

TESE

1119

LA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

Projeto do Controlador para um Fotômetro
Rápido - FOTRAP

ROGERIO SANTIAGO RIBEIRO

ITAJUBA' - MG

2000



Escola Federal de Engenharia de Itajubá

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

PROJETO DO CONTROLADOR PARA UM FOTÔMETRO RÁPIDO - FOTRAP

Dissertação apresentada à Escola
Federal de Engenharia de Itajubá,
para obtenção do título de Mestre
em Engenharia Elétrica.

Rogério Santiago Ribeiro

Itajubá

2000

Rogério Santiago Ribeiro

PROJETO DO CONTROLADOR PARA UM FOTÔMETRO RÁPIDO - FOTRAP

Dissertação apresentada à Escola Federal de Engenharia de Itajubá, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Área de concentração:

Automação e Sistemas Elétricos Industriais

Orientador:

Germano Lambert Torres

Co-orientador:

Germano R. Quast

Itajubá

Dezembro/2000

CLASS. 681.782.43(043.2)
CUT. R484 p
TOMBO. 1119

PROJETO DO CONTROLADOR PARA
UM FOTOMETRO RAPIDO - FOTRAP

Projeto de controle para
um fotometro rapido -
FOTRAP

Projeto de controle para
um fotometro rapido -
FOTRAP

Projeto de controle para
um fotometro rapido -
FOTRAP

Projeto de controle para
um fotometro rapido -
FOTRAP

Resumo

O presente projeto de lei tem por objetivo alterar o Regulamento do Imposto de Renda (RIR/97) e o Regulamento do Imposto de Renda (RIR/97) - Regulamento Nacional de Arrendamento (RNA).

O RIR/97 é o Regulamento do Imposto de Renda (RIR/97) e o Regulamento do Imposto de Renda (RIR/97) - Regulamento Nacional de Arrendamento (RNA). O RNA é o Regulamento Nacional de Arrendamento (RNA) e o Regulamento do Imposto de Renda (RIR/97) - Regulamento Nacional de Arrendamento (RNA).

O presente projeto de lei tem por objetivo alterar o Regulamento do Imposto de Renda (RIR/97) e o Regulamento do Imposto de Renda (RIR/97) - Regulamento Nacional de Arrendamento (RNA). O RNA é o Regulamento Nacional de Arrendamento (RNA) e o Regulamento do Imposto de Renda (RIR/97) - Regulamento Nacional de Arrendamento (RNA).

A proposta prevê a alteração do Regulamento do Imposto de Renda (RIR/97) e do Regulamento do Imposto de Renda (RIR/97) - Regulamento Nacional de Arrendamento (RNA). O RNA é o Regulamento Nacional de Arrendamento (RNA) e o Regulamento do Imposto de Renda (RIR/97) - Regulamento Nacional de Arrendamento (RNA).

O presente projeto de lei tem por objetivo alterar o Regulamento do Imposto de Renda (RIR/97) e o Regulamento do Imposto de Renda (RIR/97) - Regulamento Nacional de Arrendamento (RNA). O RNA é o Regulamento Nacional de Arrendamento (RNA) e o Regulamento do Imposto de Renda (RIR/97) - Regulamento Nacional de Arrendamento (RNA).

O presente projeto de lei tem por objetivo alterar o Regulamento do Imposto de Renda (RIR/97) e o Regulamento do Imposto de Renda (RIR/97) - Regulamento Nacional de Arrendamento (RNA).

**Aos meus pais Arnaldo e Rosália,
pelo incentivo, amor e carinho,
que me serviram de alicerce
nessa realização**

Resumo

O objetivo deste trabalho foi desenvolver o novo controlador do FOTRAP, Fotômetro Rápido do CNPq – Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA).

O FOTRAP é um fotômetro de um só canal, capaz de fazer medidas quase simultâneas em diferentes faixas de radiação eletromagnética, através da rotação em alta velocidade de uma roda de filtros, produzindo fluxos calibrados em unidades físicas, num conjunto de bandas que se estende do ultravioleta ao infravermelho próximo. Trata-se de um tipo básico de medida em astrofísica.

O instrumento entrou em funcionamento no LNA em 1988, e apesar ter sido utilizado quase que exclusivamente no telescópio de 60 cm, tem uma produção científica superior a muitos outros instrumentos que foram utilizados centenas de noites no telescópio de 1,6 m. Isso motivou a criação de uma nova versão do equipamento com a parte de controle totalmente reprojeta, visando à solução de alguns problemas e incorporação de características sugeridas ao longo do tempo de uso, possibilitadas pela evolução dos recursos tecnológicos.

A reforma proposta consistiu em reprojeta e substituir toda a parte eletro-eletrônica do equipamento, com pequenos ajustes para adaptação na parte opto-mecânica e em outras partes do sistema, permitindo em curto prazo, o aumento da eficiência, pela diminuição das horas de manutenção, operação, e melhoria de diversos parâmetros instrumentais, como por exemplo o tempo disponível de passagem por cada filtro. Paralelamente a isso, a aquisição de dados passou a ser sincronizada com o horário do sistema GPS (Global Positioning System), o instrumento passou a ser transportável, com possibilidade de ser utilizado em outros telescópios, além de ter se tornado mais fácil a atualização do software e pequenos ajustes no hardware, dando flexibilidade para otimizar os algoritmos de aquisição de dados e permitir aperfeiçoamentos sem grandes modificações na arquitetura do sistema.

Basicamente, o sistema de controle antigo era baseado no microprocessador Z80, processando rotinas em linguagem de máquina e interfaceando hardware dedicado aos algoritmos de controle e aquisição de dados, juntamente com os acionadores dos motores e um gerador de base de tempo externo. Esse sistema foi substituído por um sistema com componentes mais modernos e menores, com arquitetura baseado em um microcomputador PC de tamanho reduzido, programado em linguagem de alto nível e com recursos dedicados de hardware implementados em uma placa com interface ISA, projetada com dispositivos lógicos programáveis (PLD's). A base de tempo externa foi substituída pelo horário do sistema GPS (Global Positioning System).

O presente trabalho consiste na apresentação do projeto do novo controlador para o FOTRAP, desenvolvido no LNA.

Abstract

The purpose of this work was to develop the new controller of FOTRAP, the High-Speed Photometer of CNPq – Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA), Brazil.

FOTRAP is a only one channel photometer capable to do almost simultaneous measurements in different spectral bands by means of a high-speed rotating filter wheel. High-speed *multicolor* measurements give time-resolved information on the *spectral* behavior of the varying source.

The FOTRAP has been used since 1988 at LNA. Although FOTRAP has been used most of time under 60 cm telescope, it has a superior scientific production to many other instruments that hundreds of nights were used at 1.6 m telescope. That motivated the creation of a new version of the equipment with a completely controller replacement. The goal was to solve some problems and to incorporate some features suggested by the users along the time, beyond the benefit of electronics technology update.

The reform proposal consisted of to project again and to substitute the whole electronics circuit, with small fittings for adaptation in the optomechanical part and also in other parts of the system. That will allow soon the efficiency increase, due to decrease of the hours of maintenance, better setup time and operation time, and the improvement of several instrumental parameters, as for instance the available time of passage for each filter. Besides, the data acquisition became synchronized with the GPS (Global Positioning System) clock, the instrument became smaller and portable, beyond the software update became easier and the hardware got flexibility to allow improvements without big modifications in the system.

Basically the old control system was based on Z80 microprocessor which runs assembler routines interfacing with dedicated hardware for control and data acquisition algorithms, together with the step motors' drivers and the external clock generator. That old system was replaced by an other one with more modern and smaller components, with architecture based on a small PC microcomputer, programmed with high-level language, with dedicated resources of hardware implemented in an ISA bus interface card, assembled with programmable logic devices (PLD's). The external clock was replaced by the GPS system's clock.

The present work consists of the presentation of the new FOTRAP's controller project, developed at LNA.

Agradecimentos

Ao Engenheiro Francisco Rodrigues pelo profissionalismo, amizade e dedicação, de fundamental importância na realização deste trabalho.

Ao professor Germano Lambert Torres pela orientação, incentivo, e companheirismo.

Ao Dr. Germano R. Quast pela orientação, pelas contribuições e boa vontade sempre presentes.

A toda equipe do LNA e EFEI, e a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho.

A Deus que nos renova a cada momento, e permite que continuemos dando cada um dos nossos passos.

(Note: The following table is a reconstruction of the Table of Contents from the image, as the original text is extremely faint.)

CAPÍTULO 1 - Fundamentos da Teoria de Controle	3
1.1 - Introdução	3
1.2 - Justificativa do novo trabalho	5
1.2.1 - Experiência com o FOTRAP anterior	6
1.2.2 - Motivações para o novo trabalho	7
CAPÍTULO 2 - Descrição e Análise do Processo	10
2.1 - Descrição do processo de controle	10
2.1.1 - Descrição do processo de controle	10
2.1.2 - Modelo matemático do processo	11
2.1.3 - Descrição do modelo matemático do processo	12
2.2 - Análise do processo	13
2.2.1 - Análise de estabilidade	13
2.2.2 - Modelo de estado	14
2.2.3 - Modelo de espaço de estados	15
2.2.4 - Modelo de espaço de estados	16
CAPÍTULO 3 - Descrição do Projeto de Controle	18
3.1 - Projeto de controle	18
3.2 - Projeto de controle	24
3.2.1 - Descrição do projeto de controle	25
3.2.2 - Descrição do projeto de controle	25
3.2.3 - Descrição do projeto de controle	25
3.2.4 - Descrição do projeto de controle	25
3.3 - Descrição do projeto de controle	25
3.4 - Descrição do projeto de controle	25
CAPÍTULO 4 - Descrição do Projeto de Controle	28
4.1 - Descrição do projeto de controle	28
4.2 - Descrição do projeto de controle	28
4.2.1 - Descrição do projeto de controle	28
4.2.2 - Descrição do projeto de controle	28
4.2.3 - Descrição do projeto de controle	28
4.2.4 - Descrição do projeto de controle	28
4.3 - Descrição do projeto de controle	28
4.4 - Descrição do projeto de controle	28
CAPÍTULO 5 - Descrição do Projeto de Controle	30
5.1 - Descrição do projeto de controle	30
5.2 - Descrição do projeto de controle	30

Índice de Assuntos

Agradecimentos	IV
Índice de Assuntos	V
Índice de Figuras	VII
Índice de Tabelas	IX
Glossário	X
Resumo	XI
Abstract	XII
CAPÍTULO 1: Introdução.....	1
1.1 Aspectos Gerais da Fotometria	1
1.2 Organização do Trabalho	2
CAPÍTULO 2: Equipamento Atual e Novo Controlador	3
2.1 Equipamento Existente [1].....	3
2.2 Justificativa do novo equipamento.....	5
2.2.1 Problemas com o FOTRAP Antigo [3]	6
2.2.2 Modificações Propostas [3].....	7
CAPÍTULO 3: Descrição e Análise do Problema.....	11
3.1 Descrição do problema com enfoque tecnológico.....	11
3.1.1 Resumo do Processo de Aquisição	11
3.1.2 Modo Rápido Eletrônico - Exigências de Funcionamento.....	11
3.1.3 Modo Rápido Mecânico - Exigências de Funcionamento	12
3.2 Análise.....	13
3.2.1 Análise do problema	13
3.2.2 Modelo de Objetos.....	14
3.2.3 Modelo Dinâmico	16
3.2.4 Modelo Funcional.....	29
CAPÍTULO 4: Definições para a Implementação	33
4.1 Projeto do Sistema	33
4.2 Projeto de Objetos.....	34
4.2.1 Classificação dos Objetos:.....	35
4.2.2 Construção dos objetos do domínio da Aplicação	35
4.2.3 Objetos para Implementação do controle e das interações entre objetos do domínio da aplicação.....	41
4.2.4 Objetos para manipulação do hardware	44
CAPÍTULO 5: Descrição do Hardware e Software	46
5.1 Software	46
5.1.1 Estrutura do Projeto de Software.....	47
5.2 O Hardware do Sistema	51

5.2.1 Arquitetura do Controlador..... 52

5.2.2 Arquitetura da Placa de Interface..... 53

CAPÍTULO 6: Resultados Práticos..... 68

6.1 Fotos 68

6.2 Dados da Fotometria de Seis Estrelas (Modo Magnitude e Cores)..... 72

6.3 Redução Final dos Dados 75

6.4 Padrões Retirados de Catálogo para Comparação dos Resultados 77

6.5 Comparação dos Resultados 77

CAPÍTULO 7: Conclusões..... 79

CAPÍTULO 8: Referências Bibliográficas 81

Figura 3.1 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 24

Figura 3.2 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 25

Figura 3.3 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 26

Figura 3.4 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 27

Figura 3.5 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 28

Figura 3.6 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 29

Figura 3.7 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 30

Figura 3.8 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 31

Figura 3.9 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 32

Figura 3.10 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 33

Figura 3.11 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 34

Figura 3.12 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 35

Figura 3.13 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 36

Figura 3.14 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 37

Figura 3.15 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 38

Figura 4.1 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 39

Figura 4.2 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 40

Figura 5.1 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 41

Figura 5.2 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 42

Figura 5.3 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 43

Figura 5.4 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 44

Figura 5.5 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 45

Figura 5.6 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 46

Figura 5.7 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 47

Figura 5.8 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 48

Figura 5.9 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 49

Figura 5.10 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 50

Figura 5.11 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 51

Figura 5.12 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 52

Figura 5.13 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 53

Figura 5.14 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 54

Figura 5.15 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 55

Figura 5.16 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 56

Figura 5.17 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 57

Figura 5.18 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 58

Figura 5.19 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 59

Figura 5.20 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 60

Figura 5.21 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 61

Figura 5.22 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 62

Figura 5.23 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 63

Figura 5.24 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 64

Figura 5.25 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 65

Figura 5.26 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 66

Figura 5.27 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 67

Figura 5.28 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 68

Figura 5.29 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 69

Figura 5.30 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 70

Figura 5.31 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 71

Figura 5.32 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 72

Figura 5.33 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 73

Figura 5.34 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 74

Figura 5.35 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 75

Figura 5.36 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 76

Figura 5.37 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 77

Figura 5.38 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 78

Figura 5.39 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 79

Figura 5.40 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 80

Figura 5.41 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 81

Figura 5.42 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 82

Figura 5.43 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 83

Figura 5.44 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 84

Figura 5.45 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 85

Figura 5.46 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 86

Figura 5.47 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 87

Figura 5.48 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 88

Figura 5.49 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 89

Figura 5.50 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 90

Figura 5.51 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 91

Figura 5.52 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 92

Figura 5.53 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 93

Figura 5.54 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 94

Figura 5.55 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 95

Figura 5.56 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 96

Figura 5.57 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 97

Figura 5.58 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 98

Figura 5.59 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 99

Figura 5.60 - Diagrama de Blocos de Aquisição de Dados Finais 100

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Partes Componentes do Sistema Completo	3
Figura 2.2 - Parte Opto-Mecânica do Fotômetro.....	4
Figura 2.3 - Diagrama do FOTRAP antigo.....	8
Figura 2.4 - Diagrama do Novo FOTRAP.....	8
Figura 3.1 - Diagrama do Modelo de Objetos.....	17
Figura 3.2 - Diagrama de Eventos do Modo Rápido Eletrônico.....	22
Figura 3.3 - Diagrama de Eventos do Modo Rápido Mecânico.....	23
Figura 3.4 - Diagrama de Eventos da Aceleração do Disco Filtros.....	24
Figura 3.5 - Diagrama de Eventos da Sincronização do Disco Filtros.....	25
Figura 3.6 - Diagrama de Fluxo de Eventos.....	26
Figura 3.7 - Diagrama de Estados da Classe Contador.....	27
Figura 3.8 - Diagrama de Estados da Classe Temporizador.....	28
Figura 3.9 - Diagrama de Estados Aceleração do Disco Filtros.....	28
Figura 3.10 - Diagrama de Estados Sincronismo do Disco Filtros.....	29
Figura 3.11 - Valores de Entrada e Saída.....	30
Figura 3.12 - DFD do Controlador.....	31
Figura 3.13 - Diagrama da Função Contar.....	31
Figura 3.14 - Diagrama da Função Somar Medidas.....	32
Figura 3.15 - Resumo da Estrutura de Dados.....	32
Figura 4.1 - Objetos do Domínio da Aplicação.....	35
Figura 4.2 - Objetos para implementação do controle e das interações entre objetos do domínio da aplicação.....	42
Figura 5.1 - Diagrama dos Módulos do Sistema Completo.....	51
Figura 5.2 - Diagrama de Hardware do Sistema Completo.....	52
Figura 5.3 - Simulação do bloco TPI no Modo Rápido Mecânico.....	59
Figura 5.4 - Simulação do bloco TPI no Modo Rápido Eletrônico.....	60
Figura 5.5 - Simulação do bloco Contador.....	62
Figura 5.6 - Simulação para o Bloco Temporizador dos Motores.....	65
Figura 5.7 - Sinais de Saída dos “encoders” Angulares Acoplados aos Eixos dos Motores.....	66
Figura 6.1 - Detalhes do Controlador.....	68
Figura 6.2 - Bancada de Testes com o Controlador e Parte do Fotômetro.....	69
Figura 6.3 - Controlador Aberto no Telescópio de 60 cm.....	69
Figura 6.4 - Detalhes do Fotômetro Instalado.....	70
Figura 6.5 - Detalhes do Controlador Instalado Sem a Tampa.....	70
Figura 6.6 - Telescópio com o FOTRAP Instalado.....	71

Figura 6.7 - Telescópio com o FOTRAP Instalado.....71
 Figura 6.8 - Sala na Cúpula do Telescópio com o FOTRAP Instalado.....72

Tabela 2.1 - Alguns resultados em Planilhas eletrônicas com o Excel de 1989 até 1994, com
 alguns procedimentos de outras versões (Excel 95)..... 6
 Tabela 2.2 - Resultados da aquisição no Micro Sceptro 4 - Corel..... 7
 Tabela 2.3 - Formação acadêmica, não relacionada com o trabalho..... 26
 Tabela 2.4 - Resultados para o trabalho..... 26
 Tabela 2.5 - Condições de trabalho para o trabalho..... 26
 Tabela 2.6 - Resultados para o trabalho..... 26
 Tabela 2.7 - Resultados para o trabalho..... 26

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 - Artigos Publicados em Revistas Internacionais com Referee, de 1981 até 1996, com dados Provenientes de observações feitas no LNA.....	6
Tabela 6.1 – Resultado de Aquisição no Modo Magnitude e Cores.....	73
Tabela 6.2 - Formatação apresentada pelos resultados após redução final.....	75
Tabela 6.3 - Resultados após redução final.....	76
Tabela 6.4 - Coeficientes Usados para Redução Final da Massa de Dados.....	76
Tabela 6.5 - Padrões UBVRI - Graham - PASP 94, 244 (1982).....	77
Tabela 6.6 - Quadro comparativo entre os valores obtidos e os Padroes UBVRI.....	77

Glossário

- B - Filtro "Blue", ou magnitude medida com este filtro.¹
- BT - Base de Tempo.
- B-V - Índice de cor.¹
- C - Filtro "Clear", ou magnitude medida com este filtro.¹
- DFD - Diagrama de Fluxo de Dados.
- ER - Estação Remota.
- FIFO - "First in First out".
- FOTRAP - Fotômetro Rápido do LNA.
- GPS - "Global Positioning System".
- I - Filtro "Infrared", ou magnitude medida com este filtro.¹
- ISA - "Industry Standard Architecture"
- LNA - Laboratório Nacional de Astrofísica.
- PASP - "Publications of the Astronomical Society of the Pacific".
- PLD - "Programmable Logic Device".
- PMT - "Thermoelectrically Cooled Photomultiplier Tube".
- R - Filtro "Red", ou magnitude medida com este filtro.¹
- TMO - Técnica de Modelagem de Objetos.
- UBVRI - Sistema fotométrico a cinco cores de Cousins.¹
- U - Filtro "Ultraviolet", ou magnitude medida com este filtro.¹
- U-B - Índice de cor.¹
- V - Filtro "Visual", ou magnitude medida com este filtro.¹
- V-R - Índice de cor.¹
- R-I - Índice de cor.¹

1 - Os filtros U B V R I definem o sistema fotométrico a cinco cores de Cousins. As letras U, B, V, R e I podem designar os filtros, mas também as magnitudes de uma estrela medidas nesses filtros. Quanto maior a magnitude, tanto mais fraca é a estrela. As siglas vem das iniciais dos nomes dos filtros em inglês. Os nomes em inglês e comprimentos de onda centrais aproximados (λ , em nanômetros) são: "Clear", "Ultraviolet" ($\lambda=370$ nm), "Blue" ($\lambda=450$ nm), "Visual" ($\lambda=540$ nm), "Red" ($\lambda=650$ nm), e "Infrared", ($\lambda=900$ nm).

Os símbolos U-B, B-V, etc, são os índices de cor, em magnitudes. Medem a cor e com isso a temperatura aproximada de uma estrela. Assim, um índice de cor de B-V=0.64 corresponde a uma temperatura de aproximadamente 5800K (graus Kelvin), que é o caso do Sol. Já B-V=1.50 corresponde a uma estrela fria de apenas 3400K e B-V=-0.10 corresponde a 12000K.

Resumo

O objetivo deste trabalho foi desenvolver o novo controlador do FOTRAP, Fotômetro Rápido do CNPq – Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA).

O FOTRAP é um fotômetro de um só canal, capaz de fazer medidas quase simultâneas em diferentes faixas de radiação eletromagnética, através da rotação em alta velocidade de uma roda de filtros, produzindo fluxos calibrados em unidades físicas, num conjunto de bandas que se estende do ultravioleta ao infravermelho próximo. Trata-se de um tipo básico de medida em astrofísica.

O instrumento entrou em funcionamento no LNA em 1988, e apesar ter sido utilizado quase que exclusivamente no telescópio de 60 cm, tem uma produção científica superior a muitos outros instrumentos que foram utilizados centenas de noites no telescópio de 1,6 m. Isso motivou a criação de uma nova versão do equipamento com a parte de controle totalmente reprojeta, visando à solução de alguns problemas e incorporação de características sugeridas ao longo do tempo de uso, possibilitadas pela evolução dos recursos tecnológicos.

A reforma proposta consistiu em reprojeta e substituir toda a parte eletro-eletrônica do equipamento, com pequenos ajustes para adaptação na parte opto-mecânica e em outras partes do sistema, permitindo em curto prazo, o aumento da eficiência, pela diminuição das horas de manutenção, operação, e melhoria de diversos parâmetros instrumentais, como por exemplo o tempo disponível de passagem por cada filtro. Paralelamente a isso, a aquisição de dados passou a ser sincronizada com o horário do sistema GPS (Global Positioning System), o instrumento passou a ser transportável, com possibilidade de ser utilizado em outros telescópios, além de ter se tornado mais fácil a atualização do software e pequenos ajustes no hardware, dando flexibilidade para otimizar os algoritmos de aquisição de dados e permitir aperfeiçoamentos sem grandes modificações na arquitetura do sistema.

Basicamente, o sistema de controle antigo era baseado no microprocessador Z80, processando rotinas em linguagem de máquina e interfaceando hardware dedicado aos algoritmos de controle e aquisição de dados, juntamente com os acionadores dos motores e um gerador de base de tempo externo. Esse sistema foi substituído por um sistema com componentes mais modernos e menores, com arquitetura baseado em um microcomputador PC de tamanho reduzido, programado em linguagem de alto nível e com recursos dedicados de hardware implementados em uma placa com interface ISA, projetada com dispositivos lógicos programáveis (PLD's). A base de tempo externa foi substituída pelo horário do sistema GPS (Global Positioning System).

O presente trabalho consiste na apresentação do projeto do novo controlador para o FOTRAP, desenvolvido no LNA.

Abstract

The purpose of this work was to develop the new controller of FOTRAP, the High-Speed Photometer of CNPq – Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA), Brazil.

FOTRAP is a only one channel photometer capable to do almost simultaneous measurements in different spectral bands by means of a high-speed rotating filter wheel. High-speed *multicolor* measurements give time-resolved information on the *spectral* behavior of the varying source.

The FOTRAP has been used since 1988 at LNA. Although FOTRAP has been used most of time under 60 cm telescope, it has a superior scientific production to many other instruments that hundreds of nights were used at 1.6 m telescope. That motivated the creation of a new version of the equipment with a completely controller replacement. The goal was to solve some problems and to incorporate some features suggested by the users along the time, beyond the benefit of electronics technology update.

The reform proposal consisted of to project again and to substitute the whole electronics circuit, with small fittings for adaptation in the optomechanical part and also in other parts of the system. That will allow soon the efficiency increase, due to decrease of the hours of maintenance, better setup time and operation time, and the improvement of several instrumental parameters, as for instance the available time of passage for each filter. Besides, the data acquisition became synchronized with the GPS (Global Positioning System) clock, the instrument became smaller and portable, beyond the software update became easier and the hardware got flexibility to allow improvements without big modifications in the system.

Basically the old control system was based on Z80 microprocessor which runs assembler routines interfacing with dedicated hardware for control and data acquisition algorithms, together with the step motors' drivers and the external clock generator. That old system was replaced by an other one with more modern and smaller components, with architecture based on a small PC microcomputer, programmed with high-level language, with dedicated resources of hardware implemented in an ISA bus interface card, assembled with programmable logic devices (PLD's). The external clock was replaced by the GPS system's clock.

The present work consists of the presentation of the new FOTRAP's controller project, developed at LNA.

CAPÍTULO 1: Introdução

1.1 Aspectos Gerais da Fotometria

A medição da luz proveniente de um objeto é chamada de fotometria. Até o final da Idade Média, o olho humano era o meio mais importante de observação astronômica, auxiliado por diversos aparatos mecânicos para medir a posição dos corpos celestes. Mais tarde, no começo do século XVII, foi inventado o telescópio e iniciaram-se as observações astronômicas de Galileu. No fim do século XIX, teve início a fotografia astronômica.

Nas últimas décadas diversos tipos de detectores eletrônicos têm sido utilizados para o estudo da radiação eletromagnética do espaço. A larga faixa do espectro eletromagnético, desde a radiação gama até as ondas de rádio é atualmente usada para observações astronômicas. Como a maioria das observações utiliza radiação eletromagnética, pode-se obter informações sobre a natureza física da fonte estudando a distribuição de energia desta radiação [1,2].

Apesar das observações astronômicas poderem ser feitas fora da atmosfera, com auxílio de satélites, balões e espaçonaves, a grande maioria das observações é obtida da superfície da Terra.

A técnica de fotometria em alta velocidade tem sido utilizada para o estudo de fenômenos envolvendo rápidas variações de brilho em objetos no céu ².

Atualmente, a literatura aborda poucos instrumentos capazes de medir simultaneamente várias faixas de radiação eletromagnética ³. Basicamente, nesses instrumentos, as diferentes componentes de interesse no espectro da luz captada eram medidas cada uma por um detector separado. A principal vantagem desse método é a eficiência máxima no tempo, já que as medidas são obtidas paralelamente. As desvantagens estão ligadas à maior complexidade do sistema optomecânico, e às dificuldades associadas com os diferentes ganhos e sensibilidade nos diferentes detectores.

2 Alguns pontos de referência em termos de resultados científicos obtidos com essa técnica são: "The determination of a reliable stellar diameter from an occultation by the moon (Nather, McCants, and Evans 1970), the discovery of optical pulsations from the Crab Pulsar (Cocke, Disney, e Taylor 1970), the study of "rapid blue variables," many of them cataclysmic variables (Nather e Warner 1971), the first of a series of papers), the discovery of fairly coherent oscillations in dwarf novae in eruption (Warner and Rovinson 1972), the discovery of the optical counterpart of the X-ray pulsations in HZ Herculis (David et al. 1975), the discovery of rings in Uranus (Elliot, Dunham, and Mink 1977), the discovery of the optical bursts in X-ray bursters (Grindlay et al. 1978), the beginning of the study of variable white dwarfs (Nather 1978), the discovery of PG 1159 variables (McGraw et al. 1979), the discovery of DB variables (Winget et al. 1982), and the discovery of variable nuclei of planetary nebulae (Grauer and Bond 1984)" [1].

3 O trabalho pioneiro nesta área foi: "The Simultaneous photometer built by Walraven (Walraven and Walraven 1960) [1].

O fotômetro de um só canal permite a medida em várias cores através de uma roda com filtros diferentes que são colocados no caminho da luz. Esse sistema tem o inconveniente de não fazer medidas simultâneas, implicando erros nas medidas em presença de rápidas flutuações na fonte ou transparência do céu.

Um razoável compromisso que evita a complexidade e inconvenientes da configuração multidetectores pode ser obtido superando também algumas limitações dos fotômetros convencionais com roda de filtros: O Fotômetro Rápido, FOTRAP, que é um fotômetro de um só canal, capaz de fazer medidas em diferentes bandas através da rotação em alta velocidade da roda de filtros (1200 rpm). A principal vantagem é a obtenção quase simultânea das medidas usando somente um detector.

1.2 Organização do Trabalho

Este trabalho foi dividido em sete capítulos, onde são abordados aspectos do projeto de um novo controlador para o FOTRAP, desde as motivações, desenvolvimento, até os resultados finais alcançados.

O capítulo 1 resume o problema científico a ser resolvido com o instrumento, fazendo uma breve alusão histórica sobre as observações astronômicas e a fotometria.

No capítulo 2 são encontradas as motivações que justificam o novo projeto do controlador para o FOTRAP. O equipamento já existente é apresentado, e em seguida é feito um sucinto estudo das necessidades atuais e das vantagens do novo projeto, em vista dos novos recursos tecnológicos.

No capítulo 3 o problema sob aspecto técnico é abordado, seguido da modelagem de uma solução abstraíndo-se da plataforma de implementação. No capítulo 4, aspectos relacionados com a implementação começam a ser tratados. A partir do estudo das complexidades técnicas e disponibilidade de recursos é definida a plataforma de implementação (hardware e software). Com base nessa escolha, é iniciada a implementação com base na modelagem feita no capítulo 3.

No capítulo 5, são apresentados o hardware e o software desenvolvidos. O capítulo 6 expõe alguns dos resultados práticos obtidos, com dados reais de uma observação usando o instrumento.

Finalmente, no capítulo 7, encontram-se as conclusões, com análise dos objetivos atingidos e possibilidades para o futuro.

CAPÍTULO 2: Equipamento Atual e Novo Controlador

2.1 Equipamento Existente [1]

O sistema pode ser dividido em três blocos lógicos: o fotômetro, o bloco de controle, e o bloco de aquisição/armazenamento de dados. A Figura 2.1 ilustra essa divisão. O fotômetro é constituído pela parte opto-mecânica do instrumento, o bloco de controle é formado pelos acionadores dos motores de passo, pelo relógio do sistema e pela estação remota, e o bloco de armazenamento por um microcomputador PC, para interface com o usuário e armazenamento de dados.

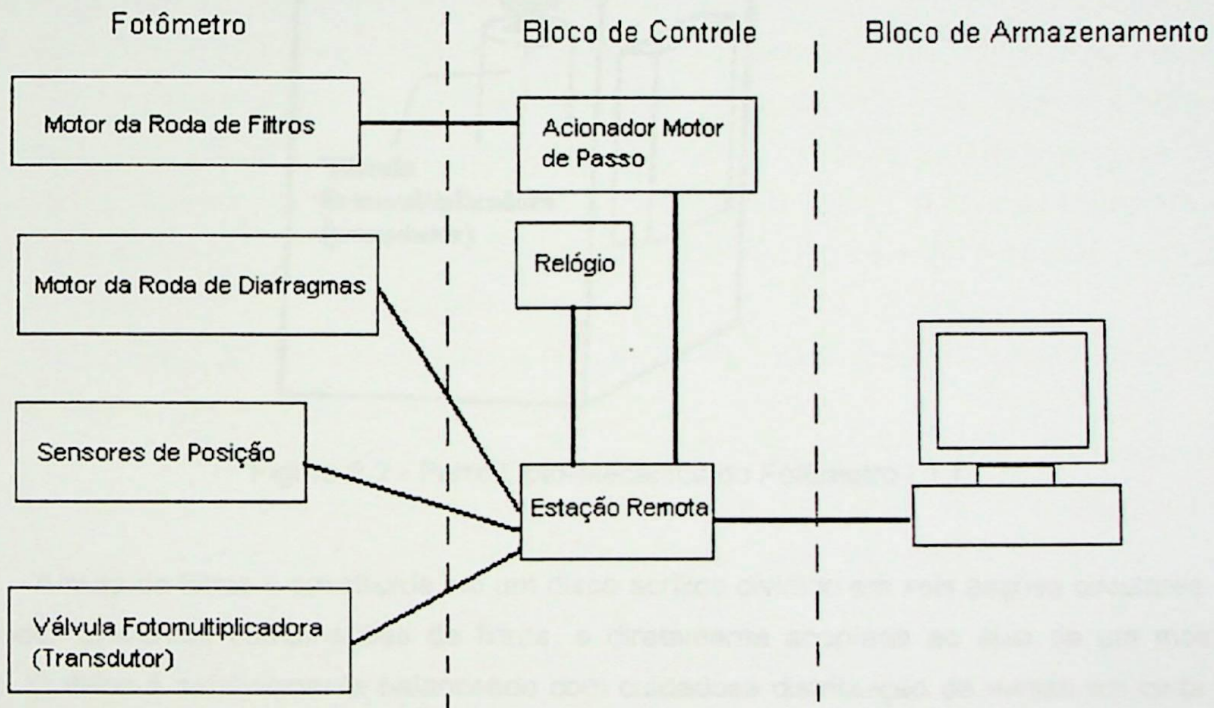


Figura 2.1 - Partes Componentes do Sistema Completo

Um diagrama do fotômetro é mostrado na Figura 2.2. Os vários componentes opto-mecânicos do instrumento são acomodados em duas caixas de alumínio. A parte superior possui uma ocular de campo fornecendo um campo de visão de 12' no telescópio de 0.6 m e de (5'.6) no telescópio de (1.6 m). A luz captada pode ser direcionada para essa ocular ou para o detector pela reflexão em um espelho com 45° de inclinação. A ocular de campo também pode ser deslocada do eixo óptico para guiagem.

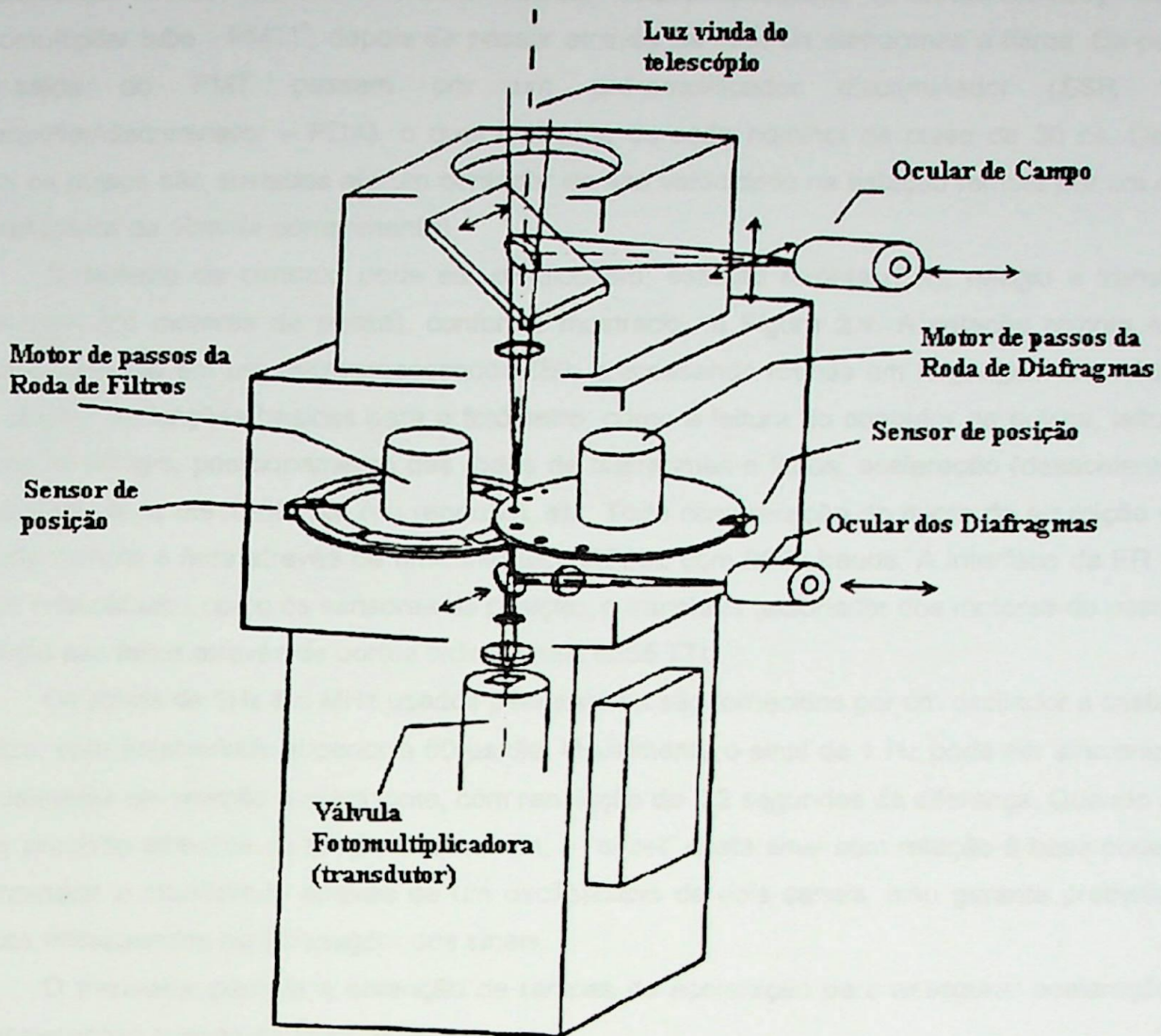


Figura 2.2 - Parte Opto-Mecânica do Fotômetro [1]

A roda de filtros é construída em um disco acrílico dividido em seis seções circulares para acomodar diferentes combinações de filtros, e diretamente acoplada ao eixo de um motor de passo. O disco é estaticamente balanceado com cuidadosa distribuição de massa em cada filtro. Para compensar os desbalanceamentos dinâmicos, em alguns casos são usados vidro comum como contrapeso. Assim os desbalanceamentos podem ser desprezados.

A roda de diafragmas é construída também em um disco acrílico com diafragmas de diferentes diâmetros dispostos na periferia do disco, e é também diretamente acoplada ao eixo de um motor de passo.

A roda de filtros pode ser posicionada em determinado filtro, ou acelerada até 1200 rpm. Um conjunto de ranhuras na periferia dessa roda, e pares LED-fototransistores, permitem a localização do início e final de cada filtro. Da mesma forma, a roda de diafragmas possui uma ranhura monitorada por um par LED-fototransistor, que serve como referência de posição.

Um espelho 45° inclinado, defletindo a luz para um intensificador de imagens abaixo das rodas de filtros e diafragmas possibilita o ajuste da luz captada no centro do diafragma

selecionado. A luz incide em uma válvula fotomultiplicadora (thermoelectrically cooled photomultiplier tube - PMT)⁴, depois de passar através da roda de diafragmas e filtros. Os pulsos de saída do PMT passam por um pré-amplificador discriminador (SSR 1120 preamplifier/discriminator – PDA), o qual tem uma duração nominal de pulso de 30 ns. Depois disso, os pulsos são enviados até um contador de alta velocidade na estação remota por um cabo coaxial (cerca de 10m de comprimento).

O sistema de controle pode ser dividido em: estação remota (ER), relógio e translator (acionador dos motores de passo), conforme mostrado na Figura 2.1. A estação remota é um sistema baseado em um microprocessador Z80, processando rotinas em linguagem de máquina para operar as funções básicas para o fotômetro, como a leitura do contador de pulsos, leitura e ajustes no relógio, posicionamento das rodas de diafragmas e filtros, aceleração (desaceleração) da roda de filtros até 1200 rpm (ou repouso), etc. Toda comunicação do micro de aquisição e da estação remota é feita através de uma interface RS232 com 9600 bauds. A interface da ER com outras subunidades como os sensores de posição, o translator (acionador dos motores de passo) e o relógio são feitos através de portas bidirecionais 8255 TTL.

Os sinais de 1Hz e 5 MHz usados pelo sistema são fornecidos por um oscilador a cristal de quartzo, com estabilidade superior a 50 μ s/dia. Usualmente o sinal de 1 Hz pode ser sincronizado manualmente em relação a outra fonte, com resolução de 0.2 segundos de diferença. Quando uma maior precisão absoluta de tempo é requerida, o “offset” deste sinal com relação à base pode ser determinado e monitorado através de um osciloscópio de dois canais. Isso garante precisão de poucos milisegundos na defasagem dos sinais.

O translator permite a obtenção de rampas de aceleração para assegurar acelerações e desacelerações suaves da roda de filtros.

O sistema de aquisição é baseado em um microcomputador PC que envia comandos para a ER via RS232 e recebe pacotes de dados. Três diferentes modos de operação podem ser escolhidos pelo usuário: monitoração em um filtro, monitoração em UBVRT (todos os filtros), e modo magnitude e cores. Cada modo de operação tem seu próprio formato de arquivo para armazenar os dados adquiridos. Os dados são salvos no disco rígido e usualmente transportados em discos flexíveis. O software apresenta na tela em tempo real, gráficos e informações estatísticas dos dados coletados.

2.2 Justificativa do novo equipamento

Em 1989 o FOTRAP entrou em funcionamento no CNPq - Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA). O Instrumento produz fluxos calibrados em unidades físicas num conjunto de bandas que vai do ultravioleta ao infravermelho próximo, um tipo básico de medida em Astrofísica.

4 . O FOTRAP usa um tubo de GaAs operando com 1400 [V] e temperaturas na faixa de -25 °C a -10 °C, a depender das condições ambientais.

A Tabela 2.1 mostra que, apesar de ter sido utilizado quase que exclusivamente no telescópio de 60 cm, o FOTRAP tem uma produção científica superior a muitos instrumentos que ganharam centenas de noites no telescópio de 1,6m do LNA. [3].

Tabela 2.1 - Artigos Publicados em Revistas Internacionais com Referee, de 1981 até 1996, com dados Provenientes de observações feitas no LNA.

Instrumento	Nº de Artigos	Vida (anos)
Fotex	31	14,7
Cass + Ret	22	5,0
Cass + CCD	15	5,5
Cass + OMAI	12	6,2
Coudé + CCD	12	8,0
FOTRAP	8	7,7
Cam fotográfica	8	9,0
Coudé + Ret	8	3,4
Cass + OMA3	7	4,0
CCD Direto	7	6,7
IAGPol	4	13,0
Coudé + placa	1	4,8
Scanner	1	1,3
Fepiv	0	10,1
Fepol	0	4,4
Fotir	0	8,8

(Somente são computados na Tabela 2.1 os artigos publicados em revistas internacionais com *Referee*, considerando o período de 1981 - 1996)

2.2.1 Problemas com o FOTRAP Antigo [3]

O objetivo da reforma é a criação de uma nova versão do instrumento com a parte de controle totalmente reprojetaada, visando a solução de alguns problemas e incorporação de melhorias sugeridas ao longo do tempo de uso, possibilitadas pela evolução dos recursos tecnológicos. O projeto com recursos tecnológicos disponíveis atualmente permitiria melhorias substanciais em vários aspectos.

Os principais problemas na versão antiga são:

- O instrumento tem alta taxa de falhas no módulo de controle.
- O módulo de aceleração/desaceleração da roda de filtros, apesar de apresentar taxa de defeitos menor, tem tecnologia ultrapassada e apresenta o risco de colocar o equipamento fora de operação por longo tempo em caso de defeito, já que a manutenção é mais complicada (os circuitos eletrônicos utilizam somente componentes discretos). Além disso, o módulo tem um volume tal que torna inviável o transporte do instrumento para outro observatório, uma possibilidade aventada por diversos usuários do FOTRAP.

- O sistema de marcação da posição dos filtros atualmente funciona à base de LEDs que são acesos no intervalo entre as medidas dos filtros. Existem suspeitas de contaminação do sinal de luz devido a esses LEDs (que não apagam instantaneamente). Convém lembrar que a roda de filtros gira a 1200 rpm neste fotômetro, com requisitos bastante restritivos no que tange ao espaçamento dos conjuntos de medidas ao longo do tempo. Esse sistema também apresentou problemas de ajuste.

2.2.2 Modificações Propostas [3]

A reforma proposta consiste em reprojeter e substituir toda a parte eletro-eletrônica do equipamento permitindo em curto prazo, o aumento da eficiência, pela diminuição das horas de manutenção, operação, e melhoria de diversos parâmetros instrumentais, como o tempo disponível de passagem por cada filtro. Além disso aquisição de dados deve ser sincronizada com o horário do sistema GPS, o instrumento deve ser transportável, dando possibilidade de utilização em outros telescópios, além de tornar mais fácil a atualização do software e pequenos ajustes no hardware, obtendo flexibilidade para otimizar os algoritmos de aquisição de dados e permitir aperfeiçoamentos sem grandes modificações na arquitetura do sistema. A Estação Remota da configuração atual do FOTRAP na prática não pode ser reprogramada. Seria interessante poder otimizar determinadas funções da aquisição, e permitir melhorias sugeridas no futuro sem grandes modificações no hardware.

O escopo das modificações dessa fase se restringe à parte eletro-eletrônica de controle e aquisição de dados do instrumento, com pequenos ajustes para adaptação na parte opto-mecânica e no programa do micro do usuário (módulo de armazenamento). Apesar das melhorias, as potencialidades resultantes das modificações só poderão ser melhor exploradas em fase posterior, com alterações no programa do usuário para adaptação mais completa ao novo módulo de controle.

As figuras 2.3 e 2.4 mostram os aspectos visuais do antigo e do novo FOTRAP. O FOTRAP antigo é composto de um gerador de base de tempo, um micro de aquisição, uma estação remota (controlador), o translator (drive para os motores) e o fotômetro (instrumentos opto-mecânicos acoplados ao telescópio).

FOTRAP ANTIGO

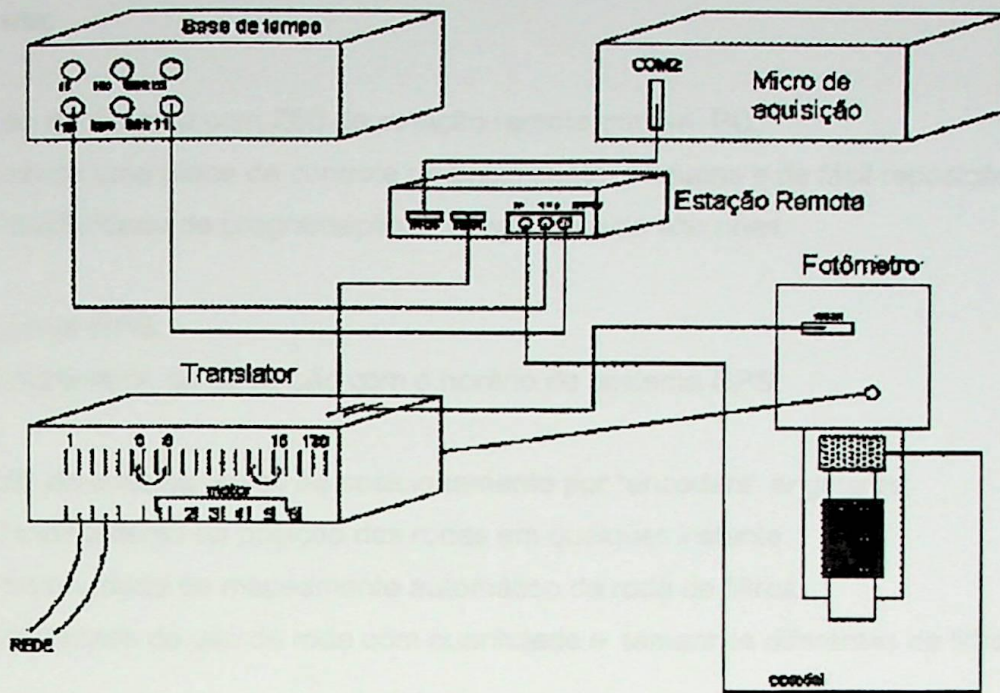


Figura 2.3 - Diagrama do FOTRAP antigo

O novo FOTRAP é composto de um micro computador de aquisição, do fotômetro com alguns ajustes, do controlador, e de uma antena para GPS.

Novo FOTRAP

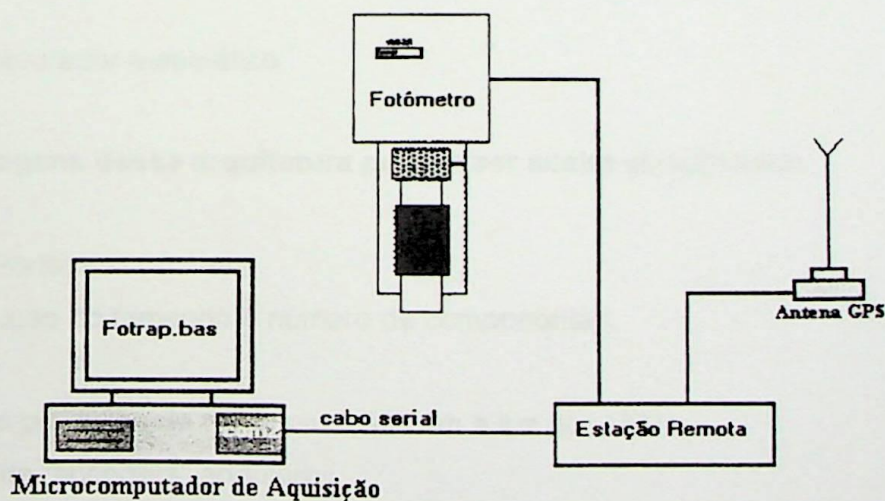


Figura 2.4 - Diagrama do Novo FOTRAP

As principais alterações na arquitetura do novo FOTRAP podem ser resumidas da seguinte forma:

- Substituição do sistema com Z80 da estação remota por um PC;
 - ⇒ Uso de uma placa de controle de baixo custo, pequena e de fácil reposição.
 - ⇒ Possibilidade de programação em linguagem de alto nível.
- Uso do sistema GPS;
 - ⇒ Sincronismo da aquisição com o horário do sistema GPS;
- Substituição do sistema óptico de posicionamento por “encoders” angulares;
 - ⇒ Conhecimento da posição das rodas em qualquer instante.
 - ⇒ Possibilidade de mapeamento automático da roda de filtros.
 - ⇒ Viabilidade do uso de roda com quantidade e tamanhos diferentes de filtros.
- Projeto de nova placa de controle, que atenda às modificações no hardware.
 - ⇒ Placa com PLD's (Programmable Logic Devices), de tamanho reduzido, de fácil reposição, flexível à mudanças e mais confiável.
- Utilização de um novo driver (translator), de dimensões reduzidas, para motor de filtros em substituição ao antigo.
- Inclusão de um disco automático com filtros de densidade e automatização do espelho de ocular
- Inclusão de obturador automático

As vantagens dessa arquitetura podem ser assim sintetizadas:

- Instrumento Portátil;
 - ⇒ Redução do tamanho e número de componentes.
- Eliminação do problema de contaminação com a luz dos LEDs;
 - ⇒ Uso de “encoders” angulares
- Aquisição sincronizada com horário do sistema GPS;
 - ⇒ Uso de base de tempo e horário do sistema GPS

- **Maior confiabilidade:**
 - ⇒ Hardware reduzido, facilitando manter back-up do controlador;
- **Possibilidade de operar com roda de filtros com quantidade e tamanhos de filtros diferentes**
 - ⇒ Permite otimizar o tempo de aquisição, aumentando o tamanho de alguns filtros e diminuindo de outros.
- **Flexível a mudanças;**
 - ⇒ Hardware programável (PLD's)
 - ⇒ Controlador baseado no PC.
- **Versátil na implementação do controle.**
 - ⇒ Quantidade de recursos de hardware e software disponíveis.

CAPÍTULO 3: Descrição e Análise do Problema

3.1 *Descrição do problema com enfoque tecnológico*

3.1.1 **Resumo do Processo de Aquisição**

A luz captada pelo telescópio é condicionada antes de chegar ao transdutor. Inicialmente passa por um obturador de segurança que só é aberto em condições seguras de operação (luminosidade). Em seguida, atravessa um diafragma selecionado dentre vários dispostos em um disco controlado por motor de passo. A partir daí, passa por filtros de cores dispostos em um disco também controlado por motor de passo. Pode ser selecionado um só filtro (Modo Rápido Eletrônico) ou com o disco acelerado, a luz pode passar sucessivamente por todos os filtros (Modo Rápido Mecânico e Magnitude e Cores). Após os filtros de cores, mais um disco com filtros de densidade, também selecionáveis por um motor de passo, faz parte do percurso da luz antes de chegar ao transdutor.

O transdutor utilizado é uma Válvula Fotomultiplicadora, que permite transformar a grandeza intensidade de luz em sinal elétrico de tensão com frequência proporcional à intensidade da luz incidente no transdutor.

Com tempo de exposição programado, o transdutor é exposto à luz captada pelo telescópio, e os pulsos resultantes da transdução são contados durante esse período. Esses valores recebem um tratamento preliminar para formarem uma medida.

Todo o controle automático da instrumentação é feito de forma a permitir o início e a seqüência de aquisição sincronizada com o horário, obtido via satélite do sistema GPS, com precisão de milésimos de segundos.

3.1.2 **Modo Rápido Eletrônico - Exigências de Funcionamento**

Este modo fornece uma série temporal de dados fotométricos igualmente espaçados, com a roda de filtros parada num filtro. O tempo de integração por medida deve ser maior que 0,010 s [4].

Após o usuário selecionar os parâmetros no Micro do Usuário, comandos e parâmetros são enviados ao controlador para configurar a instrumentação e iniciar a aquisição. As principais operações de configuração da instrumentação nesse modo de aquisição são:

- posicionamento do diafragma selecionado
- posicionamento do filtro selecionado
- abertura do obturador

Outros parâmetros são memorizados pelo controlador para utilização durante a aquisição:

- tempo de integração
- o lado a ser deslocado o diafragma para medir o céu em torno do objeto observado (esquerdo ou direito).

Após a configuração da instrumentação e do hardware, o controlador espera o primeiro instante de tempo com segundos sem parte fracionária, com precisão de microsegundos, para iniciar a aquisição. Isso permite sincronismo da aquisição com o horário obtido em tempo real, via satélite, do sistema GPS. Assim todas as medidas podem ser relacionadas com o horário em que foram feitas.⁵

Cada vez que é transcorrido um período de integração, uma medida é entregue ao Micro de Aquisição, ao mesmo tempo que se inicia a aquisição de nova medida. Os dados entregues ao micro de aquisição durante o processo permitem a apresentação em tempo real de gráficos e estatísticas dos dados adquiridos. Durante a operação existem algumas opções de mudanças na instrumentação, como o deslocamento de disco de diafragmas, possibilitando medir a luz nas redondezas do objeto observado (medir o céu).

O processo é finalizado com comando dado pelo usuário, via micro de aquisição, e transmitido ao controlador. Recebido o comando para finalizar, a aquisição é imediatamente terminada, o obturador é fechado e a roda de diafragmas é posicionada em uma posição de segurança (contra a passagem de luz).

3.1.3 Modo Rápido Mecânico - Exigências de Funcionamento

No modo rápido mecânico a luz captada pelo telescópio passa pelo diafragma selecionado e seqüencialmente pelos filtros da roda de filtros, girando a 1200 rpm. Inicialmente esse disco deve ser acelerado, e sincronizado de forma que a primeira subida de rampa da base de tempo após a passagem pelo início do primeiro filtro sempre ocorra em horários múltiplos de 50 ms (tempo de uma volta), com precisão da ordem microsegundos. Após selecionados os demais instrumentos no percurso da luz, e dado o comando para o início, na primeira transição dos segundos, o processo de aquisição é iniciado. Esse instante deve coincidir com o início de volta do disco de filtros já sincronizado.

Cada filtro possui um tamanho diferente, portanto diferentes tempos em que ficam disponíveis em uma volta. O tempo durante o qual serão contados os pulsos do transdutor em

⁵ Essa característica pode ser importante na aquisição em conjunto e sincronizada com outros equipamentos em outras partes do mundo.

determinado filtro, a cada volta (tempo de exposição) está subordinados ao tamanho dos filtros, escolhidos pelo usuário.

Assim o tempo de exposição em um filtro inicia-se no primeiro pulso da base de tempo após o início de um filtro e termina quando transcorrido o período de tempo programado. Finalizada a contagem naquele filtro, os dados são armazenados e o sistema se prepara para o início da próxima exposição.

Dessa forma, a cada volta da roda, é adquirido um valor para cada filtro. Esses dados são acumulados para cada filtro até a obtenção do tempo de integração configurado pelo usuário, quando então é obtida uma medida que é enviada ao micro de aquisição, ao mesmo tempo que outra integração é iniciada.

Da mesma forma que no modo rápido eletrônico, durante a operação, através de comando dados pelo usuário via micro de aquisição, também existem opções para fazer algumas alterações na configuração da instrumentação concorrentemente à aquisição, como o deslocamento do disco de diafragmas, possibilitando medir a luz nas redondezas do objeto observado (medir o céu).

O processo de aquisição neste modo também é finalizado com comando dado pelo usuário, também via micro de aquisição. Recebido o comando para finalizar, a aquisição é imediatamente terminada, o obturador é fechado e a roda de diafragmas é posicionada em uma posição de segurança (contra a passagem de luz).

3.2 Análise

3.2.1 Análise do problema

Tendo em vista a necessidade de conseguir um sistema flexível a futuras melhorias, o problema no domínio da aplicação a ser modelado deixa de ser o processo de fotometria propriamente dito e passa a ser a implementação de ferramentas que posteriormente possam ser manipuladas com versatilidade e flexibilidade na implementação do mesmo.

Uma analogia pode ser feita com a criação de instrumentos em uma bancada de laboratório com a possibilidade de serem usados para várias nuances de um tipo de experimento, ao invés da criação de um equipamento específico para cada variação do experimento.

A descrição do problema com enfoque tecnológico sugere instrumentos hipotéticos que poderiam ser utilizados para implementação do processo de aquisição fotométrica. Esses instrumentos devem ter generalidade suficiente para permitir implementações com diferentes nuances, possibilitando obter a flexibilidade desejada na implementação dos algoritmos do processo, sem contudo comprometer sua eficiência.

Inspirado na técnica de modelagem de objetos TMO [5], inicialmente o problema exposto será modelado como uma abstração do que o sistema desejado deverá fazer no mundo real, sem

voltar a atenção para as formas de implementação. Esta é a fase da análise, subdividida em três etapas: a modelagem de objetos, a modelagem dinâmica e a modelagem funcional.

3.2.2 Modelo de Objetos

O modelo de objetos representa aspectos estáticos e estruturais de dados do sistema. Tem a meta de incorporação de conceitos do mundo real, importantes para a aplicação. Graficamente esse modelo pode ser representado por diagramas de objetos contendo classes de objetos, com sua identidade, atributos, relacionamento com outros objetos e suas operações [5].

3.2.2.1 Identificação de objetos e classes

Baseado na descrição do problema, os objetos podem ser encontrados entre os entes identificados que fazem algum sentido no contexto da aplicação. Os instrumentos e dados hipotéticos que poderiam ser imaginados como unidades funcionais, capazes de em conjunto executarem o processo de fotometria, são os primeiros objetos sugeridos:

- Disco com os Filtros
- Disco com os Diafragmas,
- Integrador do transdutor
- Relógio
- Microcomputador do Usuário
- Filtro
- Diafragma
- Medida
- Dado

3.2.2.2 Dicionário de dados

A análise desses objetos sendo manipulados para implementação do processo de aquisição desejado, permite a definição mais detalhada das características necessárias em cada uma:

Disco Diafragmas - Roda com vários diafragmas de tamanhos diferentes que podem ser posicionados com o giro da roda.

Diafragmas - Furos dispostos na roda de diafragmas com tamanhos e posições angulares diferentes.

Disco Filtros - Roda com filtros distribuídos ao longo de setores circulares, que podem ser posicionados com o movimento giratório da roda, além de poder ser acelerada até 1200 rpm, e ter a passagem periódica por determinada posição sincronizada com o horário dado pelo relógio. Deve se comunicar com o integrador, indicando o início e final dos filtros.

Filtro - São dispostos fisicamente na roda de filtros, cada um com posição tamanho e cores diferentes.

Integrador - Responsável pelo controle dos instantes de início e duração dos tempos de exposição, e pela contagem dos pulsos do transdutor. Comunica-se com o relógio para controle dos tempos, e com o disco filtros, já que a aquisição depende da posição da roda de filtros.

Relógio - Responsável pela base de tempo e horário do sistema. Recebe todo o sincronismo da base de tempo e horário da comunicação com o sistema GPS. Responsável também por fornecer recursos para manipulações relacionadas ao tempo.

Micro do Usuário - Fornece parâmetros: tempo de integração, diafragma escolhido, filtro escolhido, modo de operação, etc. Envia comandos: iniciar, finalizar, medir céu, enviar hora, etc, e recebe dados.

Medida - Resultado de um valor coletado no processo de aquisição.

Dado - Conjunto de medidas com horários de execução e dados das circunstâncias que ocorreram, que serão transmitidas ao micro do usuário.

3.2.2.3 Diagrama de Objetos

Finalmente, as informações do modelo de objetos podem ser resumidas em um diagrama de objetos, mostrando objetos, classes de objetos e seus relacionamentos. As classes e objetos são apresentados como retângulos contendo seu nome, atributos e métodos. Os relacionamentos entre os objetos são representados por linhas que ligam os retângulos. Uma linha simples com um nome associado indica o tipo de relacionamento, e uma seta em um dos extremos da ligação indica se houver um sentido (de um objeto para o outro) no relacionamento. Um pequeno círculo com um número no ponto de partida ou de chegada da classe indica a multiplicidade de cada classe no relacionamento, ou seja, quantos objetos de uma classe se relacionam com quantos objetos da outra.

As heranças e agregações também são representadas graficamente. Uma classe com ligação partindo de um losango indica que esta possui em sua estrutura os objetos apontados por esta ligação, ou seja, é uma agregação desses objetos.

As heranças ou generalizações são indicadas com triângulos nas ligações, indicando que a classe apontada pelo vértice superior do triângulo serviu de base para a construção da classe da outra extremidade da ligação.

O diagrama apresentado na Figura 3.1 representa o modelo de objetos desta análise:

3.2.3 Modelo Dinâmico

O modelo dinâmico descreve os aspectos do sistema relacionados ao tempo e à seqüência de operações que ocorrem em resposta a estímulos externos, sem consideração ao que as operações fazem, sobre o que elas atuam ou como são implementadas.

Os principais conceitos da modelagem dinâmica são os eventos, que representam estímulos externos, e os estados, que representam valores de objetos [5].

Graficamente esse modelo é representado por diagramas de estados. Cada um desses diagramas mostra a seqüência de estados e de eventos permitidos em um sistema para uma classe de objetos. Os eventos de um diagrama de estados tornam-se operações em objetos no modelo de objetos, e as ações nos diagramas de estados correspondem a funções do modelo funcional.

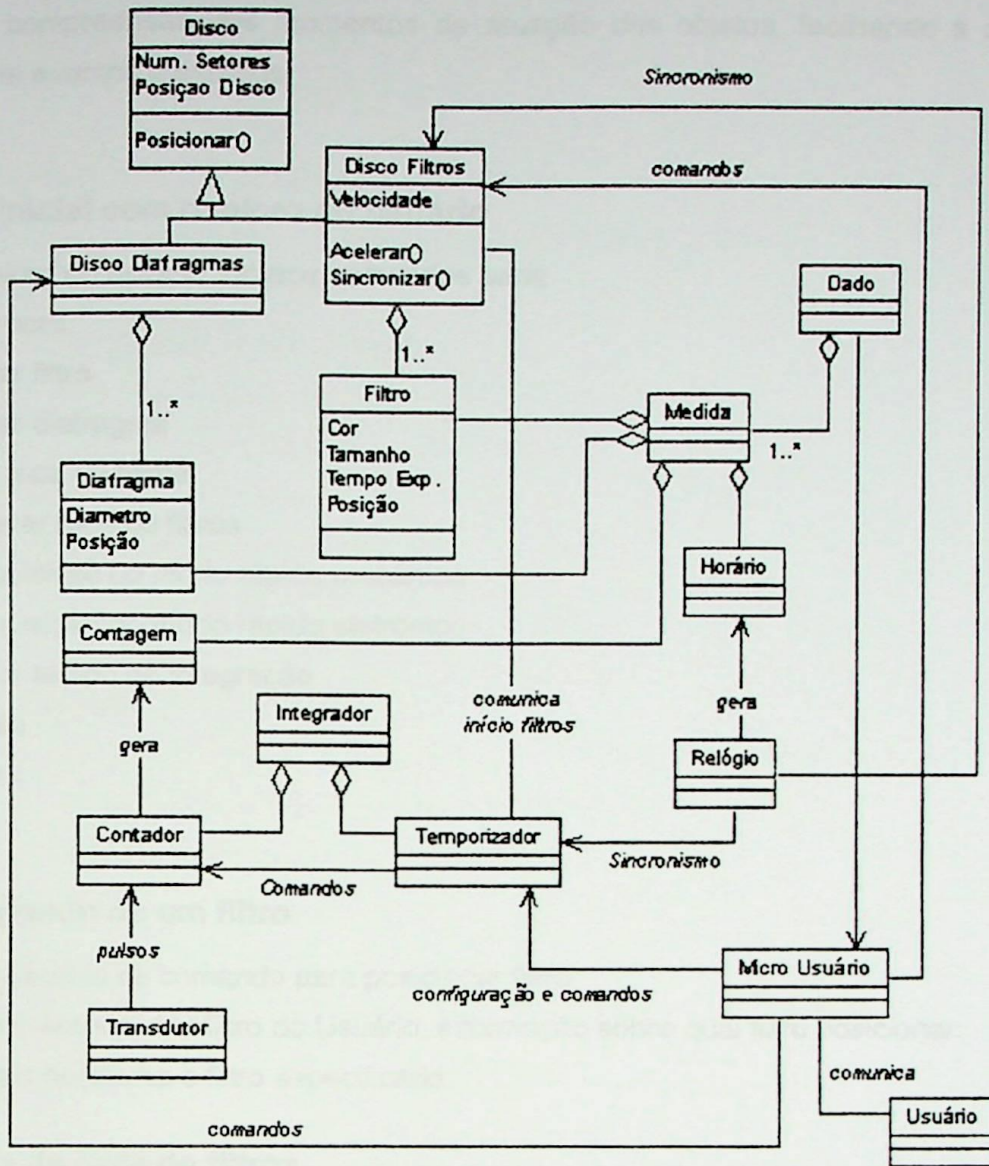


Figura 3.1 - Diagrama do Modelo de Objetos

3.2.3.1 Cenários

Um cenário é uma seqüência de eventos que ocorrem durante uma determinada execução do sistema. Pode incluir todos os eventos do sistema, ou somente aqueles que influenciam ou que são gerados por certos objetos do sistema.

O enunciado do problema descreve a seqüência de interações de maneira geral, porém ficam vagas algumas informações importantes para o fluxo dinâmico. A alusão ao envio de parâmetros de um objeto para o outro, por exemplo, pode ser vaga sobre exatamente quais parâmetros são necessários e em que seqüência eles devem ser enviados.

A elaboração de cenários garante que não sejam omitidas etapas importantes e possibilita melhorar a compreensão dos momentos de atuação dos objetos, facilitando a construção dos diagramas de eventos e estados.

Interação inicial com o micro do usuário

O micro do usuário fornece comandos para:

1. Receber hora
2. Posicionar filtro
3. Posicionar diafragma
4. Acelerar roda de filtros
5. Desacelerar roda de filtros
6. Iniciar aquisição no modo rápido mecânico
7. Iniciar aquisição no modo rápido eletrônico
8. Configurar tempo de integração
9. Testar céu
10. Voltar céu
11. Finalizar

Posicionamento de um filtro

1. Micro do usuário dá comando para posicionar filtro
2. Disco Filtro recebe do Micro do Usuário, informação sobre qual filtro posicionar.
3. Disco Filtro posiciona o filtro especificado.

Aceleração da roda de filtros

1. Micro do Usuário dá comando para acelerar.
2. Roda de Filtros é acelerada até 1200 rpm.
3. Roda de filtros é sincronizada

Posicionamento de um diafragma

1. Micro do Usuário dá comando para posicionar diafragma
2. Disco Filtro recebe do Micro do usuário informação sobre qual diafragma posicionar.
3. Disco Diafragma posiciona o diafragma especificado

Testar céu

1. Micro do Usuário dá comando para testar céu
2. Micro do Usuário especifica o lado a deslocar para medir o céu (esquerdo ou direito)
3. Roda de diafragmas é deslocada para o lado especificado

Voltar do céu

1. Micro do Usuário dá comando para voltar do céu.
2. Roda de diafragmas volta à posição normal.

Aquisição - Rápido Eletrônico

1. Dados os devidos comandos e parâmetros pelo micro do usuário:
 - A roda de filtros é posicionada
 - A roda de diafragmas é posicionada
 - No integrador é selecionado o modo rápido eletrônico
 - No integrado é ajustado o tempo de integração.
2. Micro do usuário autoriza início
3. Integrador espera próximo segundo inteiro do horário;
4. Ocorrendo a transição de segundo no horário, a aquisição é iniciada;
5. Transcorrido o tempo de integração:
 - Nova integração é iniciada
 - Medida obtida junto com o horário de início é enviada ao micro do usuário
6. O processo de integração e envio de dados se repete até:
7. Micro do usuário comanda o final da aquisição.

OBS.: Durante a aquisição:

Micro do usuário pode dar comandos para medir céu e para voltar do céu.

Aquisição - Rápido Mecânico

1. Micro do Usuário dá comando para Disco Filtros acelerar;
2. Disco Filtros é acelerado;
3. Disco Filtros é sincronizado
4. Dado pelo Micro do Usuário os devidos parâmetros e comandos;
 - O disco de Diafragmas é posicionado
 - No integrador é selecionado o modo rápido mecânico
5. Micro do usuário autoriza início
6. Disco filtros fornece ao integrador o tempo de exposição do primeiro filtro.
7. Integrador espera próxima transição para segundo inteiro do horário;
8. Ocorrida tal transição, integrador começa aquisição, e a hora é armazenada;
9. Transcorrido tempo de exposição, integrador finaliza a medida, e espera disco filtro avisar quando chegar o início do próximo filtro;
10. Disco filtros fornece ao integrador o tempo de exposição do segundo filtro;

11. Ocorrido o início do segundo filtro, o integrador espera próximo pulso da base de tempo do sistema e inicia nova medida;
12. A medida do primeiro filtro é armazenada;
13. Transcorrido o tempo de exposição, o integrador finaliza a medida espera Disco Filtros avisar quando ocorrer o início do próximo filtro;
14. A medida do segundo filtro é armazenada;
15. O processo se repete até o último filtro, tendo continuidade com o primeiro filtro novamente, sem interrupção;
16. As medidas são acumuladas para cada filtro separadamente.
17. Transcorrido o tempo de integração, as medidas acumuladas formam junto com o horário de início, um dado que começa a ser enviado ao micro do usuário, sem interrupção da aquisição;
18. O processo se repete, fornecendo um dado para cada tempo de integração transcorrido;
19. O processo é finalizado com o comando do micro do usuário;
20. A aquisição é interrompida e os dados que ainda não foram transmitidos continuam sendo enviados;
21. Durante a aquisição o disco filtros deve se manter sincronizado
22. Durante a aquisição o micro do usuário pode solicitar medida do céu ou voltar do céu.

Sincronismo da Roda de Filtros.

1. O disco filtros deve estar acelerado
2. O integrador espera aviso do disco filtros, de início do primeiro filtro
3. Chegando o início do primeiro filtro, o integrador espera próximo pulso da base de tempo do sistema;
4. Ocorrendo a transição esperada da base de tempo, o integrador manda o relógio guardar o horário
5. A diferença entre este horário, e o último ou o próximo instante múltiplo de 50 ms (o que tiver menor diferença) constitui o erro de sincronismo;
6. O erro é calculado várias vezes;
7. A média e o desvio padrão são calculados
8. Os erros distantes um desvio padrão da média são excluídos
9. Uma nova média com os valores restantes é calculada, constituindo assim a medida do erro de sincronismo
10. É calculado o tempo necessário para corrigir o erro, incrementando (ou decrementando, o que for mais rápido) a velocidade da roda de filtros;
11. A velocidade é alterada, ao mesmo tempo que o tempo começa ser cronometrado;
12. Atingindo o tempo calculado, a velocidade volta ao normal;
13. Um instante é aguardado para sair do transitório de velocidade

14. O erro é novamente calculado
15. O processo se repete até que sejam obtido valores de erro satisfatórios (da ordem de $1 \mu\text{s}$).

3.2.3.2 Diagramas de eventos

Cada evento transmite informações de um objeto para outro. A etapa seguinte após a escrita do cenário é identificar os objetos remetentes e recebedores de cada evento. A seqüência de eventos e os objetos que permutam eventos podem ser mostrados em um cenário ampliado denominado diagrama de eventos [5].

Os eventos incluem todos os sinais, entradas, decisões, interrupções, transições e ações de ou para usuários de dispositivos externos. As etapas internas de computação não são eventos, exceto para os pontos de decisão que interagem com o mundo exterior [5].

Esses diagramas mostram cada objeto envolvido como uma linha vertical e cada evento como uma seta horizontal que vai do objeto remetente para o recebedor.

As figuras 3.2 a 3.5 representam os diagramas de eventos para a operação nos modos Rápido Eletrônico, Rápido Mecânico, além da aceleração e sincronização do Disco Filtros.

No modo Rápido Eletrônico, após o comando de início dado pelo Micro do Usuário, na primeira borda de subida dos segundos são iniciadas pelo Contador sob o comando do Temporizador uma série de contagens com intervalos de tempo iguais, uma imediatamente após a outra, até o comando para finalizar enviado pelo Micro do usuário.

A aquisição no modo Rápido Mecânico produz a cada volta da roda de filtros uma medida para cada filtro durante o tempo dado, dentro da faixa de tempo disponível para cada filtro, de acordo com suas dimensões.

A cada volta a contagem para cada filtro é somada às anteriores até que o total de tempo para o menor filtro atinja o valor dado pelo tempo de integração, quando então é formado um dado, e despachado para o Micro do usuário. O processo se inicia e finaliza com comandos dados pelo Micro do Usuário.

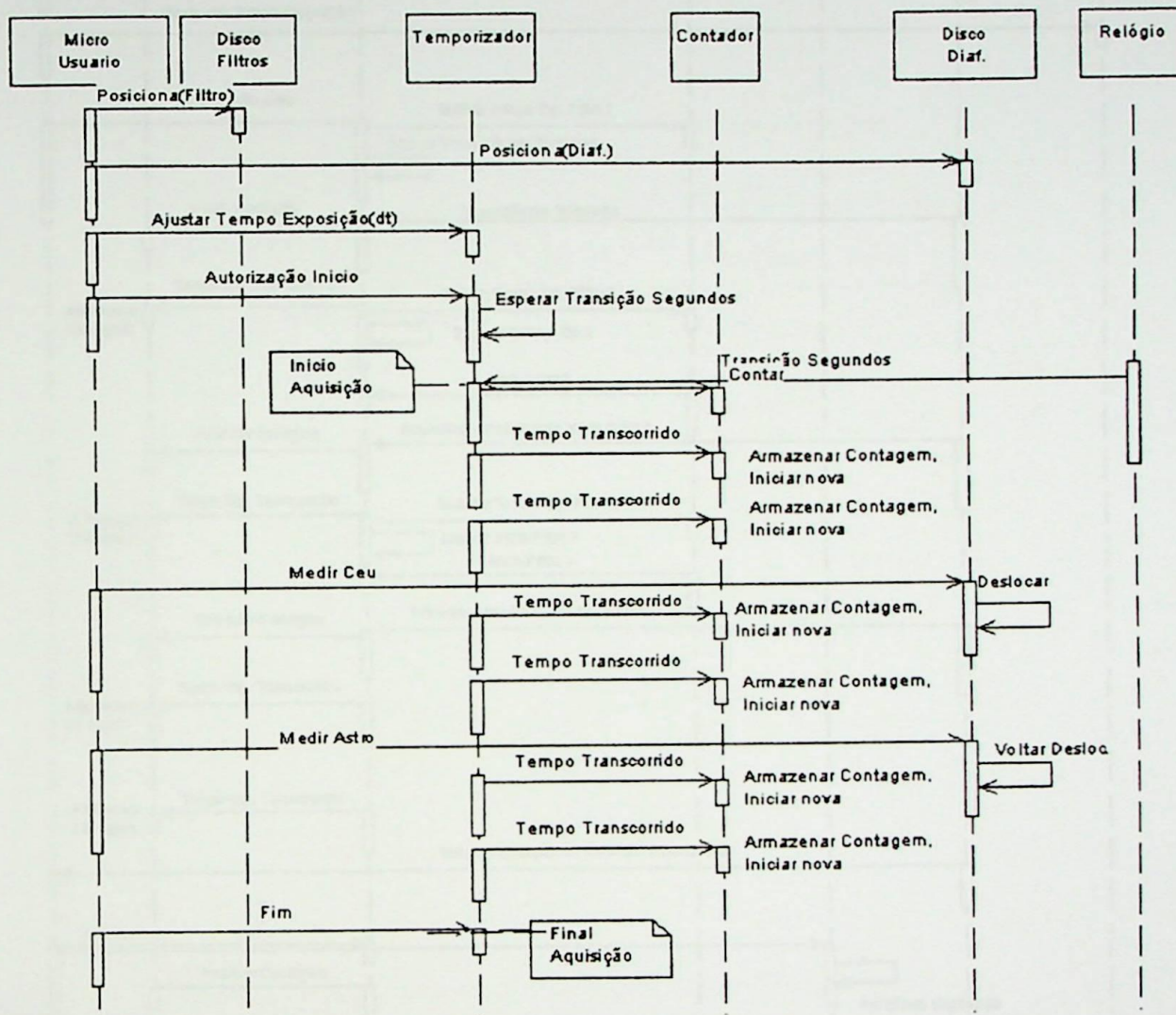


Figura 3.2 - Diagrama de Eventos do Modo Rápido Eletrônico

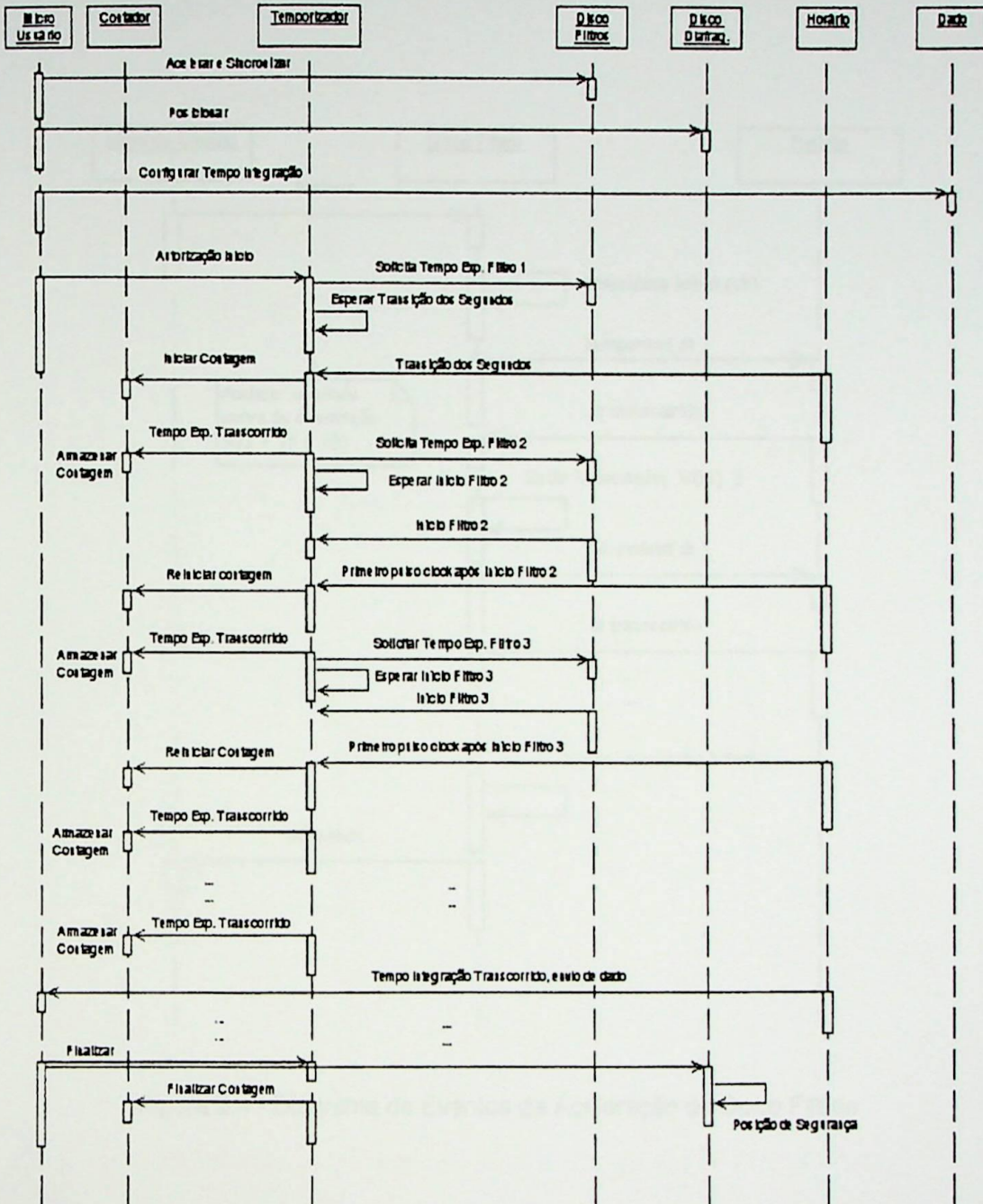


Figura 3.3 - Diagrama de Eventos do Modo Rápido Mecânico

No modo Rápido Mecânico, a roda de filtros deve ser acelerada até a velocidade final de 20 voltas por segundo, seguindo uma curva de aceleração suave para evitar problemas mecânicos na instrumentação óptica.

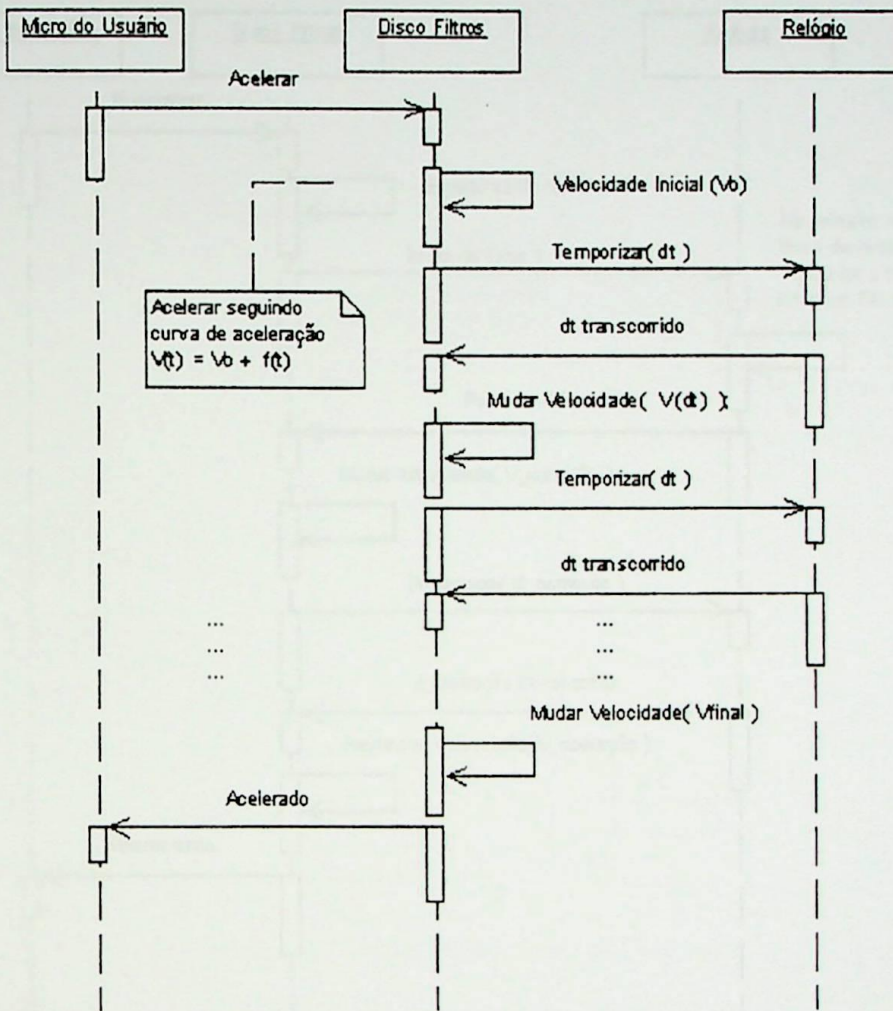


Figura 3.4 - Diagrama de Eventos da Aceleração do Disco Filtros

Além de acelerada, a roda de filtros deve ser sincronizada com o horário. Ou seja, o primeiro pulso da base de tempo utilizada pelo Temporizador após a passagem pelo início do primeiro filtro deve coincidir com uma rampa de subida dos segundos. As passagens subsequentes por essa posição do disco devem ocorrer em múltiplos de 50ms, já que a velocidade é de 20 voltas por segundo.

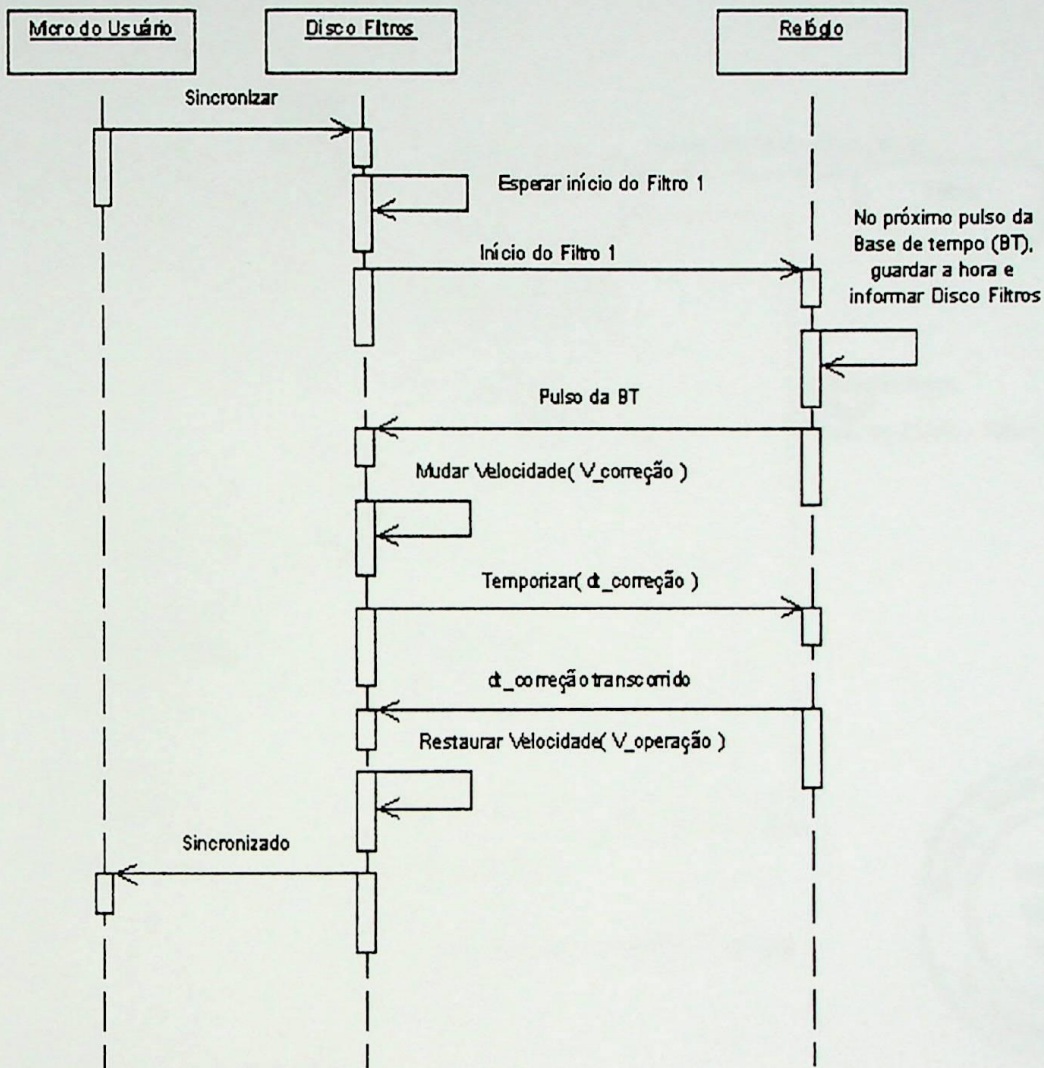


Figura 3.5 - Diagrama de Eventos da Sincronização do Disco Filtros

3.2.3.3 Diagrama de fluxo de eventos

O diagrama de fluxo de eventos resume os eventos entre as classes, sem preocupação com a seqüência. Esse diagrama é uma contrapartida dinâmica de um diagrama de objetos. Os caminhos do diagrama de objetos mostram fluxos de informações possíveis. Os caminhos do diagrama de fluxos de eventos mostram fluxos de controle possíveis [5].

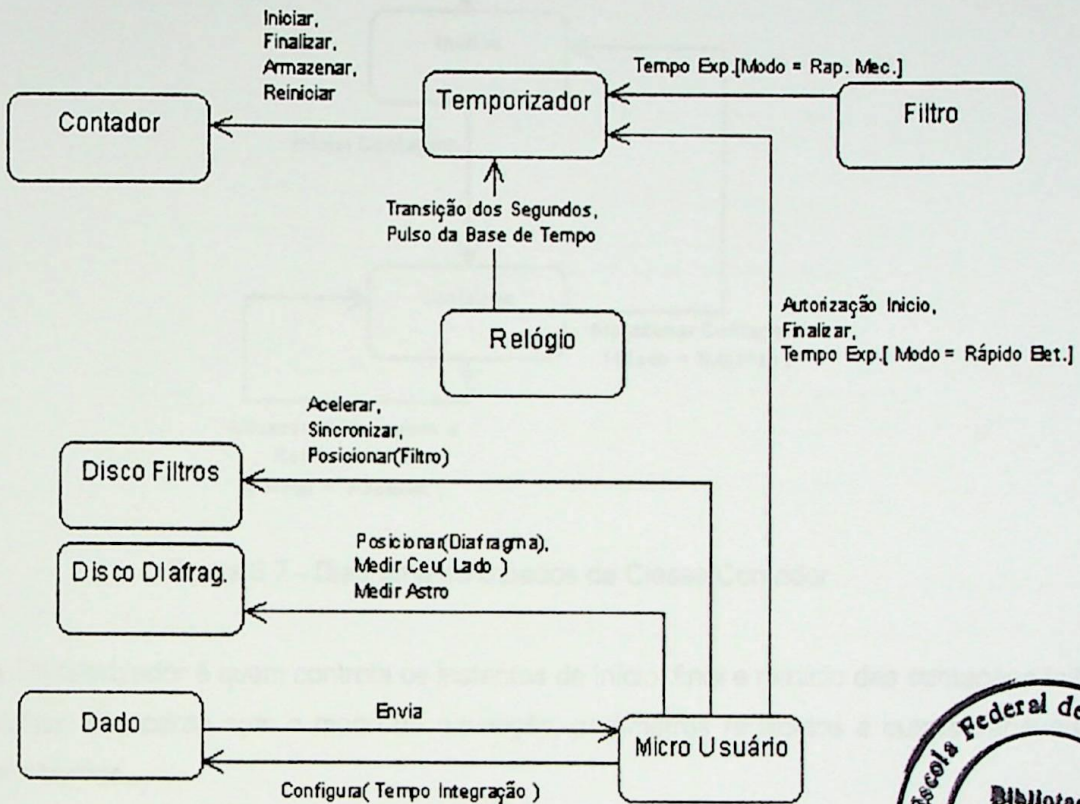


Figura 3.6 - Diagrama de Fluxo de Eventos



3.2.3.4 Diagramas de estados

Um diagrama de estados relaciona eventos e estados de uma classe de objetos, especificando a seqüência de estados causados por uma seqüência de eventos. Quando um evento é recebido, o estado subsequente depende do estado corrente e do evento.

No diagrama de estados, os nós são estados e os arcos direcionados são transições rotuladas com nomes de eventos. Um estado é desenhado como uma figura arredondada contendo um nome opcional. Uma transição é desenhada como uma seta que parte do estado receptor para o estado de destino. Nas transições, as expressões entre colchetes representam condições de ocorrência para a transição. Após as barras “ / ” temos as ações realizadas durante

a transição, e após o caracter " ^ " são indicados os eventos enviados para outros objetos durante a transição. Entre parênteses são indicados os parâmetros do evento.

Os diagramas de estados para as classes Contador, Temporizador e Disco Filtros podem ser ilustrados nas figuras 3.7, 3.8, 3.9 e 3.10.

Sob o comando do temporizador, o Contador reinicia uma contagem imediatamente após o término da anterior (modo Rápido Eletrônico), ou espera comando para reiniciar (modo Rápido Mecânico)

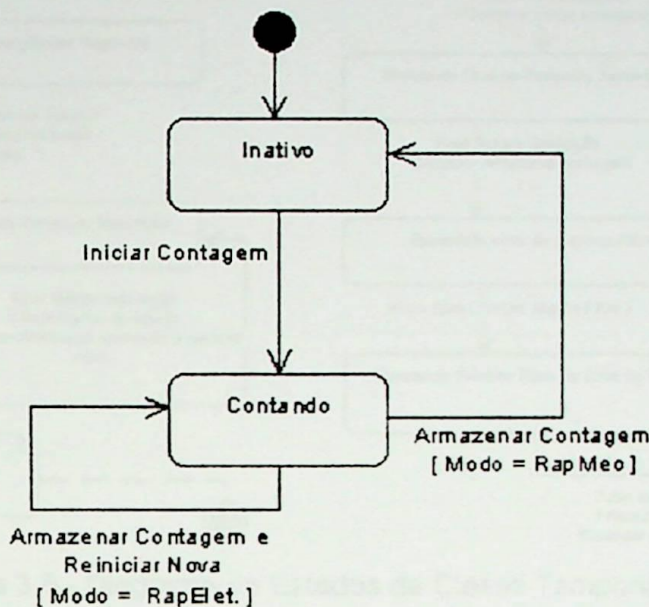


Figura 3.7 - Diagrama de Estados da Classe Contador

O Temporizador é quem controla os instantes de início, final e reinício das contagens feitas pelo Contador, de acordo com o modo de aquisição, parâmetros recebidos e outras variáveis e eventos envolvidos.

Existem dois caminhos principais. No modo Rápido Eletrônico, o evento que dispara o comando de reinício de contagem é o próprio final da contagem anterior. No modo Rápido Mecânico este evento é o primeiro pulso da base de tempo após a passagem pelo próximo filtro a ser medido.

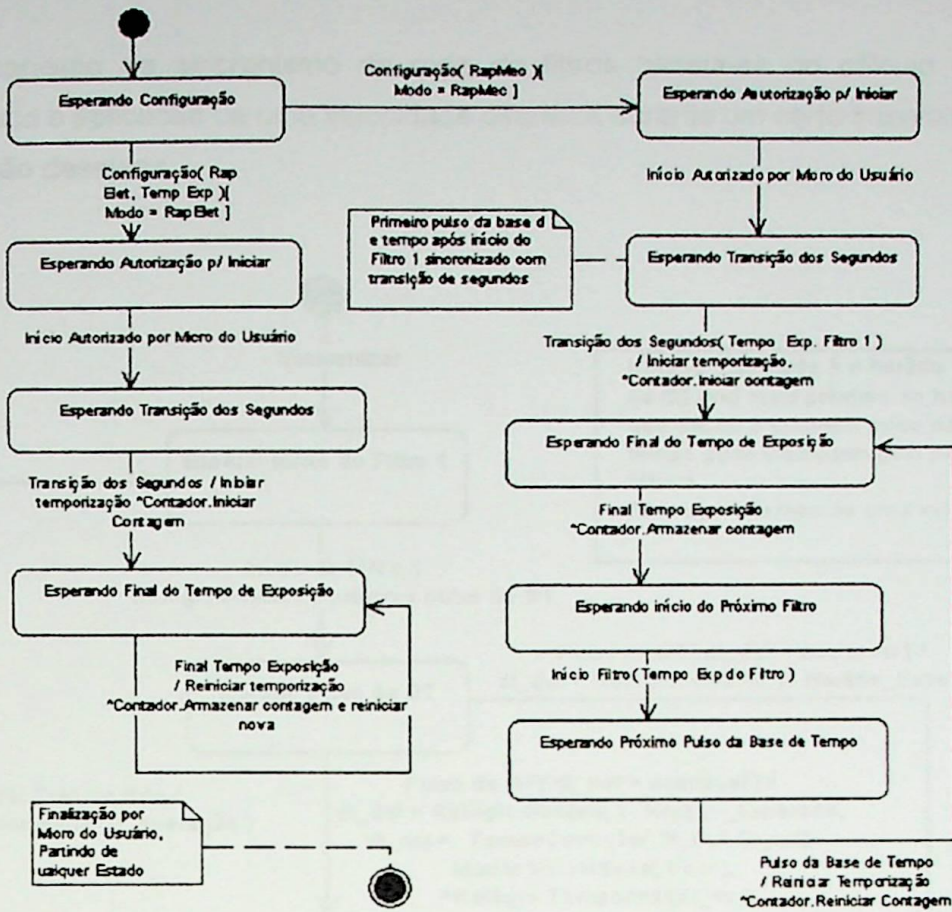


Figura 3.8 - Diagrama de Estados da Classe Temporizador

A aceleração e desaceleração da roda de filtros é feita com a variação da velocidade de rotação a cada intervalo de tempo programado, seguindo uma curva de aceleração própria para o mecanismo.

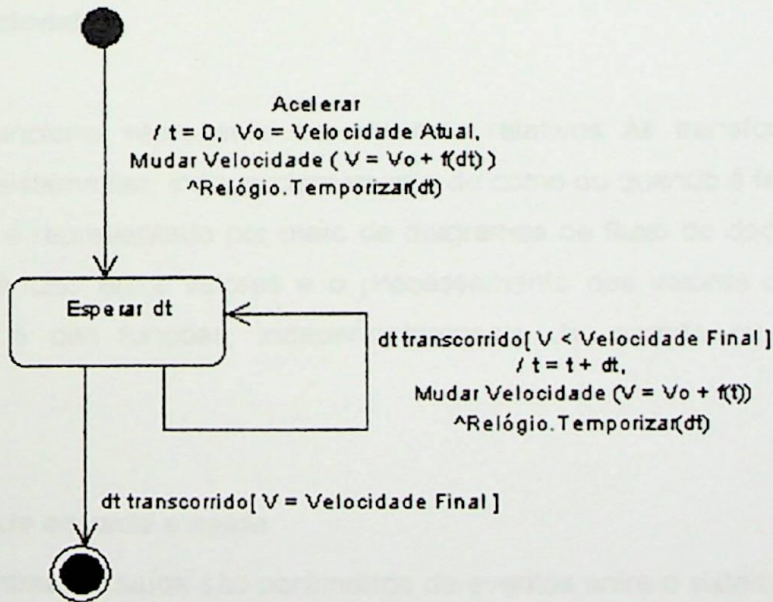


Figura 3.9 - Diagrama de Estados Aceleração do Disco Filtros

