

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
Faculdade de Tecnologia

TRABALHO DE GRADUAÇÃO  
**AULAS GALILEU**

**Luiz Fernando de Andrade Gadêlha**

*Relatório submetido ao Departamento de Engenharia  
Elétrica como requisito parcial para obtenção  
do grau de Engenheiro Mecatrônico*

Banca Examinadora

Prof. Alexandre Zaghetto, CIC/UnB <i>Orientador</i>	_____
Prof. Fulano de Tal 2, ENE/UnB <i>Co-orientador</i>	_____
Prof. Fulano de Tal 3, EESC/USP <i>Examinador externo</i>	_____
Prof. Fulano de Tal 4, ENE/UnB <i>Examinador interno</i>	_____

## **Dedicatória**

*Dedico este trabalho em primeiro lugar a Deus, por todas benções que me fizeram continuar e todas dificuldades que me fizeram crescer. Dedico este trabalho também à minha família, que esteve comigo em todos momentos da minha formação*

*Luiz Fernando de Andrade Gadêlha*

## Agradecimentos

*Agradeço a meus colegas de curso, projetos e ao meu professor orientador por este trabalho*

*Luiz Fernando de Andrade Gadêlha*

---

## **RESUMO**

Este trabalho tem como objetivo propor uma disciplina voltada para alunos de graduação para desenvolvimento de circuitos embarcados. Tal proposta se fundamenta na crescente necessidade e popularização de circuitos embarcados voltados aos mais diversos fins, como automação residencial, predial e industrial. A disciplina tem como base de desenvolvimento o microcontrolador Galileo e conceitos de eletrônica de todos níveis.

---

## **ABSTRACT**

This work aims to propose a discipline aimed at undergraduate students for learning development of embedded circuits. This proposal is based on the growing need and popularization of embedded circuits geared to various purposes, such as home automation, building and industrial. The course has the development of basic microcontroller Galileo and electronics concepts of all levels.

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO .....	1
1.2	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA .....	1
1.3	OBJETIVOS DO PROJETO.....	1
1.4	APRESENTAÇÃO DO MANUSCRITO .....	1
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>2</b>
2.1	INTRODUÇÃO .....	2
2.2	TÉCNICAS DE ACIONAMENTOS DE MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA .....	2
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>5</b>
3.1	INTRODUÇÃO .....	5
3.2	ARQUITETURA GERAL.....	5
3.3	CLASSIFICADOR ESTATÍSTICO DE PADRÕES .....	5
3.4	SEÇÃO .....	6
3.4.1	SUB-SEÇÃO .....	6
<b>4</b>	<b>RESULTADOS EXPERIMENTAIS .....</b>	<b>7</b>
4.1	INTRODUÇÃO .....	7
4.2	AValiação DO ALGORITMO DE RESOLUÇÃO DA EQUAÇÃO ALGÉBRICA DE RICCATI .....	7
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>9</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>10</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>11</b>
<b>I</b>	<b>DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS .....</b>	<b>12</b>
<b>II</b>	<b>DESCRIÇÃO DO CONTEÚDO DO CD .....</b>	<b>13</b>

# LISTA DE FIGURAS

2.1	O atuador na malha de controle .....	3
2.2	Estágios de potência comumente usados em atuadores lineares .....	4

# LISTA DE TABELAS

4.1	Tempos de execução em segundos para diferentes máquinas .....	7
-----	---	---

# LISTA DE SÍMBOLOS

## Símbolos Latinos

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

## Símbolos Gregos

$\alpha$	Difusividade térmica	$[\text{m}^2/\text{s}]$
$\Delta$	Variação entre duas grandezas similares	
$\rho$	Densidade	$[\text{m}^3/\text{kg}]$

## 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 do problema

Aqui o problema é definido.

### 1.3 Objetivos do projeto

Nesta seção, deve-se deixar claro quais são os objetivos do projeto.

### 1.4 Apresentação do manuscrito

No capítulo 2 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 4, seguido das conclusões no capítulo 5. Os anexos contém material complementar.

## Capítulo 2

# Revisão Bibliográfica

*Resumo opcional.*

### 2.1 Introdução

Nem todos os trabalhos de graduação têm um capítulo específico para revisão bibliográfica. De fato, um capítulo específico para revisão bibliográfica se aplica para trabalhos em que a teoria empregada não é coberta por disciplinas do curso. Caso contrário, uma breve revisão pode ser feita no capítulo 1.

Não esquecer de fazer citações à bibliografia. No latex, somente são inseridos na bibliografia aqueles trabalhos que foram citados [1]. Ou você pode citar assim [1, 2], no caso de citações múltiplas. Entretanto, citações não são de exclusividade deste capítulo. Em outros capítulos, citações devem ser feitas quando for pertinente.

Na seção a seguir, é mostrado um exemplo com figuras.

### 2.2 Técnicas de acionamentos de motores de corrente contínua

Um dos elementos mais importantes na malha de controle é o atuador. Como mostrado na Fig. 2.1, este elemento é o elo de conexão entre a saída do controlador e a entrada do processo. No caso específico deste trabalho, o processo é um motor de corrente contínua.

Deve ser observado que toda figura deve ser referenciada no texto. A figura deve estar posicionada no começo ou no final da página, e sempre na mesma página da primeira citação ou em páginas seguintes. Nunca colocar a figura em páginas anteriores à da primeira citação. No caso de múltiplos gráficos em uma mesma figura, pode-se usar o pacote **subfigure**, como mostrado no parágrafo seguinte.

A Figura 2.2 apresenta alguns dos mais usados estágios de potência de acionadores lineares. Dentre eles, o mais simples é o estágio classe B (Fig. 2.2(a)). Neste estágio, apenas um dos transistores conduz por vez. Entretanto, este circuito apresenta forte não-linearidade devido a um intervalo de tensões  $v_e$  em que nenhum dos transistores opera em modo ativo. As soluções existentes

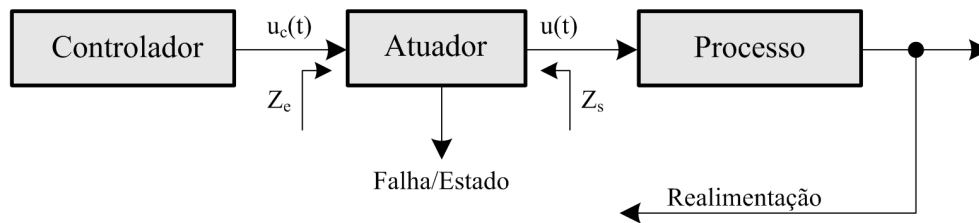


Figura 2.1: O atuador na malha de controle

para este minimizar este problema consistem em fazer com que ambos os transistores conduzam sempre. Alguns exemplos são mostrados nas Figs. 2.2(b-c). Apesar de ainda apresentarem não-linearidade e curva característica dependente da carga, estes problemas praticamente desaparecem se as etapas de potência estiverem em uma malha fechada com alto ganho.

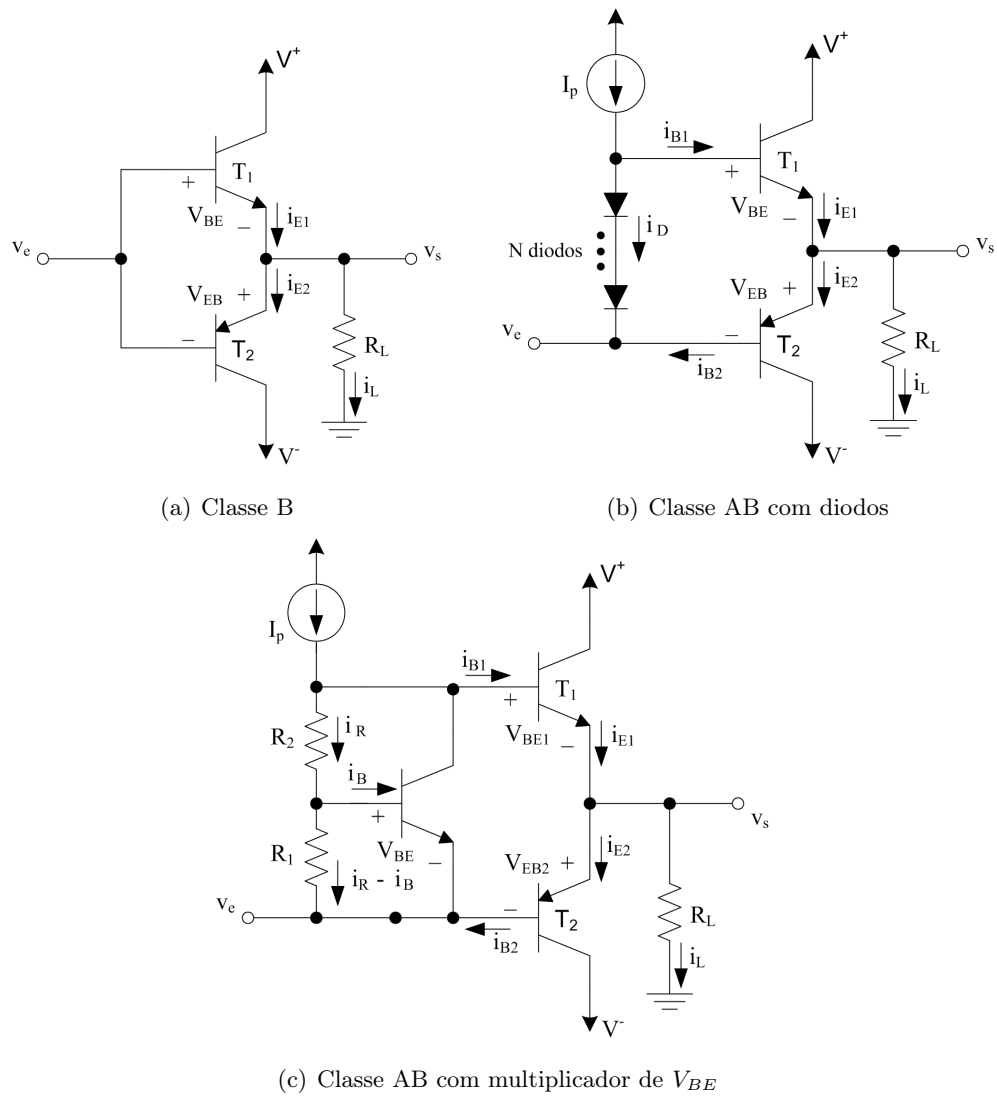


Figura 2.2: Estágios de potência comumente usados em atuadores lineares

## Capítulo 3

# Desenvolvimento

*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 3.3.

### 3.2 Arquitetura geral

### 3.3 Classificador estatístico de padrões

O classificador automático de padrões utiliza o princípio da menor distância no processo de associação de dados. Assim, sendo  $\mathbf{x}$  o vetor de características extraídas de uma imagem e  $\mathbf{P}_{\mathbf{x}}$  sua matriz de covariâncias respectiva, utiliza-se

$$d_i = (\mathbf{x} - \mathbf{p}_i)^T (\mathbf{P}_{\mathbf{x}} + \mathbf{P}_{\mathbf{p}_i})^{-1} (\mathbf{x} - \mathbf{p}_i) \quad (3.1)$$

como métrica para a distância estatística de  $\mathbf{x}$  e um padrão de características  $\mathbf{p}_i$  e matriz de covariâncias  $\mathbf{P}_{\mathbf{p}_i}$ . Esta métrica é conhecida também pela denominação “distância de Mahalanobis”. A distância definida pela Eq. (3.1) segue distribuição  $\chi_n^2$ , em que  $n$  é a dimensão da base do vetor  $\mathbf{x}$ . Assim sendo, no caso específico de  $n = 3$ , o padrão associado ao vetor  $\mathbf{x}$  é dito casado com o padrão  $\mathbf{p}_i$  com 5% de margem de erro se

$$d_i \leq 7,815. \quad (3.2)$$

A seguir é mostrado como o modelo Latex apresenta os comandos `\section` `\subsection` e `\subsubsection`. Por questão de estilo, o texto deve ser organizado de modo a se evitar o uso de `\subsubsection`.

## 3.4 Seção

Meu texto da seção.

### 3.4.1 Sub-seção

Meu texto da sub-seção.

#### 3.4.1.1 Sub-sub-seção

Meu texto da sub-sub-seção.

Se necessário, use notas de rodapé <sup>1</sup>

---

<sup>1</sup>Essa é uma nota de rodapé.

## Capítulo 4

# Resultados Experimentais

*Resumo opcional.*

### 4.1 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.

### 4.2 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 4.1. 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 4.1: 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 5

# 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

- [1] GOLFARELLI, M.; MARIO, D.; RIZZI, S. Correction of dead-reckoning errors in map building in map building for mobile robots. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, v. 17, n. 1, p. 37–47, February 2001.
- [2] DUCKETT, T.; MARSLAND, S.; SHAPIRO, J. Learning globally consistent maps by relaxation. In: *IEEE International Conference on Robotics and Automation*. [S.l.: s.n.], 2000. p. 3841–3846.

# ANEXOS

# I. DIAGRAMAS ESQUEMÁTICOS

## II. DESCRIÇÃO DO CONTEÚDO DO CD