

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

**PROJETO E FABRICAÇÃO DE UMA BOMBA
DE INJEÇÃO MÉDICA PARA USO EM
NEUROANGIOGRAFIA 4D**

Eduardo Moura Cirilo Rocha

Brasília, Dezembro de 2017



**ENGENHARIA
MECATRÔNICA**
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

**PROJETO E FABRICAÇÃO DE UMA BOMBA
DE INJEÇÃO MÉDICA PARA USO EM
NEUROANGIOGRAFIA 4D**

Eduardo Moura Cirilo Rocha

*Relatório submetido como requisito parcial para obtenção
do grau de Engenheiro de Controle e Automação*

Banca Examinadora

Prof. Guilherme C. de Carvalho, ENM/UnB
Orientador

Prof. Fulano de Tal 2, ENM/UnB
Examinador interno

Prof. Fulano de Tal 3, ENM/USP
Examinador interno

Brasília, Dezembro de 2017

FICHA CATALOGRÁFICA

ROCHA, EDUARDO MOURA CIRILO

Projeto e Fabricação de uma Bomba de Injeção Médica para Uso em Neuroangiografia 4D, [Distrito Federal] 2017.

xvii, 16p., 297 mm (FT/UnB, Engenheiro, Controle e Automação, 2017).

Trabalho de Graduação - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

1. Bomba de Injeção Médica

2. Automação de Sistemas

3. Engenharia Biomédica

4. Neuroangiografia

I. Mecatrônica/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ROCHA, E. M. C., 2017. *Projeto e Fabricação de uma Bomba de Injeção Médica para Uso em Neuroangiografia 4D*. Trabalho de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Publicação FT.TG-nº , Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 16p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Eduardo Moura Cirilo Rocha.

TÍTULO DO TRABALHO DE GRADUAÇÃO: Projeto e Fabricação de uma Bomba de Injeção Médica para Uso em Neuroangiografia 4D.

GRAU: Engenheiro ANO: 2017

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste Trabalho de Graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desse Trabalho de Graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Eduardo Moura Cirilo Rocha

SHVP, rua 12, cond. 151/1, casa 23

CEP 72007-650 - Taguatinga - DF - Brasil

Dedicatória

Dedicatória do autor 1

Eduardo Moura Cirilo Rocha

Agradecimentos

A inclusão desta seção de agradecimentos é opcional e fica à critério do(s) autor(es), que caso deseje(em) inclui-la deverá(ao) utilizar este espaço, seguindo esta formatação.

Eduardo Moura Cirilo Rocha

RESUMO

O presente texto apresenta normas a serem seguidas por alunos do Curso de Engenharia Mecatrônica da Universidade de Brasília para redação de relatório na disciplina Projeto de Graduação 2. Tais normas foram aprovadas pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Mecatrônica em julho/2005. São apresentadas instruções detalhadas para a formatação do trabalho em termos de suas partes principais.

ABSTRACT

The same as above, in english.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2	DEFINIÇÃO E OBJETIVOS DO PROBLEMA	1
1.3	APRESENTAÇÃO DO MANUSCRITO	1
2	MODELAGEM DO SISTEMA	2
2.1	INTRODUÇÃO	2
2.2	MODELAGEM EM MÁQUINA DE ESTADOS FINITA.....	3
2.3	MODELAGEM EM REDE DE PETRI.....	3
2.4	SIMULAÇÕES DA REDE DE PETRI.....	4
3	PROJETO MECÂNICO	7
3.1	INTRODUÇÃO	7
3.2	COMPONENTES NECESSÁRIOS	7
3.3	ESCOLHAS DOS COMPONENTES	7
3.4	FABRICAÇÃO DO SISTEMA	7
4	PROJETO DE AUTOMAÇÃO	8
4.1	INTRODUÇÃO	8
4.2	ESCOLHA DO CONTROLADOR E SEUS MÓDULOS.....	8
4.3	DIAGRAMAS ELÉTRICOS.....	8
4.4	TELA DE SUPERVISÓRIO E INTERFACE DE USUÁRIO	8
5	PROGRAMAÇÃO DO CONTROLADOR.....	9
5.1	INTRODUÇÃO	9
5.2	ORGANIZAÇÃO DO PROJETO	9
5.3	DETALHAÇÃO DOS PROGRAMAS	9
5.4	CONTROLE DE VELOCIDADE DOS ATUADORES.....	9
6	RESULTADOS EXPERIMENTAIS	10
6.1	INTRODUÇÃO	10
6.2	AValiação DO ALGORITMO DE RESOLUÇÃO DA EQUAÇÃO ALGÉBRICA DE RICCATI	10

7	CONCLUSÕES	12
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	13
	ANEXOS	14
I	DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS	15
II	DESCRIÇÃO DO CONTEÚDO DO CD	16

LISTA DE FIGURAS

2.1	Automato do funcionamento simplificado do sistema.	2
2.2	Rede de Petri projetada em nível de implementação.	5
2.3	Rede de Petri projetada em nível de implementação.	6

LISTA DE TABELAS

2.1	Descrição dos símbolos do autômato da figura 2.1.	4
6.1	Tempos de execução em segundos para diferentes máquinas	10

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolos Latinos

A	Área	$[m^2]$
C_p	Calor específico a pressão constante	$[kJ/kg.K]$
h	Entalpia específica	$[kJ/kg]$
\dot{m}	Vazão mássica	$[kg/s]$
T	Temperatura	$[^{\circ}C]$
U	Coefficiente global de transferência de calor	$[W/m^2.K]$

Símbolos Gregos

α	Difusividade térmica	$[m^2/s]$
Δ	Variação entre duas grandezas similares	
ρ	Densidade	$[m^3/kg]$

Grupos Adimensionais

Nu	Número de Nusselt
Re	Número de Reynolds

Subscritos

amb	ambiente
ext	externo
in	entrada
ex	saída

Sobrescritos

\cdot	Variação temporal
$—$	Valor médio

Siglas

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

Capítulo 1

Introdução

Este capítulo apresenta a principal motivação do trabalho de graduação. Os objetivos são claramente apresentados, visando assim satisfazer um conjunto de características prescritas para este trabalho. Por fim, o manuscrito é apresentado. (Este resumo é opcional)

1.1 Contextualização

Em geral, na introdução que é feita a contextualização do trabalho. Aspectos importantes tais como motivação e relevância do tema escolhido devem ficar claros.

1.2 Definição e objetivos do problema

Aqui o problema é definido, deve-se deixar claro quais são os objetivos do projeto.ZZ

1.3 Apresentação do manuscrito

No capítulo ?? é feita uma revisão bibliográfica sobre o tema de estudo. Em seguida, o capítulo 3 descreve a metodologia empregada no desenvolvimento do projeto. Resultados experimentais são discutidos no capítulo 6, seguido das conclusões no capítulo 7. Os anexos contém material complementar.

Capítulo 2

Modelagem do Sistema

2.1 Introdução

Primeiramente, modelou-se o comportamento do sistema em uma Máquina de Estados Finita (autômato), de forma a se obter uma descrição simples de como a máquina opera. Em seguida, detalhou-se mais a modelagem por meio de uma rede de Petri, onde alcançou-se um nível de implementação. A rede de Petri obtida foi simulada para a verificação de que ela atende corretamente aos requisitos do projeto.

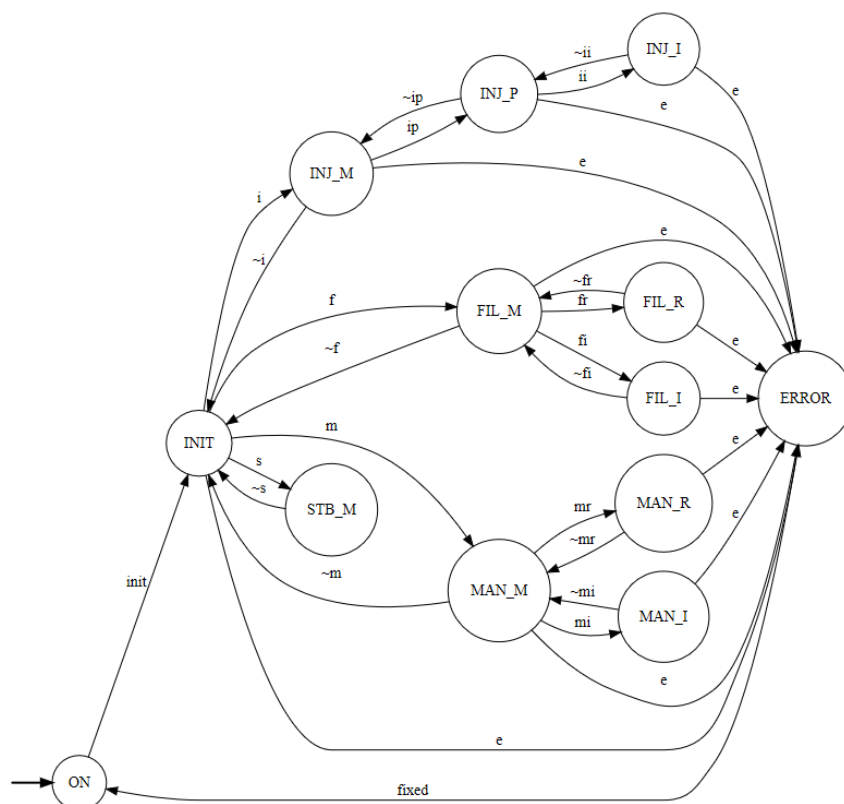


Figura 2.1: Autômato do funcionamento simplificado do sistema.

2.2 Modelagem em Máquina de Estados Finita

A partir da descrição e dos requisitos de projeto, modelou-se o comportamento do sistema com apenas um eixo por meio de um autômato. O intuito do desenvolvimento desse autômato foi para se obter uma melhor compreensão do funcionamento da máquina. O autômato desenvolvido pode ser visto na figura 2.1 e as descrições dos símbolos usados para estados e transições podem ser vistos na tabela 2.1.

Considerando que a máquina entra no estado inicial ao ser ligada, a primeira ação que deve ocorrer é a inicialização da máquina (evento init), que indica que a máquina está pronta para realizar operações. Após ser inicializado, o sistema deve ser capaz de entrar nos diferentes modos de operação. Ao entrar em um modo de operação específico, o sistema deve ser capaz de mover o êmbolo da seringa de acordo com as restrições desse modo. Também adicionou-se um estado que representa a ocorrência de um erro durante a operação da máquina (estado ERROR), como, por exemplo, a pressão máxima da seringa ser excedida.

Símbolo	Descrição
ON	Máquina ligada, mas não inicializada
INIT	Máquina ligada e inicializada
STB_M	Em modo Stand by
INJ_M	Em modo de injeção com parâmetros não definidos
INJ_P	Em modo de injeção com parâmetros definidos
INJ_I	Injetando em modo de injeção
FIL_M	Em modo de enchimento
FIL_R	Retraindo em modo de enchimento (enchendo)
FIL_I	Injetando em modo de enchimento
MAN_M	Em modo manual
MAN_R	Retraindo em modo manual
MAN_I	Injetando em modo manual
ERROR	Estado de erro
init	Eixo inicializado
fixed	Erro foi corrigido
e	Erro ocorreu
x	Comando para ir para o modo x
~x	comando para sair do modo x
xr	Comando para retrainr êmbolo no modo x
~xr	Comando para parar de retrainr êmbolo no modo x
xi	Comando para injetar no modo x
~xi	Comando para parar de injetar no modo x
ip	Parâmetros de injeção foram definidos
~ip	Retornar para a definição de parâmetros

Tabela 2.1: Descrição dos símbolos do autômato da figura 2.1.

2.3 Modelagem em rede de Petri

Pode ser visto no autômato da figura que o usuário nunca poderia alcançar os modos de operação sem que os dois eixos fossem inicializados primeiro. No entanto, para fins de desenvolvimento, é desejável que esses modos sejam acessíveis sem o procedimento de inicialização ou com a inicialização de apenas um dos eixos. Então, foi decidido alterar os autômatos para permitir que isso acontecesse, mas com a restrição de nunca mover o êmbolo de um eixo (exceto no procedimento de inicialização) se esse eixo não for inicializado. Tais mudanças e o detalhamento dos processos tornariam o autômato muito grande e complexo, por isso foi decidido modelar o sistema com uma rede Petri.

A rede de Petri projetada em nível de implementação para a máquina com um eixo com sua marcação inicial pode ser vista na figura 2.2. As descrições das transições são as mesmas da tabela 2.1. A implementação completa com dois eixos ocorre pela implementação dessa rede duas vezes, onde os lugares brancos das duas redes se sobrepõem. Ou seja, o modo de operação dos eixos sempre é o mesmo, mas o estado de cada eixo pode ser diferente. Isso é útil para quando apenas um eixo da máquina está sendo utilizado.

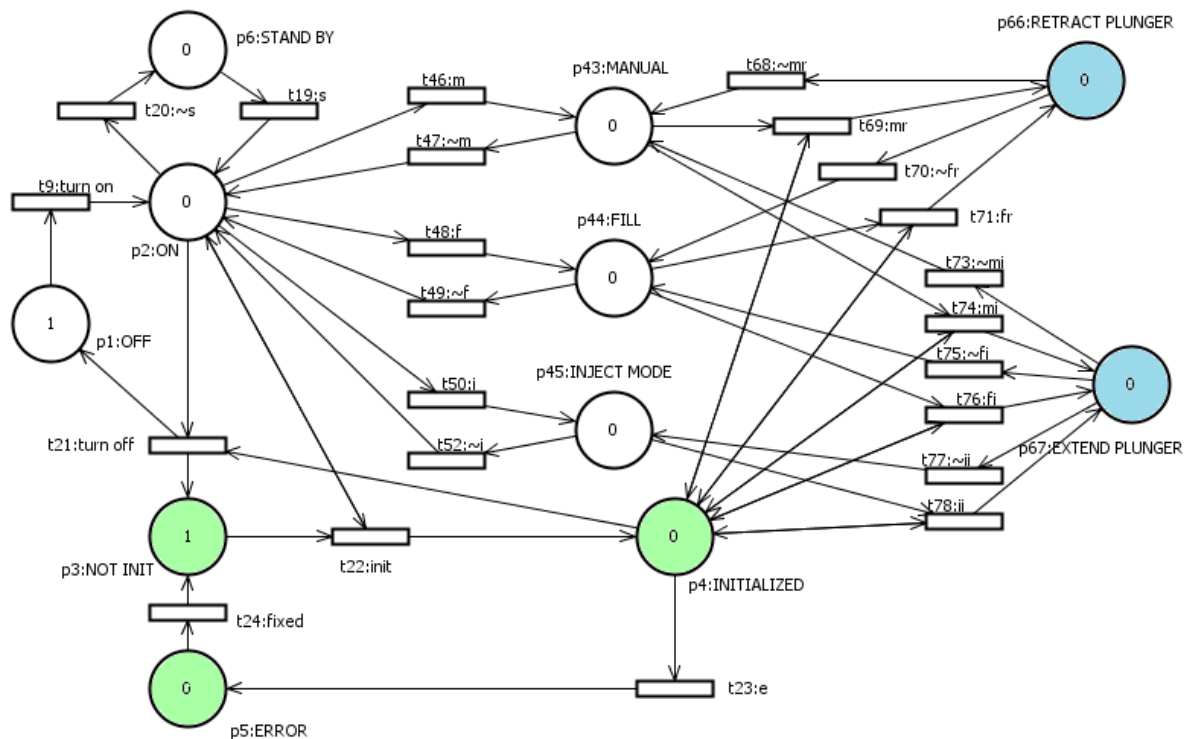


Figura 2.2: Rede de Petri projetada em nível de implementação.

Pode-se ver que sempre haverá uma ficha entre os lugares em verde e uma ficha fora desses lugares. A ficha entre os lugares em verde representa o estado dos eixos, representa se os eixos estão inicializados ou se ocorreu um erro no sistema. A ficha fora dos lugares em verde representa em qual modo de operação o sistema está. Observe que, se o eixo não for inicializado, a ficha fora dos lugares em verde não alcançará os lugares em azul, que representam os estados em que os

êmbolos estão em movimento, conforme indicado anteriormente.

Vale ressaltar que, caso algum dos êmbolos esteja em movimento e ocorrer algum erro no sistema (evento e), as transições $\sim x_r$ e $\sim x_i$, que são descritas na tabela 2.1, são acionadas de modo a parar o movimento do êmbolo. Pode-se observar também que, de acordo com a rede de Petri, uma ficha poderia transicionar do lugar MANUAL para o lugar RETRACT PLUNGER e em seguida para o lugar FILL, que seria um problema, já que essa última transição deveria ser de volta para o lugar MANUAL. Isso poderia ser simplesmente corrigido pela adição de alguns lugares adicionais na rede. Porém, como todos os eventos relacionados a essas transições são determinísticos, decidiu-se manter a rede simples e garantir que nunca ocorrerá uma sequência de eventos que resultaria em transições problemáticas como a citada.

2.4 Simulações da rede de Petri

Para a verificação de que rede atende corretamente aos requisitos do projeto e possui um comportamento adequado, ela foi simulada através do programa *Hierarchical Petri net Simulator* (HiPS). Ele nos permite fazer análises estruturais e comportamentais da rede. Como esperado, a análise estrutural, que pode ser vista na figura 2.3, mostrou que a rede é conservadora e consistente. Através da análise comportamental, obteve-se que a rede e todas as transições são L4-vivas. Finalmente, por meio do acionamento manual das transições, verificou-se o correto comportamento do sistema.

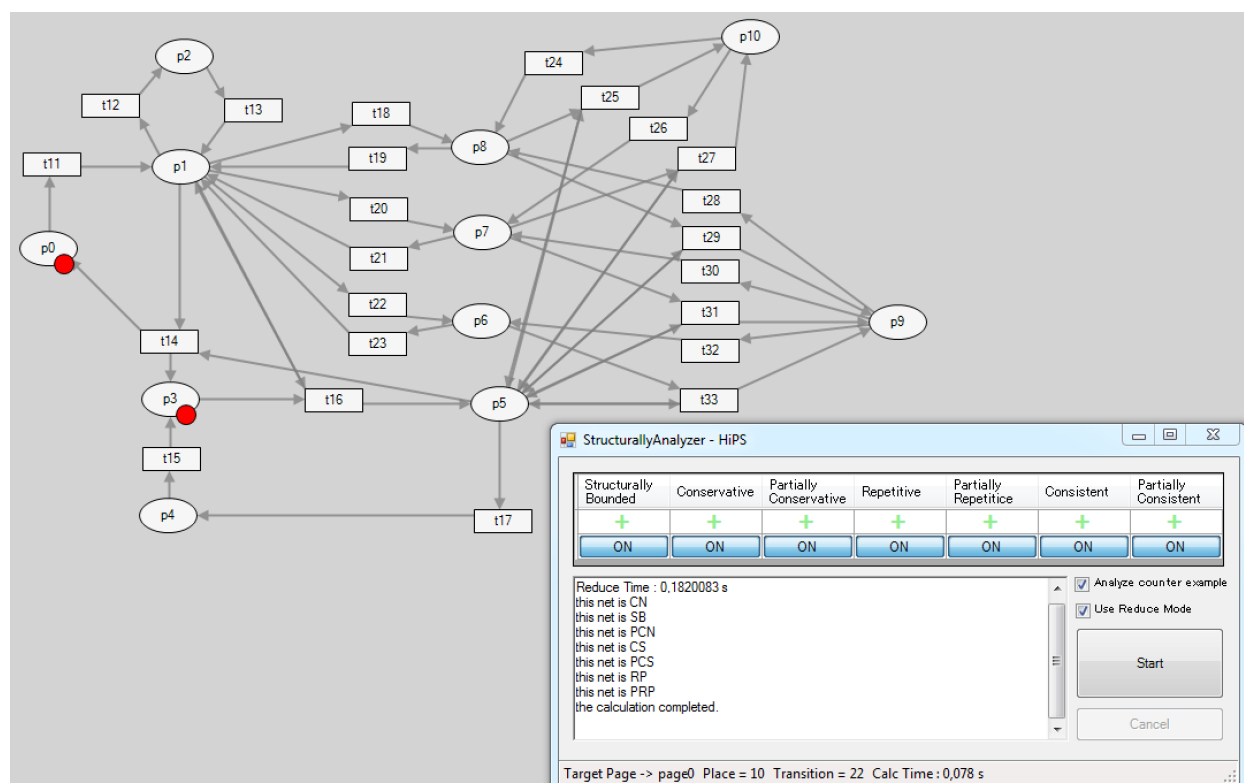


Figura 2.3: Rede de Petri projetada em nível de implementação.

Capítulo 3

Projeto Mecânico

Resumo opcional.

3.1 Introdução

Na introdução deverá ser feita uma descrição geral da metodologia que foi seguida para o desenvolvimento. A seguir, é feita a descrição do sistema desenvolvido.

Deve-se ressaltar que equações fazem parte do texto, devendo receber pontuação apropriada e ser numerada. Alguns exemplos são mostrados na seção ??.

3.2 Componentes necessários

3.3 Escolhas dos componentes

3.4 Fabricação do sistema

Capítulo 4

Projeto de Automação

Resumo opcional.

4.1 Introdução

Na introdução deverá ser feita uma descrição geral da metodologia que foi seguida para o desenvolvimento. A seguir, é feita a descrição do sistema desenvolvido.

Deve-se ressaltar que equações fazem parte do texto, devendo receber pontuação apropriada e ser numerada. Alguns exemplos são mostrados na seção ??.

4.2 Escolha do controlador e seus módulos

Variáveis

4.3 Diagramas elétricos

4.4 Tela de supervisão e interface de usuário

Capítulo 5

Programação do Controlador

Resumo opcional.

5.1 Introdução

Na introdução deverá ser feita uma descrição geral da metodologia que foi seguida para o desenvolvimento. A seguir, é feita a descrição do sistema desenvolvido.

Deve-se ressaltar que equações fazem parte do texto, devendo receber pontuação apropriada e ser numerada. Alguns exemplos são mostrados na seção ??.

5.2 Organização do projeto

5.3 Detalhação dos programas

5.4 Controle de velocidade dos atuadores

Capítulo 6

Resultados Experimentais

Resumo opcional.

6.1 Introdução

Na introdução deverá ser feita uma descrição geral dos experimentos realizados.

Para cada experimentação apresentada, descrever as condições de experimentação (e.g., instrumentos, ligações específicas, configurações dos programas), os resultados obtidos na forma de tabelas, curvas ou gráficos. Por fim, tão importante quando ter os resultados é a análise que se faz deles. Quando os resultados obtidos não forem como esperados, procurar justificar e/ou propor alteração na teoria de forma a justificá-los.

6.2 Avaliação do algoritmo de resolução da equação algébrica de Riccati

O algoritmo proposto para solução da equação algébrica de Riccati foi avaliado em diferentes máquinas. Os tempos de execução são mostrados na Tabela 6.1. Nesta tabela, os algoritmos propostos receberam a denominação CH para Chandrasekhar e $CH + LYAP$ para Chandrasekhar com Lyapunov. As implementações foram feitas em linguagem *script* MATLAB.

Observa-se que o algoritmo $CH + LYAP$ apresenta tempos de execução superiores com relação ao algoritmo CH . Entretanto, era esperado que o algoritmo CH fosse mais rápido. Este resultado

Tabela 6.1: Tempos de execução em segundos para diferentes máquinas

Algoritmo	Laptop 1.8 GHz	Desktop PIII 850 MHz	Desktop MMX 233	Laptop 600 MHz
Matlab ARE	649,96	1.857,5	7.450,5	9.063,9
CH	259,44	606,4	2.436,5	2.588,5
$CH + LYAP$	357,86	952,9	3.689,2	3.875,0

se justifica pelo fato de o algoritmo CH fazer uso de funções embutidas do MATLAB. Já o algoritmo $CH + LYAP$ faz uso também de funções *script* externas, aumentando bastante seu tempo computacional.

Capítulo 7

Conclusões

Este capítulo é em geral formado por: um breve resumo do que foi apresentado, conclusões mais pertinentes e propostas de trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

I. DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS

II. DESCRIÇÃO DO CONTEÚDO DO CD