



Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - PPGEL

Associação ampla UFSJ / CEFET-MG

Título

Nome do Aluno

Orientador: Nome do Orientador

Coorientador: Nome do Coorientador

São João del-Rei, DD de MMMMMM de AAAA.



Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - PPGEL

Associação ampla UFSJ / CEFET-MG

Título

Nome do Aluno

Dissertação apresentada à banca examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, associação ampla entre a Universidade Federal de São João del-Rei e o Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientador: Nome do Orientador

Coorientador: Nome do Coorientador

São João del-Rei, DD de MMMMMM de AAAA.

Ficha catalográfica elaborada pela Divisão de Biblioteca (DIBIB)
e Núcleo de Tecnologia da Informação (NTINF) da UFSJ,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

O89a Ottoni, André Luiz Carvalho .
Análise de Sensibilidade dos Parâmetros do
Aprendizado por Reforço na Solução do Problema do
Caixeiro Viajante / André Luiz Carvalho Ottoni ;
orientador Erivelton Geraldo Nepomuceno;
coorientador Marcos Santos de Oliveira. -- São João
del-Rei, 2016.
68 p.

Dissertação (Mestrado - Mestrado em Engenharia
Elétrica) -- Universidade Federal de São João del
Rei, 2016.

1. Inteligência Artificial. 2. Aprendizado por
Reforço. 3. Problema do Caixeiro Viajante. 4. Análise
de Sensibilidade dos Parâmetros. 5. Metodologia de
Superfície de Resposta. I. Nepomuceno, Erivelton
Geraldo, orient. II. Oliveira, Marcos Santos de , co
orient. III. Título.

Dedico este trabalho... (em uma única frase dedique o seu trabalho).

Agradecimentos

Deixe aqui os seus agradecimentos...

"Aqui deve-se escrever a epígrafe."

Autor(es) da epígrafe

Resumo

Resumo em português do trabalho.

Palavras-chave: Modelo Latex, Dissertação de Mestrado, Engenharia Elétrica, UFSJ, CEFET.

Abstract

Resumo em inglês do trabalho.

Keywords: Palavras-chave em inglês.

Lista de Figuras

3.1	Função do Segundo Grau	8
-----	----------------------------------	---

Lista de Tabelas

3.1 Resultados obtidos	7
----------------------------------	---

Lista de Símbolos

α : taxa de aprendizado.

α_k : taxa de aprendizado constante.

$\alpha_n(s,a)$: taxa de aprendizado decaindo ao longo do tempo.

γ : fator de desconto.

ϵ : parâmetro da política $\epsilon - greedy$.

λ : traço de elegibilidade.

s_t : estado no instante t .

a_t : ação no instante t .

r_{t+1} : reforço no instante $t + 1$.

S : conjunto de estados possíveis do sistema.

A : conjunto de ações que o agente pode realizar.

T : função de transição de estados.

R : função de recompensa.

$v_n(s,a)$: contador do número de visitas ao par estado-ação.

π : política de decisão para s_t .

Lista de Abreviações

AG: Algoritmos Genéticos.

AR: Aprendizado por Reforço.

IA: Inteligência Artificial.

MDP: Processos de Decisão de Markov (*Markov Decision Processes*).

PCV: Problema do Caixeiro Viajante.

PKS: Problema dos K-Servos.

PRV: Problema de Roteamento de Veículos.

RSM: Metodologia de Superfície de Resposta (*Response Surface Methodology*).

SI: Sistemas Inteligentes.

TSP: *Symmetric Traveling Salesman Problem*.

ATSP: *Asymmetric Traveling Salesman Problem*.

VI: Variável Independente.

KS: Teste de Kolmogorov-Smirnov.

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Arquivos da Dissertação	1
1.2	Ficha Catalográfica	2
1.3	Objetivos	2
1.4	Contribuições da Dissertação	2
1.5	Organização do Trabalho	3
2	Revisão de Literatura	5
3	Fundamentação Teórica	7
3.1	Inserindo Equações	7
3.2	Inserindo Tabelas	7
3.3	Inserindo Figuras	7
4	Metodologia	9
5	Resultados	11
6	Conclusões	13
6.1	Considerações Finais	13
6.2	Trabalhos Futuros	13
	Referências Bibliográficas	15

A Rotinas Computacionais	17
A.1 Algoritmo de obtenção das condições iniciais	17

Introdução

Este modelo contempla a estrutura padrão para dissertações de alunos do Grupo de Controle e Modelagem (GCOM) da UFSJ. Vale ressaltar que, este modelo apresenta sugestões de possíveis capítulos e seções para a sua dissertação. No entanto, cada dissertação possui suas particularidades e capítulos/seções ser adicionadas ou retiradas da estrutura do texto.

É importante na introdução chamar a atenção do leitor quanto ao tema do trabalho. Além disso, é importante deixar claro os objetivos da dissertação.

1.1 Arquivos da Dissertação

Para facilitar a edição, este modelo é estruturado a partir de vários arquivos *.tex*. Em seguida, uma breve descrição de cada um deles:

- *0_principal.tex*: é o arquivo principal do modelo de dissertação, pois é responsável por incluir todos os arquivos na dissertação. Dessa forma, este é o arquivo que deve ser compilado.
- *1_pacotescomandos.tex*: neste arquivo estão todos os pacotes do modelo. Além disso, devem ser alterados neste arquivo o Título e Nome do Aluno.
- *2_pretexto.tex*: define as configurações pré-textuais da dissertação: capa, folha de rosto, ficha catalográfica, dedicatória, agradecimentos, epígrafe, resumo e *abstract*.
- Os demais arquivos *.tex* são referentes a cada capítulo da dissertação. Assim, para inserir um novo capítulo é necessário criar um novo arquivo *.tex* e inserir no arquivo principal *0_principal.tex*, usando o comando *include*.

1.2 Ficha Catalográfica

A ficha catalográfica deve ser gerada a partir do site da biblioteca da UFSJ¹.

Em seguida, os passos para inserir a ficha catalográfica na dissertação:

1. Gerar a ficha pelo site da DIBIB/UFSJ.
2. Salvar em pdf na pasta da dissertação.
3. Alterar o nome do arquivo em *2_pretexto.tex* e salvar.
4. Compilar o arquivo principal *0_principal.tex*.

1.3 Objetivos

Utilize esta seção para explicar sobre os objetivos do trabalho.

1.4 Contribuições da Dissertação

Utilize esta seção para resumir todas as contribuições da dissertação, em termos de *softwares* desenvolvidos, provas matemáticas, artigos publicados em congressos e periódicos, patentes, etc.

Uma forma de apresentar as contribuições da dissertação é mostrada na sequência.

Em seguida, são apresentados os trabalhos publicados, frutos dos estudos ao longo do desenvolvimento desta dissertação:

- Ottoni, A. L. C., Nepomuceno, E. G., Cordeiro, L. T., Lamperti, R. D. e Oliveira, M. S. (2015). Análise do Desempenho do Aprendizado por Reforço na Solução do Problema do Caixeiro Viajante. Anais do XII SBAI - Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente 2015 (Ottoni et al., 2015).
- Ottoni, A. L. C., Nepomuceno, E. G., Oliveira, M. S., Cordeiro, L. T. e Lamperti, R. D. Análise da influência da taxa de aprendizado e do fator de desconto sobre o desempenho dos algoritmos Q-learning e SARSA: aplicação do aprendizado por reforço na navegação autônoma. Revista Brasileira de Computação Aplicada, 8(2), 44-59 (Ottoni et al., 2016).

¹http://www.dibib.ufsj.edu.br/site/index.php?option=com_content&view=article&id=70&Itemid=13

Em ?, o desempenho do Q-learning é analisado na resolução de três instâncias simétricas do PCV: berlin52, brazil58 e kroA100. Para isso, são realizados experimentos adotando três valores para política $\epsilon - greedy$ e dois paradigmas para a taxa de aprendizado (constante e decaindo).

Já em [Ottoni et al. \(2016\)](#), é analisada a influência da taxa de aprendizado e fator de desconto sobre o desempenho dos algoritmos Q-learning e SARSA. Como estudo de caso, é abordado um ambiente simples de navegação simulada em *gridworld*.

1.5 Organização do Trabalho

Utilize essa seção para explicar a organização dissertação, como exemplificado no próximo parágrafo.

Esta dissertação está organizada em capítulos. No capítulo 2, são levantados aspectos de revisão de literatura. No capítulo 3, é realizada uma fundamentação teórica quanto ao tema do trabalho. Em seguida, a metodologia proposta é apresentada no capítulo 4. O capítulo 5, por sua vez, apresenta a análise dos resultados. Finalmente, no capítulo 6, são apresentadas as conclusões.

Revisão de Literatura

A revisão bibliográfica é um ponto de extrema relevância no trabalho. Pode ser desenvolvida em um capítulo ou em uma seção da Introdução.

É importante citar e comentar trabalhos que abordaram aspectos da mesma linha de seu tema de pesquisa. Além disso, é recomendado citar referências tradicionais na literatura, como livros (Aguirre, 2007), teses, artigos em periódicos (Nepomuceno, 2014; Martins e Aguirre, 2016; Nepomuceno e Martins, 2016; Nepomuceno et al., 2016) e congressos (Ottoni et al., 2015; Paiva et al., 2015; Rodrigues Júnior e Nepomuceno, 2015) que lançaram os primeiros aspectos do seu objeto de estudo. Também é importante referenciar artigos atuais, principalmente os publicados na última década.

Para fazer citações devem ser usados os comandos `\citep` para citações nas quais o autor não é o sujeito da frase e `\cite` quando o autor é o sujeito da frase.

Finalmente, adote portais de periódicos para a busca das referências, como: Web of Science, Scopus, Scielo, Portal de Periódicos da Capes, entre outros. Algumas dessas plataformas você somente terá acesso utilizando a rede interna da universidade.

Fundamentação Teórica

A fundamentação teórica se difere da revisão bibliográfica. Neste capítulo, procure levantar as características principais que fundamentam a base do tema em estudo, como: equações, algoritmos e uma descrição da teoria.

3.1 Inserindo Equações

Equação do mapa logístico ([May, 1976](#)).

$$x_{n+1} = rx_n(1 - x_n) \quad (3.1)$$

3.2 Inserindo Tabelas

Tabela 3.1: Resultados obtidos como solução do algoritmo que considera a computação intervalar no cálculo do mapa logístico. Fonte: [Rodrigues Jr \(2014\)](#).

n	x_n	$ x_n^+ - x_n^- $	$ X_n \cap X_{n-1} $
0	0,305810397553517	$5,551115123125783 \times 10^{-17}$	$= \emptyset$
1	0,694189602446483	$3,330669073875470 \times 10^{-16}$	$= \emptyset$
2	0,694189602446483	$2,220446049250313 \times 10^{-16}$	$\neq \emptyset$

3.3 Inserindo Figuras

A Figura [3.1](#) foi obtida através da função do Matlab *gcomplot*. O código dessa função se encontra anexado ao final do documento.

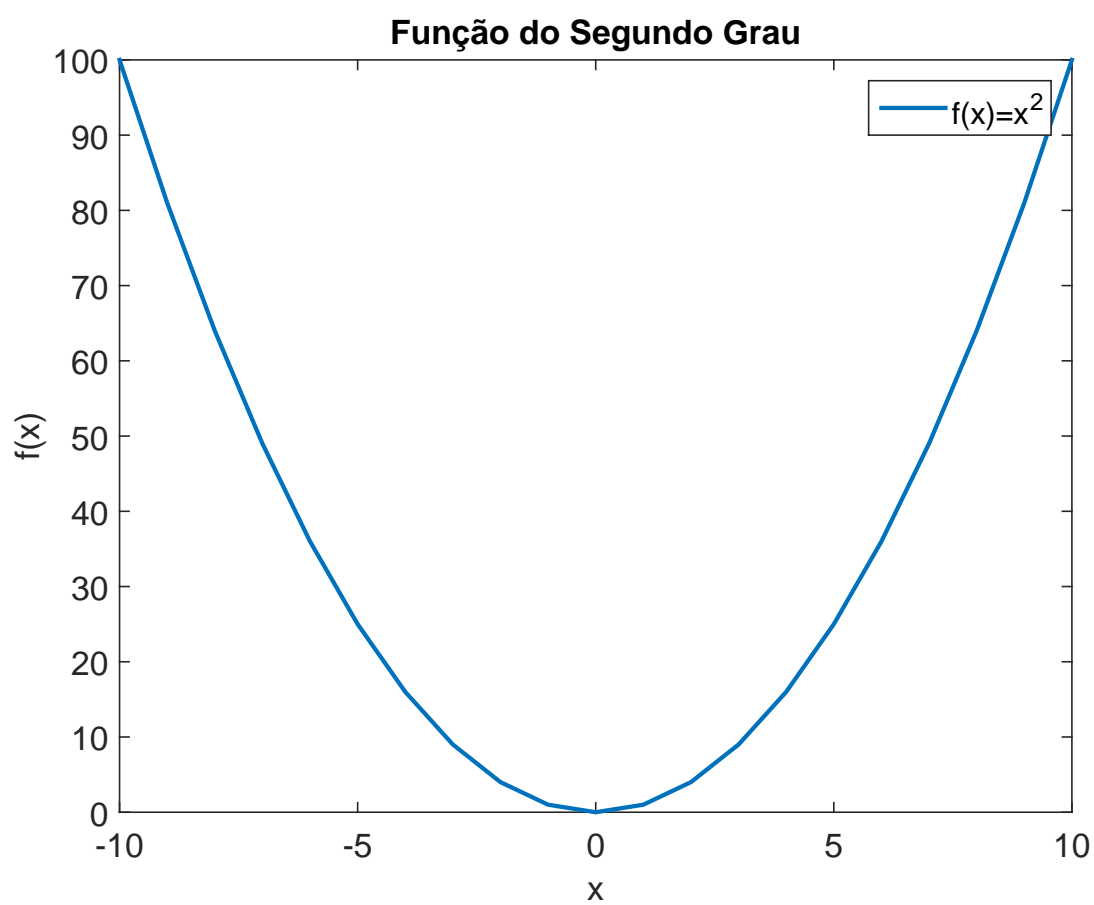


Figura 3.1: Gráfico da função do segundo grau $f(x) = x^2$ para $-10 \leq x \leq 10$.

Metodologia

Geralmente, a Metodologia é a principal contribuição do trabalho. Neste capítulo, é importante deixar bem claro quais foram os passos executados para o sucesso do trabalho.

Resultados

Nos resultados é importante adotar gráficos e tabelas para facilitar a compreensão. Vale ressaltar que, os gráficos devem ser preparados cuidadosamente para o texto. Assim, cuidado com legendas e números pequenos ou distorcidos. Aconselha-se o uso de softwares científicos para a confecção dos gráficos, como o *Matlab*, *Scilab* e *R*.

Conclusões

Na conclusão, procure retornar rapidamente aos principais aspectos do trabalho. Além disso, deixar bem claro ao autor quais as contribuições da pesquisa. É importante também direcionar trabalhos futuros.

6.1 Considerações Finais

6.2 Trabalhos Futuros

Referências Bibliográficas

- Aguirre, L. A. (2007). *Introdução à Identificação de Sistemas - Técnicas Lineares e Não-Lineares Aplicadas a Sistemas Reais*. Editora da UFMG. 3ª edição.
- Martins, S. A. M. e Aguirre, L. A. (2016). Sufficient conditions for rate-independent hysteresis in autoregressive identified models. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 75:607 – 617.
- May, R. M. (1976). Simple mathematical models with very complicated dynamics. *The Journal Nature*, (261):459–467.
- Nepomuceno, E. G. (2014). Convergence of recursive functions on computers. *The Journal of Engineering*, pp. 1–3.
- Nepomuceno, E. G. e Martins, S. A. M. (2016). A lower bound error for free-run simulation of the polynomial narmax. *Systems Science & Control Engineering*, 4(1):50–58.
- Nepomuceno, E. G., Takahashi, R. H. C., e Aguirre, L. A. (2016). Individual based-model (ibm): An alternative framework for epidemiological compartment models. *Revista Brasileira de Biometria*, 34(1):133–162.
- Otoni, A. L. C., Nepomuceno, E. G., Cordeiro, L. T., Lamperti, R. D., e Oliveira, M. S. (2015). Análise do desempenho do aprendizado por reforço na solução do problema do caixeiro viajante. *XII SBAI - Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente*, pp. 43–48.
- Otoni, A. L. C., Nepomuceno, E. G., Oliveira, M. S., Cordeiro, L. T., e Lamperti, R. D. (2016). Análise da influência da taxa de aprendizado e do fator de desconto sobre o desempenho dos

algoritmos q-learning e sarsa: aplicação do aprendizado por reforço na navegação autônoma. *Revista Brasileira de Computação Aplicada*, 8(2):44–59.

Paiva, B. P. O., Nepomuceno, E. G., e Amaral, G. F. V. (2015). Considerações sobre a condição inicial na construção do diagrama de bifurcação para o mapa logístico. In *Anais do DINCON 2015 - Conferência Brasileira de Dinâmica, Controle e Aplicações*.

Rodrigues Júnior, H. M. e Nepomuceno, E. G. (2015). Uso da computação por intervalos para cálculo de ponto fixo de um mapa discreto. In *Anais do DINCON 2015 - Conferência Brasileira de Dinâmica, Controle e Aplicações*.

Rodrigues Jr, H. M. (2014). *Uso da Computação por Intervalos para Cálculo de Ponto Fixo de um Mapa Discreto*. Universidade Federal de São João del-Rei.

Rotinas Computacionais

A.1 Algoritmo de obtenção das condições iniciais

```
function gcomplot(x,y,graf,tipo)
% function gcomplot() simplifica a plotagem de graficos.
% Entradas
%   x - Funcao do eixo das abscissas
%   y - Funcao do eixo das ordenadas
%   graf - Tipos de graficos: 1- grafico de linhas
%                                   2- grafico de barras
%                                   3- grafico de erros
%                                   4- grafico de hastes
%   tipo - Tipo de documento: 1- artigo
%                                   2- apresentacao
% Saida
%   Figura e arquivo em pdf.
% EXEMPLO:
% x=1:100;
% y=x.^2-2.*x;
% gcomplot(x,y,1,1) retorna um grafico de linhas dimensionado para
% artigo com os dados representados em ingles (sem virgula)

titulo=input('Entre com o titulo do grafico entre aspas: ');
legx=input('Entre com a legenda do eixo x entre aspas: ');
legy=input('Entre com a legenda do eixo y entre aspas: ');
legenda=input('Entre com a legenda do grafico entre aspas: ');
switch graf
```

```
case 1
    if tipo==1
        plot(x,y,'LineWidth',2);
        title(titulo,'fontsize', 16)
        xlabel(legx,'fontsize', 16)
        ylabel(legy,'fontsize', 16)
        legend(legenda)
        set(gca,'FontSize',16)
    else
        plot(x,y,'LineWidth',2);
        title(titulo,'fontsize', 20)
        xlabel(legx,'fontsize', 20)
        ylabel(legy,'fontsize', 20)
        legend(legenda)
        set(gca,'FontSize',18)
    end
case 2
    if tipo==1
        bar(x,y,'LineWidth',2)
        title(titulo,'fontsize', 16)
        xlabel(legx,'fontsize', 16)
        ylabel(legy,'fontsize', 16)
        legend(legenda)
        set(gca,'FontSize',16)
    else
        bar(x,y,'LineWidth',2)
        title(titulo,'fontsize', 20)
        xlabel(legx,'fontsize', 20)
        ylabel(legy,'fontsize', 20)
        legend(legenda)
        set(gca,'FontSize',18)
    end
case 3
    if tipo==1
        errorbar(x,y,'LineWidth',2)
        title(titulo,'fontsize', 16)
        xlabel(legx,'fontsize', 16)
        ylabel(legy,'fontsize', 16)
        legend(legenda)
```

```
        set(gca,'FontSize',16)
    else
        errorbar(x,y,'LineWidth',2)
        title(titulo,'fontsize', 20)
        xlabel(legx,'fontsize', 20)
        ylabel(legy,'fontsize', 20)
        legend(legenda)
        set(gca,'FontSize',18)
    end
case 4
    if tipo==1
        stem(x,y,'LineWidth',2)
        title(titulo,'fontsize', 16)
        xlabel(legx,'fontsize', 16)
        ylabel(legy,'fontsize', 16)
        legend(legenda)
        set(gca,'FontSize',16)
    else
        stem(x,y,'LineWidth',2)
        title(titulo,'fontsize', 20)
        xlabel(legx,'fontsize', 20)
        ylabel(legy,'fontsize', 20)
        legend(legenda)
        set(gca,'FontSize',18)
    end
end
print('gcom','-dpdf','-r300'); %Salvar em PDF com 300 DPI
end
```