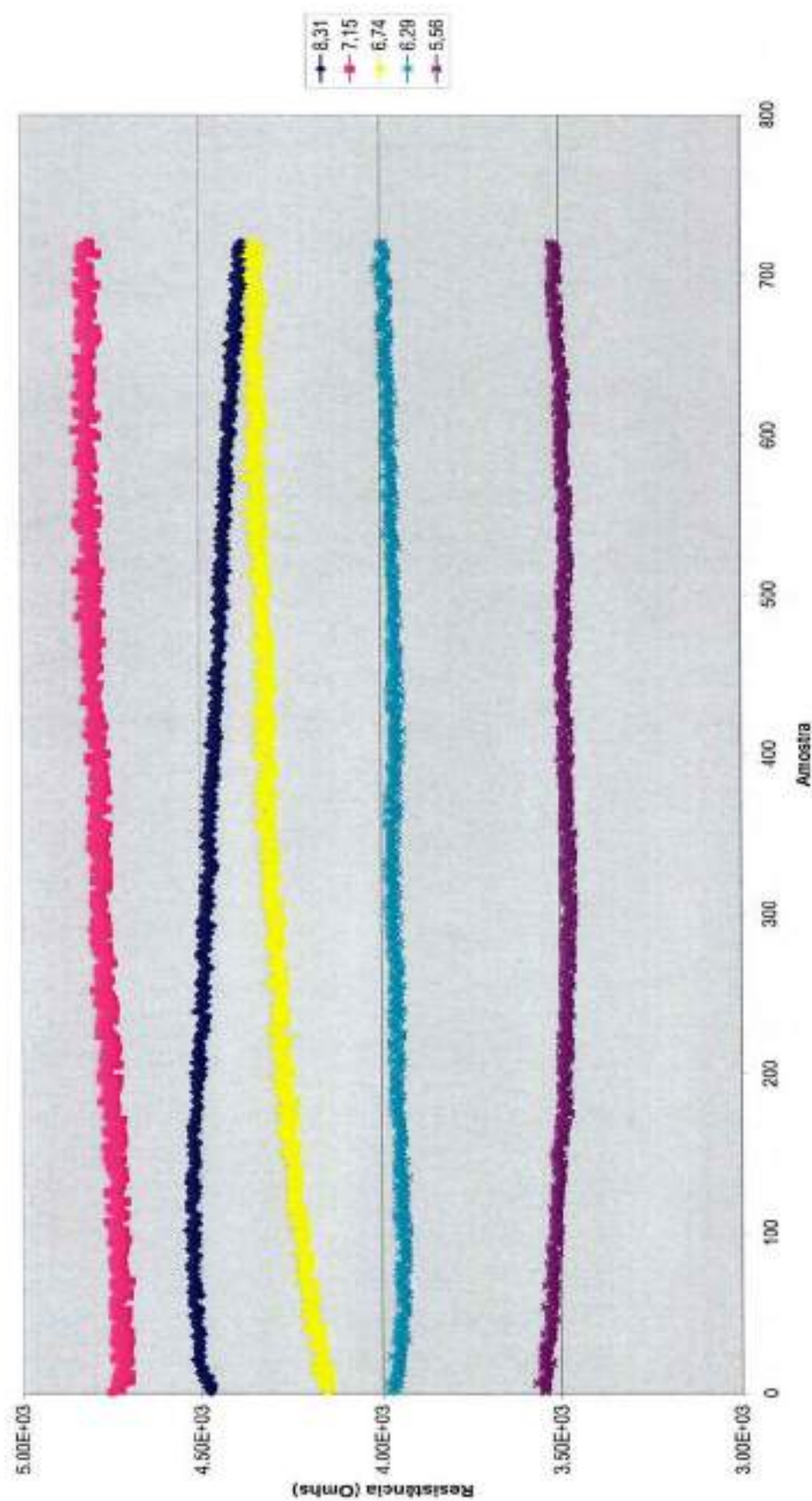
Resistência durante 1 hora - Sensor 2



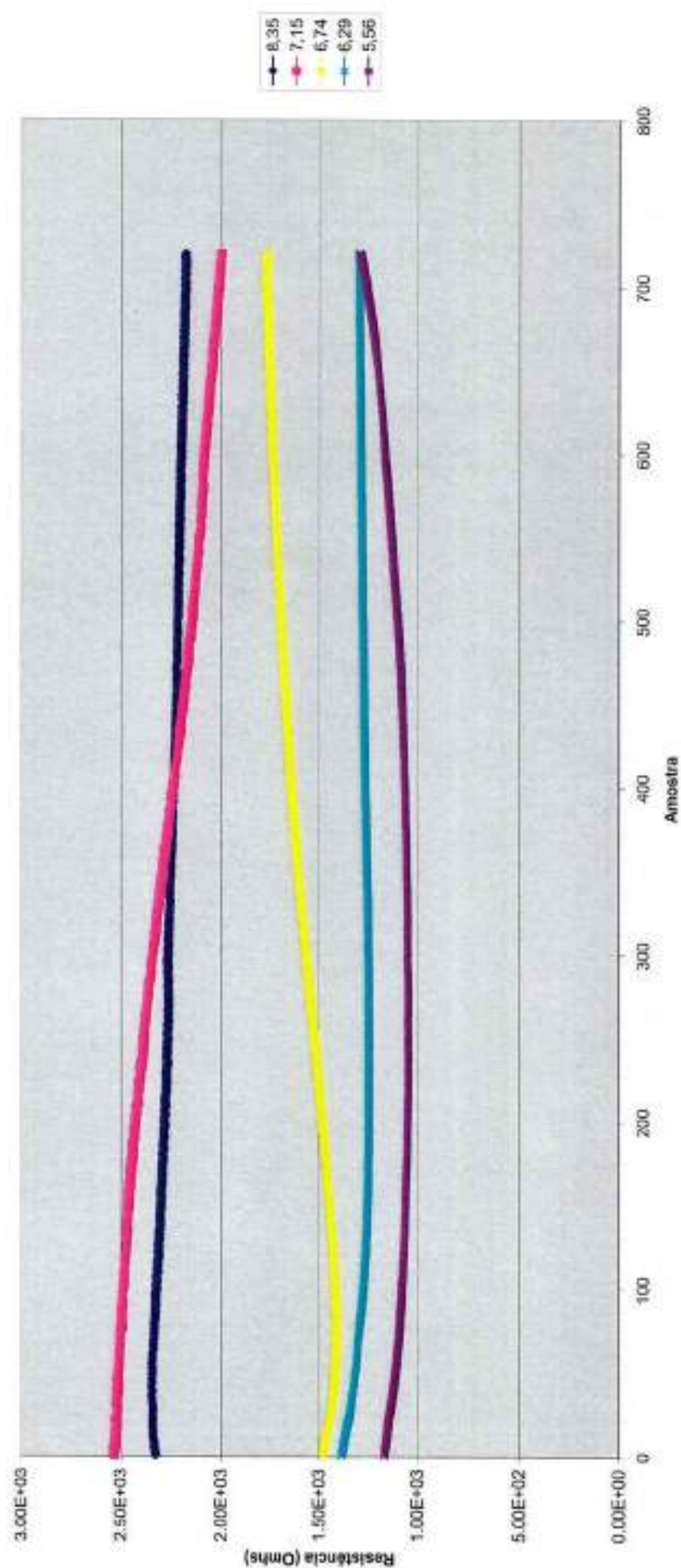
Resistência durante 1 hora - Sensor 3



Resistência durante 1 hora - Sensor 4

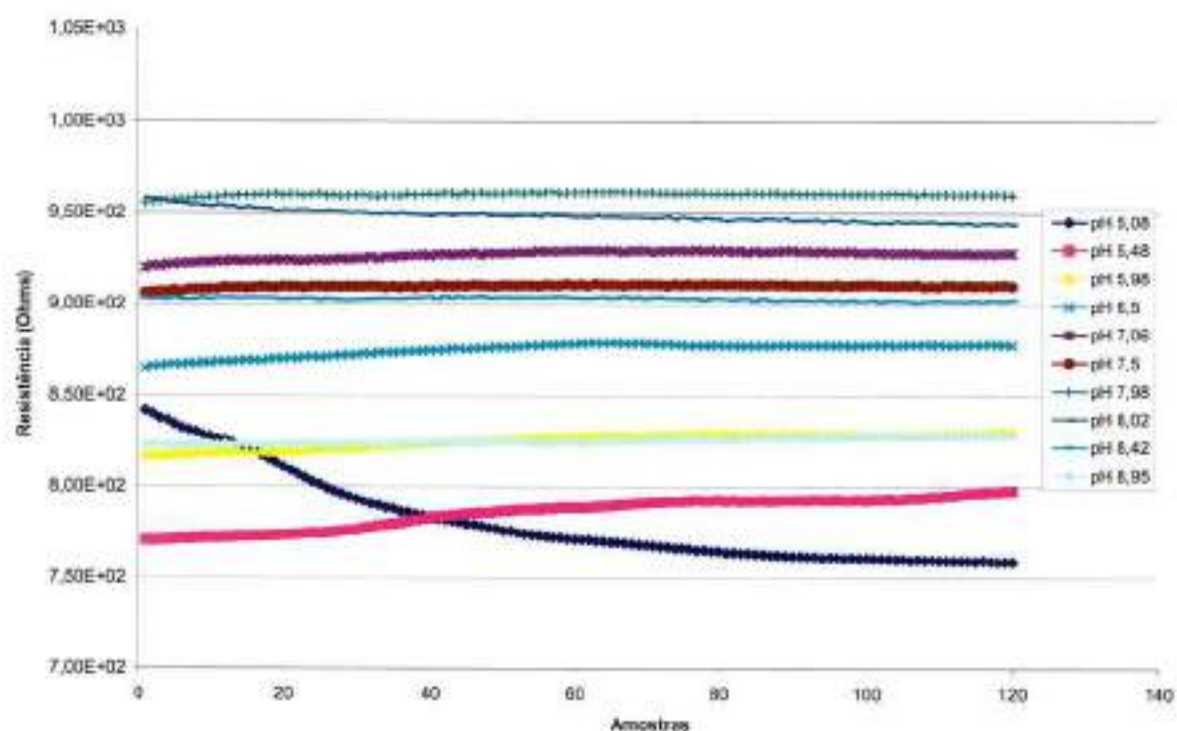


Resistência durante 1 hora - Sensor 5

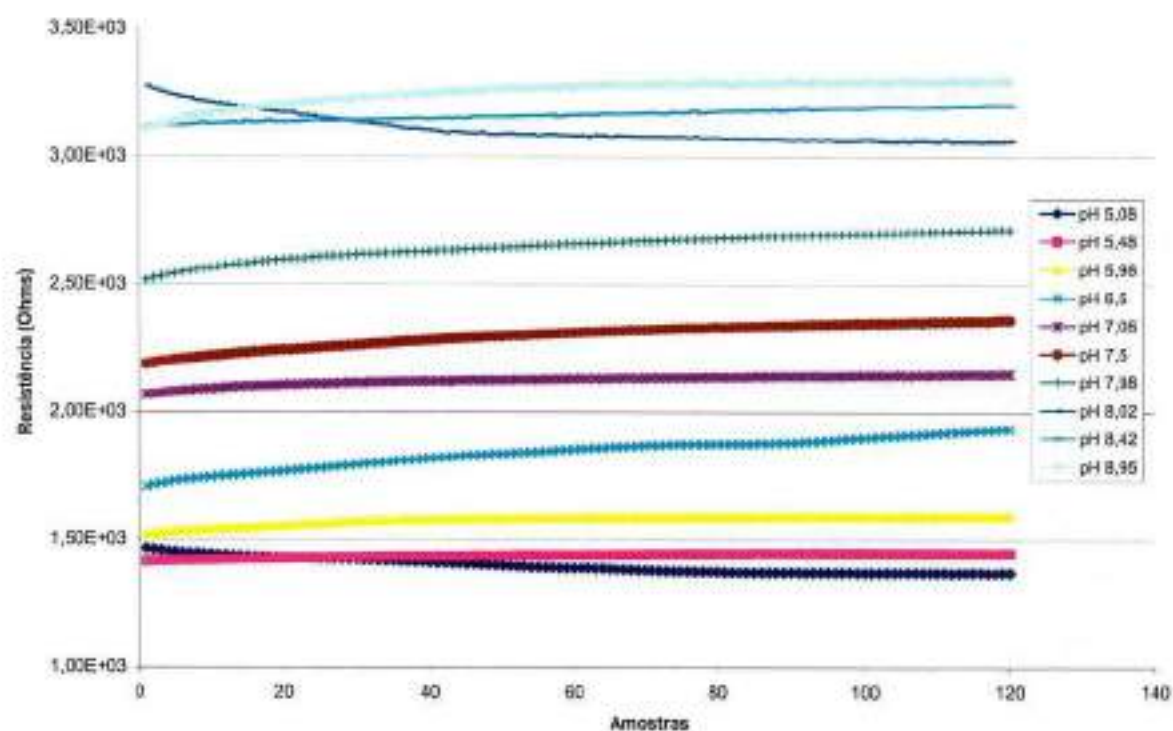


APÊNDICE C – Gráficos para os Sensores de 50 Dígitos / 20 Bicamadas (Teste Final)

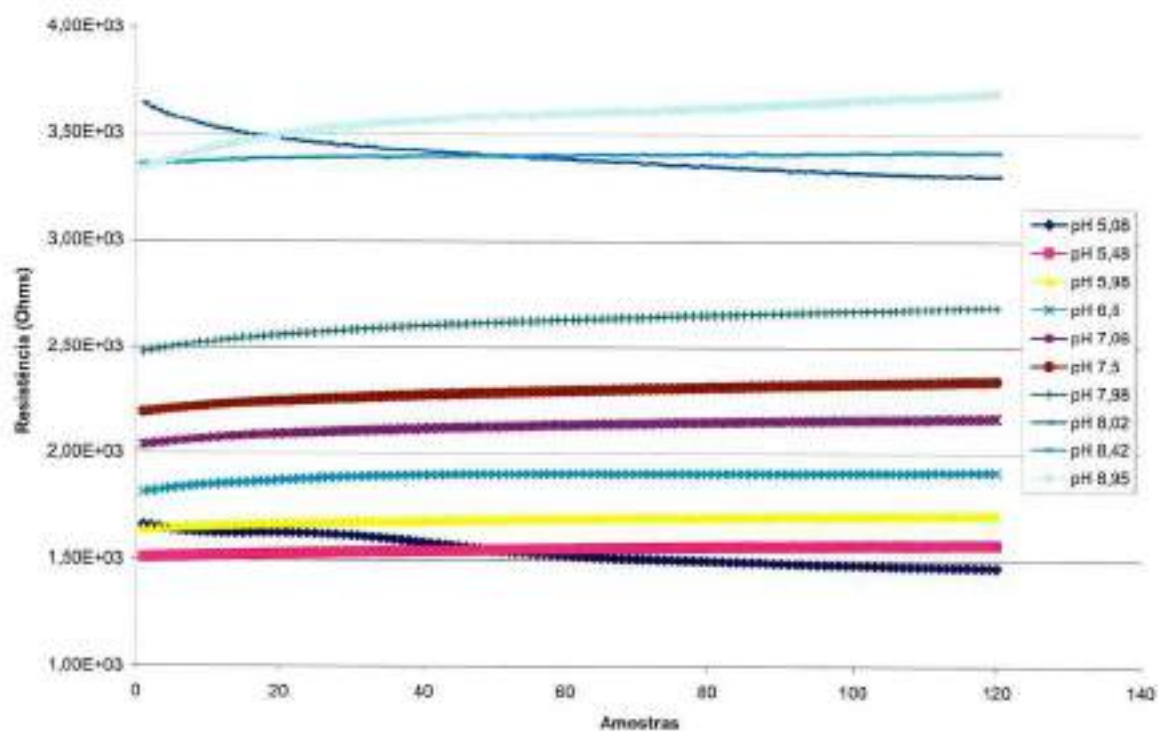
Sensor 1 (F65) - Resistência durante 10 minutos (120 amostras)



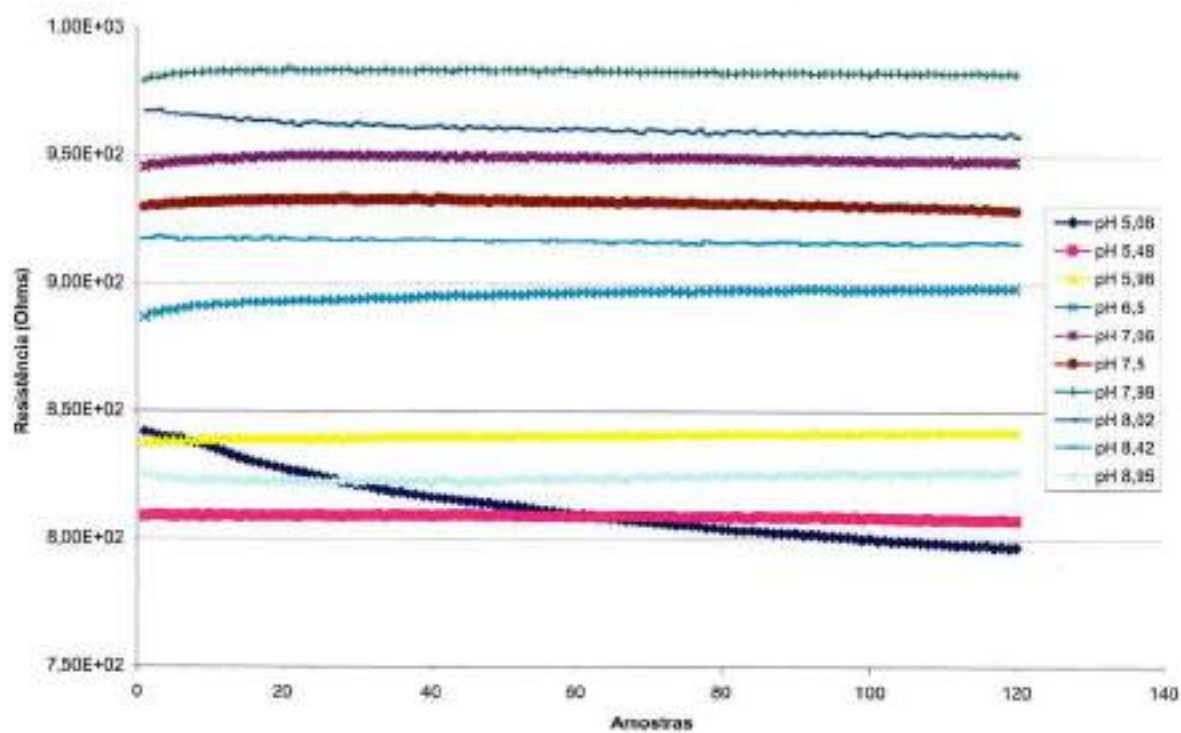
Sensor 2 (F66) - Resistência durante 10 minutos (120 amostras)



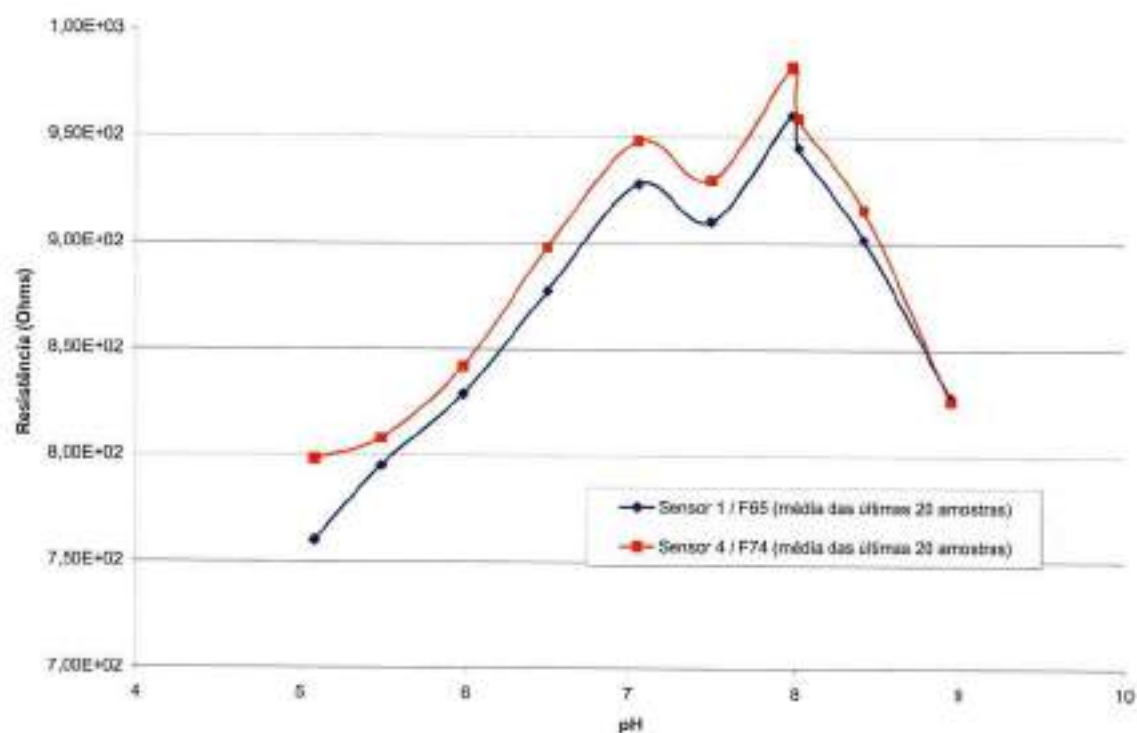
Sensor 3 (F72) - Resistência durante 10 minutos (120 amostras)



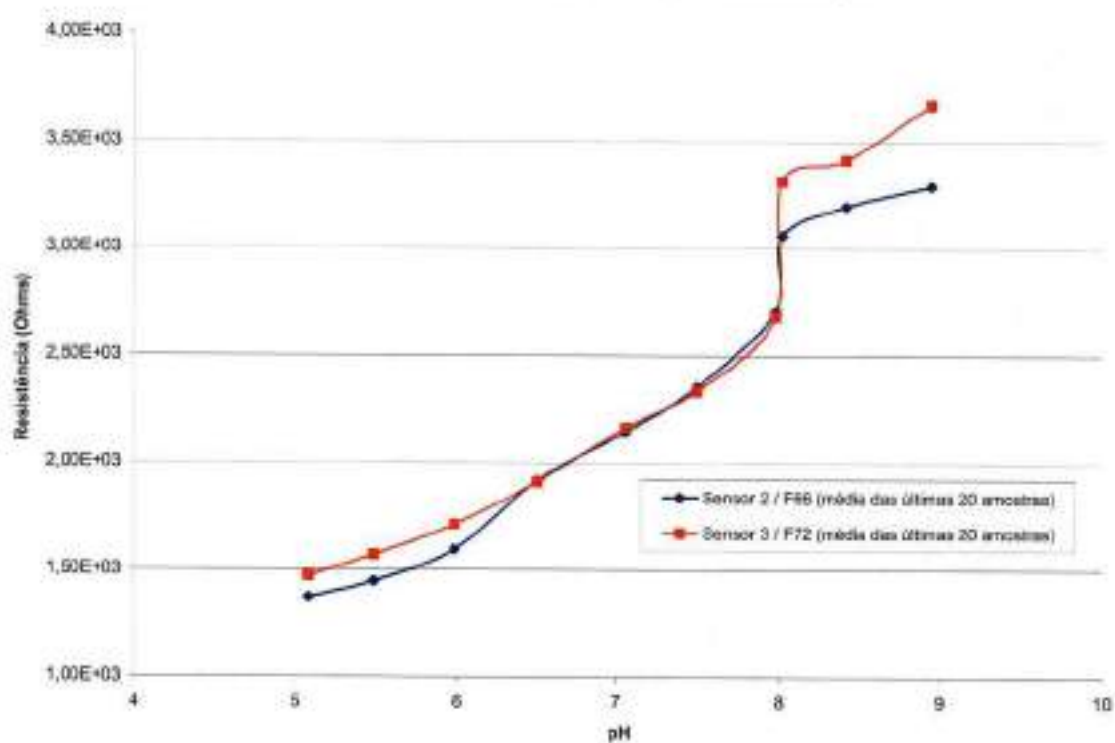
Sensor 4 (F74) - Resistência durante 10 minutos (120 amostras)



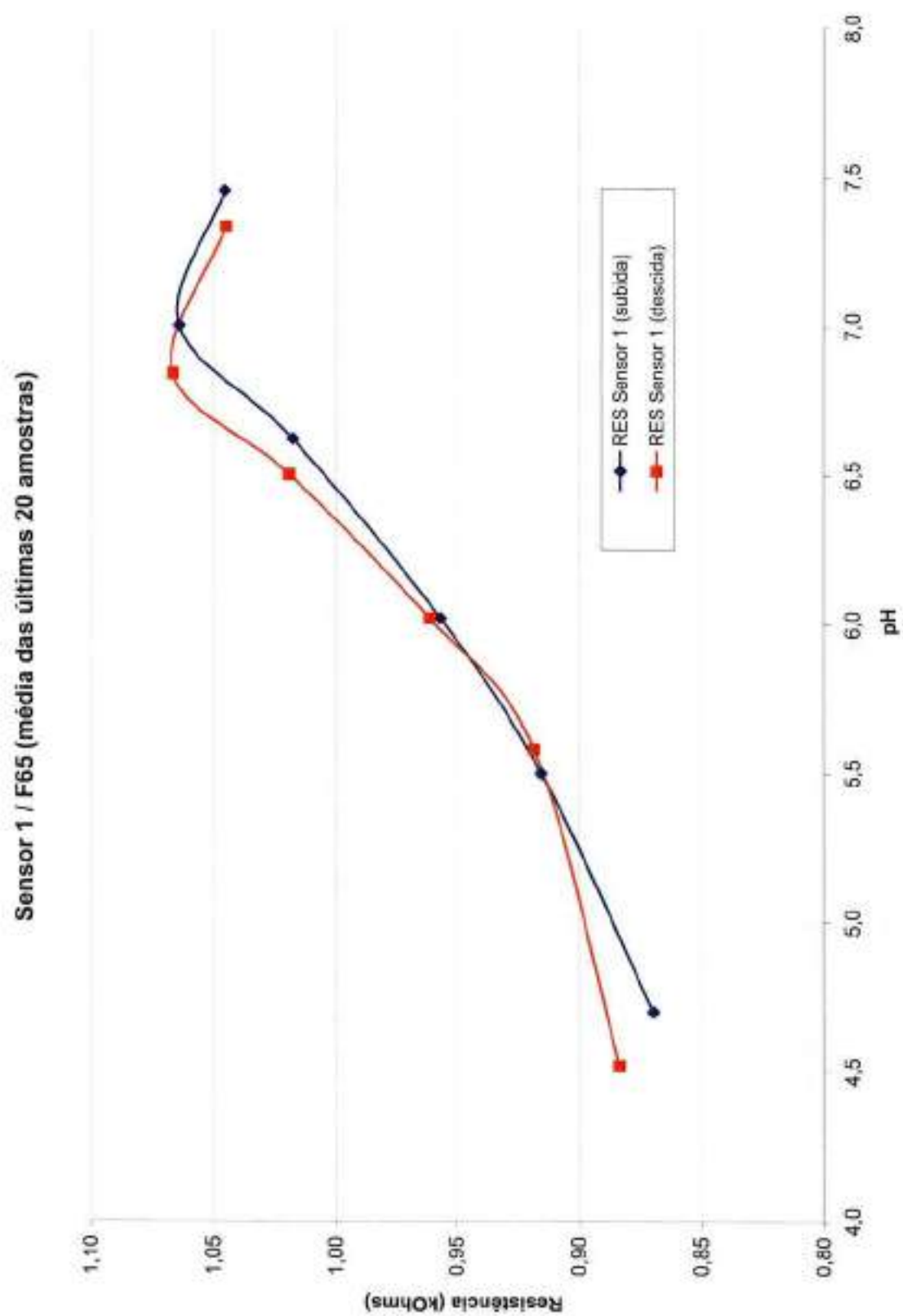
Sensores 20 bicamadas (F65 / F74) - Resistência x pH



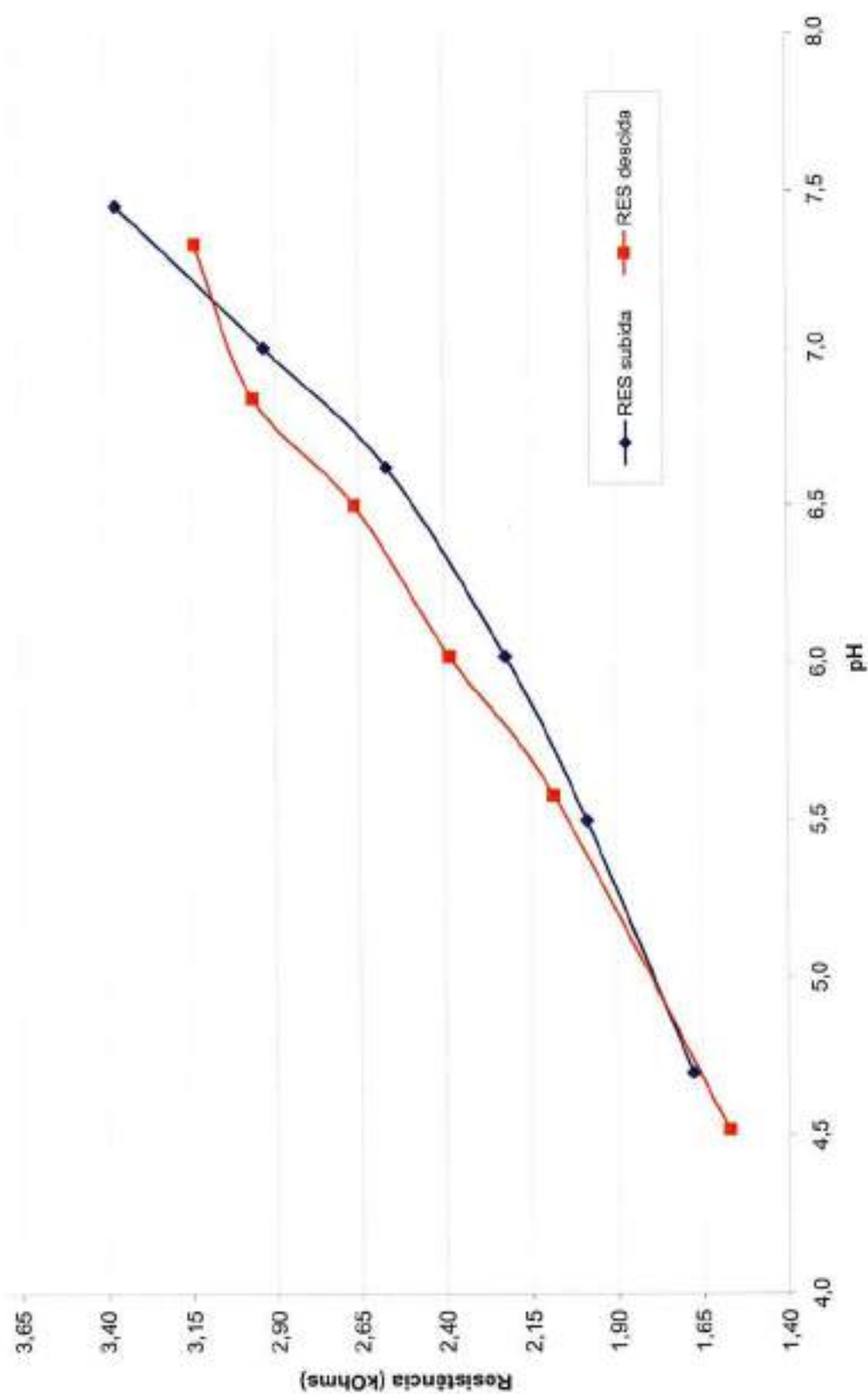
Sensores 20 bicamadas (F66 / F72) - Resistência x pH



APÊNDICE D – Gráficos de Histerese (Teste Final)



Sensor 2 / F66 (média das últimas 20 amostras)



APÊNDICE E – Código em Linguagem C

```
#include <avr/io.h>
#include <avr/delay.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <math.h>
#define T 30
#define NUM_MED 5
#define BMB 900
#define PHT 5000

//inicialização das variáveis ficando acessíveis a todas as funções do
código

volatile int ref_mode;
volatile int ref;
volatile int d1, d2;

//função que recebe os valores recebidos pelo microcontrolador e ativa o
led referente para que o usuário saiba se o pH medido está acima ou abaixo
do valor especificado pelo usuário

void check_ref()
{
    int value;
    value = 10*d1 + d2;

    if(value < ref + 3 && value > ref - 3)
    {
        PORTB |= _BV(PB4);
        PORTB &= ~_BV(PB3);
        PORTB &= ~_BV(PB5);
    }

    else
    {
        if(value >= ref + 3)
        {
            PORTB |= _BV(PB3);
            PORTB &= ~_BV(PB4);
            PORTB &= ~_BV(PB5);
        }

        if(value <= ref - 3)
        {
            PORTB |= _BV(PB5);
            PORTB &= ~_BV(PB3);
        }
    }
}
```

```

        PORTB &= ~_BV(PB4);
    }
}

//função que recebe a variável pH e devolve o resultado da conversão

void read_ph(uint16_t *ph)
{
    ADCSRA |= ((1<<ADSC) | (1<<ADIF)); //Start single conversion
    while(!(ADCSRA & (1<<ADIF))); //Wait for conversion to complete
    *ph = ADC;
}

//função responsável por enviar o clock para o respectivo registrador

void set_clock(int reg)
{
    if (reg == 1)
    {
        PORTB |= (1 << PB1);
        PORTB &= ~(1 << PB1);
    }

    else
    {
        PORTB |= (1 << PB2);
        PORTB &= ~(1 << PB2);
    }
}

//função que recebe o valor medido e o envia para os registradores do
circuito que posteriormente enviarão os dados para os displays do circuito

void registrador(int num, int reg)
{
    //Q7 --DP apenas pro display 1
    if(reg == 1)
        PORTB |= (1 << PB0);
    else
        PORTB &= ~(1 << PB0);
    set_clock(reg);
    if (num == 0 || num == 1 || num == 7 || num == -1) //Q6
        PORTB &= ~(1 << PB0);
    else
        PORTB |= (1 << PB0);
}

```

```

set_clock(reg);
if (num == 1 || num == 2 || num == 3 || num == 7 || num == -1) //Q5
    PORTB &= ~(1 << PB0);
else
    PORTB |= (1 << PB0);
set_clock(reg);
if (num == 0 || num == 2 || num == 6 || num == 8) //Q4
    PORTB |= (1 << PB0);
else
    PORTB &= ~(1 << PB0);
set_clock(reg);
if (num == 1 || num == 4 || num == 7 || num == -1) //Q3
    PORTB &= ~(1 << PB0);
else
    PORTB |= (1 << PB0);
set_clock(reg);
if (num == 2 || num == -1) //Q2
    PORTB &= ~(1 << PB0);
else
    PORTB |= (1 << PB0);
set_clock(reg);
if (num == 5 || num == 6 || num == -1) //Q1
    PORTB &= ~(1 << PB0);
else
    PORTB |= (1 << PB0);
set_clock(reg);
if (num == 1 || num == 4 || num == -1) //Q0
    PORTB &= ~(1 << PB0);
else
    PORTB |= (1 << PB0);
set_clock(reg);
}

```

//função que recebe a referência selecionada pelo usuário e a envia para os registradores do circuito

```

void show_ref()
{
    registrador(ref/10,1);
    registrador(ref%10,2);
}

```

//função que limpa os dados dos registradores do circuito

```

void clear_reg()
{
    registrador(-1,1);
}

```



```

    registrador(-1,2);
}

//função que define a referência selecionada pelo usuário

ISR(INT0_vect)
{
    if(ref_mode == 1)
    {
        while(ref_mode)
        {
            clear_reg();
            _delay_ms(T);
            show_ref();
            _delay_ms(T);

            if(bit_is_clear(PIND,0))
            {
                ref = ref + 1;
                if(ref == 100)
                    ref = 0;

                show_ref();
            }

            if(bit_is_clear(PIND,1))
            {
                ref = ref - 1;
                if(ref < 0)
                    ref = 99;

                show_ref();
            }

            if(bit_is_clear(PIND,2))
            {
                ref_mode = 0;
            }
        }
    }

    else
    {
        ref_mode = 1;
        registrador(d1,1);
        registrador(d2,2);
        check_ref();
    }
}

```

//função que compara o valor de referência escolhido pelo usuário com o valor medido

```
ISR(INT1_vect)
{
    int value;
    value = 10*d1 + d2;
    if(value >= ref + 3){
        PORTC |= _BV(PC0);
        _delay_ms(BMB);
        PORTC &= ~_BV(PC0);
    }
    if(value <= ref - 3){
        PORTC |= _BV(PC1);
        _delay_ms(BMB);
        PORTC &= ~_BV(PC1);
    }
}
```

//função principal que realiza a medida do microcontrolador e a envia para os registradores e displays do circuito

```
int main(){

    int i;
    uint16_t PH;
    uint32_t RES;
    float aux;
    DDRC = 0xFF;
    DDRB = 0xFF;
    DDRA = 0x00;
    DDRD = 0x00;
    PORTA = 0xFF;
    PORTD = 0xFF;
    PORTB = 0x00;
    PORTC = 0x00;

    MCUCR |= _BV(ISC01);
    MCUCR &= ~_BV(ISC00);
    GICR |= (1 << INT0);
    GICR |= (1 << INT1);

    ref_mode = 1;
    d1 = -1;
    d2 = -1;
    ref = 74;
```

```

ADCSRA |= (1<<ADEN)|(1<<ADPS2)|(1<<ADPS1)|(1<<ADPS0);
ADMUX = 0b00010000;
clear_reg();

```

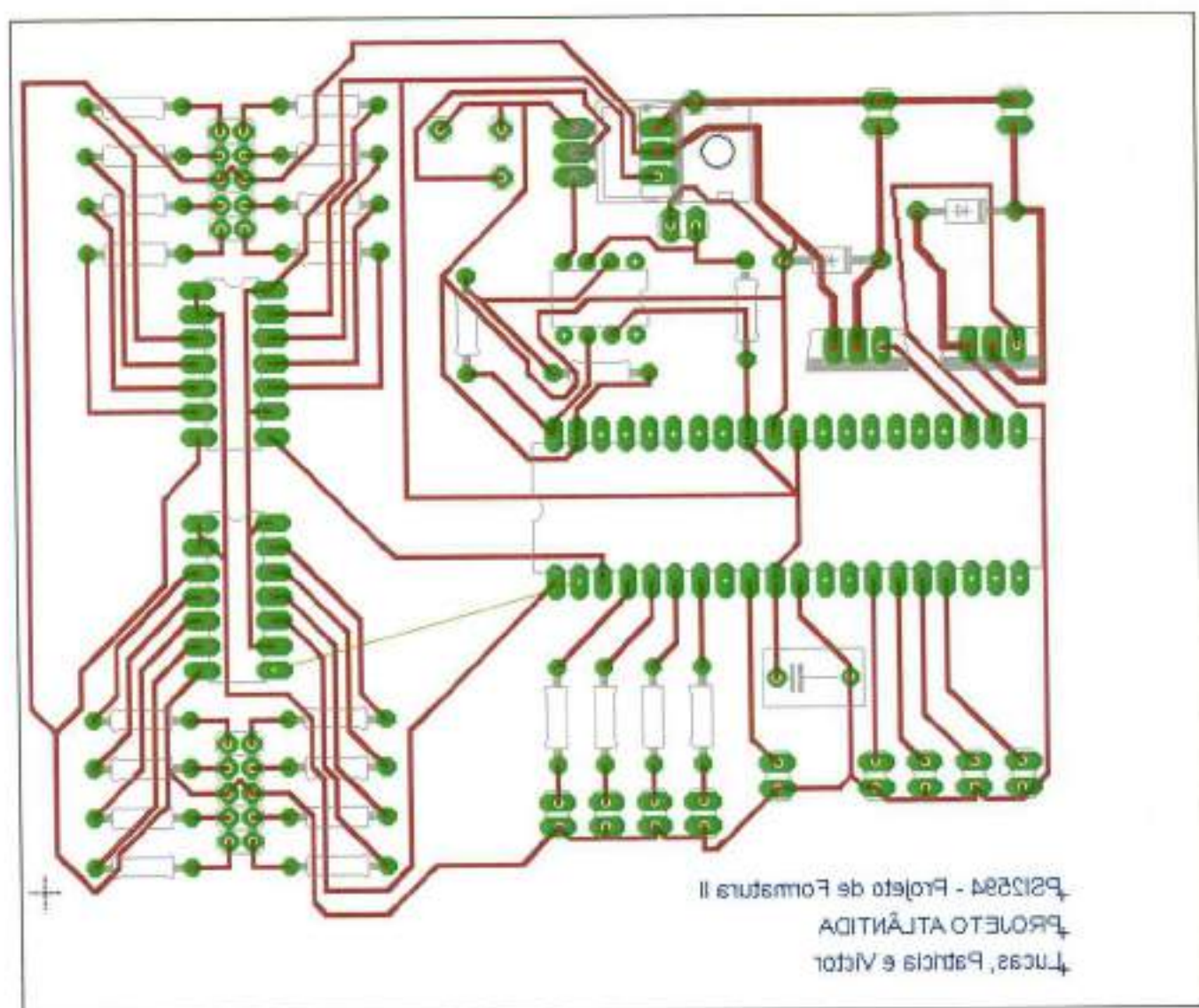
```

while(1){
    RES = 0;
    cli();
    for(i=0;i<NUM_MED;i++){
        PORTB |= _BV(PB6);
        read_ph(&PH);
        RES = RES + PH;
        _delay_ms(500);
    }
    sei();
    PORTB &= ~_BV(PB6);
    RES = round(RES/NUM_MED);
    aux = RES*4.92/512;

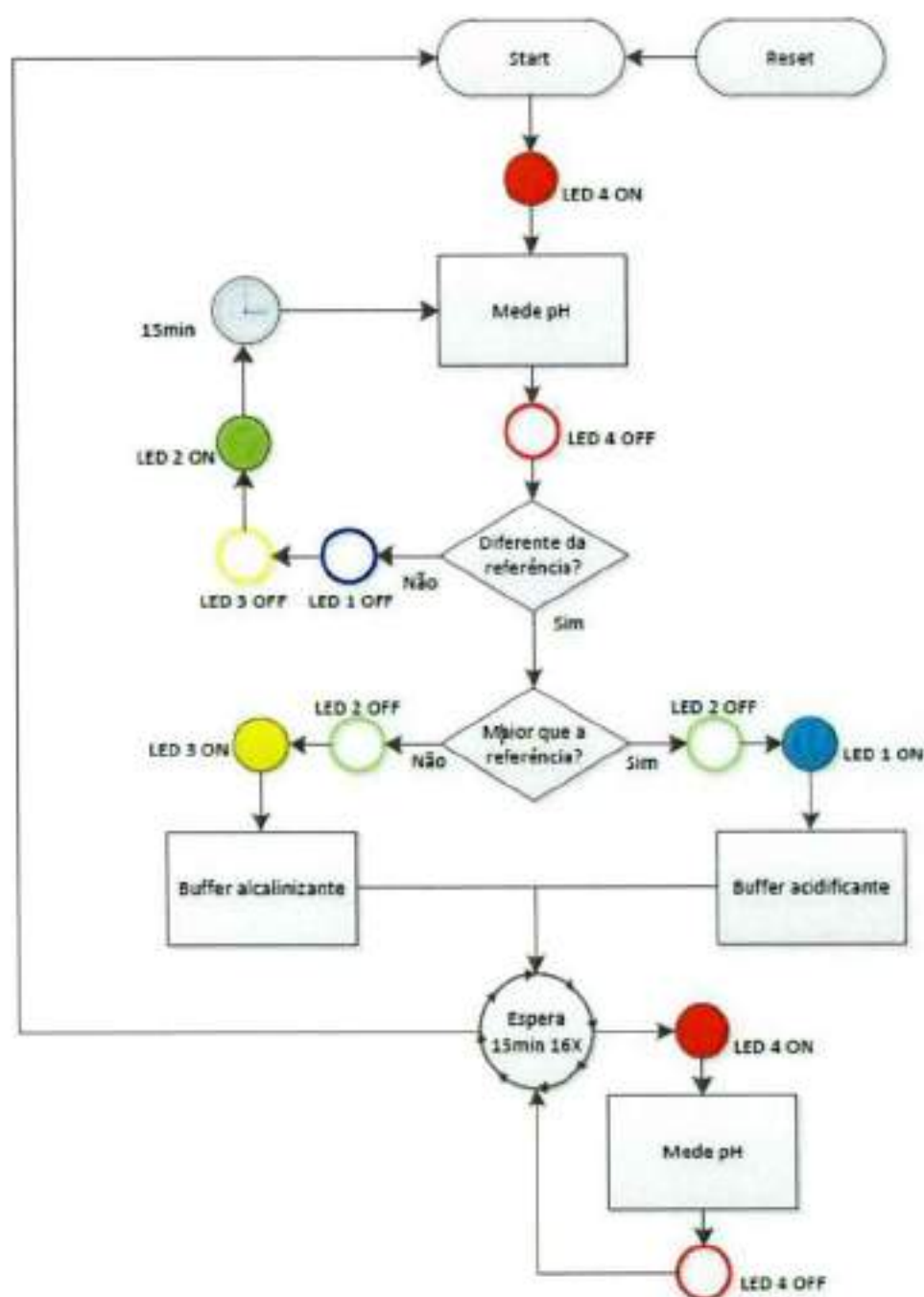
    d1 = (int) aux;
    aux=aux*10;
    d2 = (int) aux;
    d2=d2%10;
    registrador(d1,1);
    registrador(d2,2);
    check_ref();
    _delay_ms(PHT);
}
return 0;
}

```

APÊNDICE F – Esquemático do Circuito Controlador e Atuador Final, no Eagle



APÊNDICE G – Fluxograma do Microcontrolador



APÊNDICE H – Curva de Tensão x pH para o Sensor F66

