

PIBIFSP	PROJETO DE PESQUISA
---------	---------------------

TÍTULO DO PROJETO: PROJETO DE CONTROLADORES CHAVEADOS PARA SISTEMAS NÃO-LINEARES												
Área do Conhecimento:	3	.	0	4	.	0	5	.	0	2	-	3

1. RESUMO

Este trabalho de pesquisa visa projetar controladores chaveados aplicados a sistemas não-lineares descritos por meio de modelos fuzzy Takagi-Sugeno (TS). Os controladores chaveados apresentam desempenho superior quando comparados aos sistemas com apenas um controlador. Muitas vezes, as não-linearidades das modelagens matemáticas são aproximadas por meio de pontos de operação. Deste modo, o projeto de controladores baseia-se nos modelos linearizados. Desta maneira, surge a necessidade de projetar controladores que atuem para qualquer ponto de operação da planta não-linear. Sendo assim, neste trabalho são propostas condições para o desenvolvimento de controladores chaveados para sistemas não-lineares baseando-se em LMIs (do inglês, *Linear Matrices Inequalities*). As modelagens e resolução das LMIs será por meio de softwares numéricos. Exemplos de simulação, como, por exemplos, nos sistemas, pêndulo invertido, bola-viga, *ball-ballancer* e levitador magnético, mostram que as técnicas propostas são factíveis e válidas quando comparadas com outras estratégias de controle previamente publicadas na literatura.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Sistemas chaveados representam uma subclasse dos sistemas híbridos. Deste modo, pode-se dizer que sistemas chaveados são sistemas dinâmicos compostos por um número finito de subsistemas que comutam entre si, respeitando uma regra de chaveamento. Os subsistemas não precisam apresentar as mesmas características, ou seja, caso o sistema global seja estável, não necessariamente, cada subsistema será estável (LIBERZON, 2003).

Recentemente, tópicos de pesquisa relacionados aos sistemas chaveados apresentaram um crescimento considerável (YU; WU, 2015; ZHANG; ZHUANG; BRAATZ, 2016). Este fato associa-se à uma vasta possibilidade de descrever sistemas físicos. Pode-se citar algumas aplicações práticas, tais como: controle de tráfego urbano (PAPAGEORGIOU et al., 2003), controle de conversores CC-CC (CARDIM et al., 2009; CARDIM et al., 2011; DEAECTO et al., 2010; MAINARDI JÚNIOR et al., 2012), dentre outros.

Com relação à comutação, os sistemas chaveados podem ser classificados em: comutação controlada e comutação autônoma. O chaveamento autônomo é caracterizado pela inexistência de controle sobre o sinal de comutação. Já a comutação controlada é caracterizada pela imposição de um sinal de chaveamento visando atingir um desempenho esperado. Além disto, o chaveamento pode ser dependente do vetor de estado ($\sigma(x)$) ou dependente do tempo ($\sigma(t)$) (LIBERZON, 2003).

Os sistemas chaveados ainda podem ser classificados com relação ao comportamento de seus respectivos subsistemas, ou seja, quando todos os subsistemas são lineares, o sistema comutado é linear. Estes sistemas são bastante estudados pelo motivo de apresentarem menor complexidade de

análise. Por exemplo, existem os seguintes artigos sobre o assunto: (GEROMEL; COLANERI, 2006; DECARLO et al., 2000; HABIBI; MOSHIRI; SEDIGH, 2006; JI; WANG; XIE, 2003; ZHAI; LIN; ANTSAKLIS, 2003), dentre outros.

Para os casos, em que os subsistemas são não lineares, uma possibilidade é utilizar a abordagem da lógica fuzzy proposta por Zadeh (1965). Além disto, utiliza-se a técnica proposta em (TANAKA; IKEDA; WANG, 1998). Sendo assim, o procedimento em que os modelos fuzzy Takagi-Sugeno descrevem um sistema não linear de forma exata foi estabelecido em (TANIGUCHI et al., 2001). Assim, a então chamada forma generalizada, descreve de forma exata um sistema não linear, como combinação de um certo número de modelos locais lineares invariantes no tempo, sendo que a combinação é realizada por funções de pertinência fuzzy suaves.

Deste modo, neste projeto de pesquisa, propõe-se utilizar controladores chaveados obtidos por meio da realimentação de estados para os modelos fuzzy TS obtidos utilizando as técnicas supracitadas. Visando validar a metodologia de controle proposta, os controladores serão utilizados para controlar alguns sistemas não-lineares, como, por exemplo, bola-viga, *ball-ballancer* e pêndulo invertido.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo Geral

Projetar controladores chaveados para sistemas não-lineares representados por meio de modelos locais fuzzy TS.

3.2. Objetivos Específicos

- Desenvolver conhecimentos referentes ao controle de sistemas;
- Conceber teorias de controle para sistemas não lineares modelados via fuzzy TS;
- Aplicar conceitos de modelagem exata (TANIGUCHI et al., 2001);
- Simular exemplos numéricos em software matemático.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste projeto de iniciação científica utilizar-se-á softwares numéricos computacionais (Matlab ou Scilab) para a resolução das LMIs. Inicialmente, durante a revisão bibliográfica, o aluno estudará a modelagem e representação de sistemas em espaço de estado. Deste modo, considere o sistema não-linear apresentado em (1).

$$\dot{x}(t) = A(\alpha)x(t) + B(\alpha)u(t) \quad (1)$$

sendo $x(t)$ o vetor de estado do sistema, $u(t)$ entrada de controle e $A(\alpha)$, $B(\alpha)$ definidas em (2).

$$(A, B)(\alpha) = \sum_{i=1}^r \alpha_i (A_i, B_i), \quad \sum_{i=1}^r \alpha_i = 1, \quad \alpha_i \geq 0. \quad (2)$$

Admitindo-se que todas as variáveis de estado estejam disponíveis para realimentação:

$$u(t) = u_{\sigma(t)} = -K_{\sigma}x(t); \quad \sigma = \arg \min\{-x'(t)(PBK_i)x(t)\}. \quad (3)$$

Desta maneira, considerando (1-3), o sistema em malha fechada é dado por:

$$\dot{x}(t) = \sum_{i=1}^r \alpha_i (A_i - BK_{\sigma})x(t) \quad (4)$$

A partir das não-linearidades presentes na matriz $A(\alpha)$ serão descritas utilizando a modelagem exata proposta em (TANIGUCHI et al., 2001). Deste modo, obtém-se os modelos locais, sendo $N = 2^r$, sendo r o número de não linearidades e N o número de modelos locais.

Em seguida, projetam-se os ganhos dos controladores utilizando-se a LMI apresentada na expressão (5), considerando $X = X^T > 0$:

$$XA_i^T + A_iX - BM_i - M_i^T B^T < 0, \quad (5)$$

sendo que os ganhos são obtidos usando $K_i = M_i X^{-1}$. Note que, para cada modelo local (para sistemas não-lineares), ou vértice do politopo (para sistemas incertos), projeta-se um controlador. Deste modo, apesar da modelagem utilizar os conceitos de fuzzy TS, a escolha do controlador não depende das funções de pertinência e sim da regra de chaveamento (3).

Deste modo, a estratégia proposta apresenta flexibilidade, pois nos controladores convencionais fuzzy TS, é necessário conhecer de maneira exata a função de pertinência (mais especificamente, neste caso, as funções de pertinência são atualizadas constantemente pois estão relacionadas com os valores instantâneos das variáveis de estado).

Estão previstas viagens para testes em equipamentos didáticos na UNESP – ILHA SOLTEIRA, mais especificamente, no LPC (Laboratório de Pesquisa em Controle). Este laboratório conta com vários equipamentos didáticos, entre eles, o ball-balancer e o levitador magnético.

Além disto, pretende-se estender o conhecimento do discente e dos professores do câmpus por meio da participação em eventos técnicos-científicos regionais (congressos de iniciação científica do IFSP) e também nacionais (CBA

– Congresso Brasileiro de Automática e SBAI - Simpósio Brasileiro de Automação Industrial).

5. PLANO DE TRABALHO

Na tabela 5.1, apresenta-se uma prévia do cronograma para a execução das etapas deste projeto de pesquisa. Note que, grande parte do tempo será dedicado aos estudos do aluno. Justifica-se tal fato, haja vista a complexidade da teoria de sistemas lineares e não-lineares envolvida neste projeto de pesquisa.

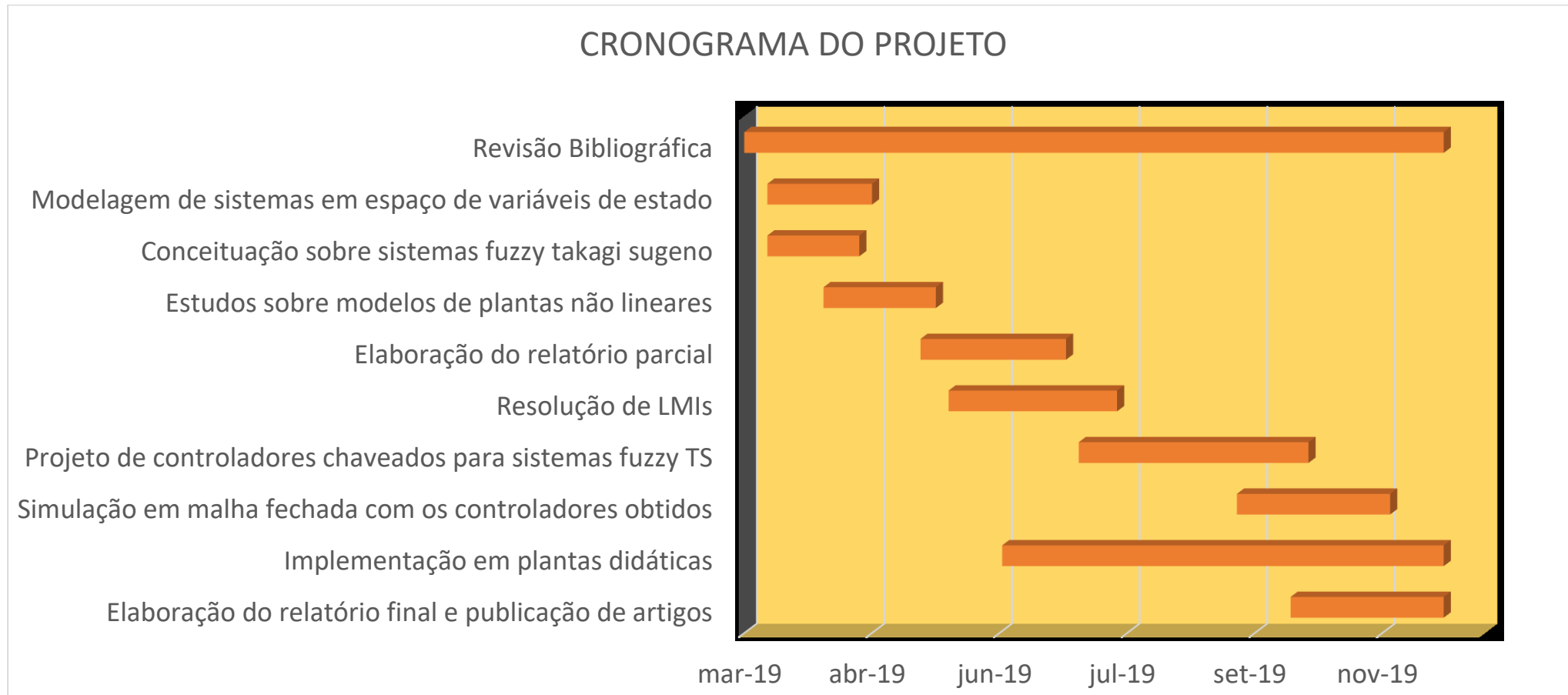
Em seguida, após a entrega do relatório parcial, as primeiras soluções das LMIs serão obtidas. Em outras palavras, é a partir deste momento que os controladores começarão a ser projetados. Depois da obtenção dos controladores, é necessário validar as técnicas de controle propostas. Deste modo, simulações em software e possibilidade de implementação em kits didáticos (pertencentes à UNESP – ILHA SOLTEIRA) estão previstas. Na Figura 5.1 apresenta-se o cronograma em forma de gráfico de barras com as etapas e suas respectivas durações.

Tabela 5.1 Metas estabelecidas para a pesquisa.

CRONOGRAMA DO PROJETO				
Etapas		Data Inicial	Tempo (Dias)	Data Final
1	Revisão Bibliográfica	01/03/2019	274	30/11/2019
2	Modelagem de sistemas em espaço de variáveis de estado	10/03/2019	41	20/04/2019
3	Conceituação sobre sistemas fuzzy takagi sugeno	10/03/2019	36	15/04/2019
4	Estudos sobre modelos de plantas não lineares	01/04/2019	44	15/05/2019
5	Elaboração do relatório parcial	09/05/2019	57	05/07/2019
6	Resolução de LMIs	20/05/2019	66	25/07/2019
7	Projeto de controladores chaveados para sistemas fuzzy TS	10/07/2019	90	08/10/2019
8	Simulação em malha fechada com os controladores obtidos	10/09/2019	60	09/11/2019
9	Implementação em plantas didáticas	10/06/2019	173	30/11/2019
10	Elaboração do relatório final e publicação de artigos	01/10/2019	60	30/11/2019

Fonte – Elaborado pelo próprio autor.

Figura 5.1 – Cronograma do projeto.



Fonte – Elaborado pelo próprio autor.

6. VIABILIDADE DE EXECUÇÃO

Tratando-se de uma pesquisa técnico-científica, os materiais a serem utilizados serão:

- Computador com acesso à internet para pesquisa nos principais periódicos da área;
- Software matemático (SciLab ou Matlab);
- Editor de textos para confecção de trabalhos para serem submetidos a eventos nacionais (LateX ou LibreOffice);

Além disto, destaca-se que o câmpus conta com um laboratório de Pesquisa equipado com cinco computadores e uma impressora para utilização exclusiva dos alunos de iniciação científica. Os laboratórios de eletrônica digital, industrial, eletricidade básica e microcontroladores estão equipados com os dispositivos que serão utilizados na execução deste projeto de iniciação científica. Deste modo, este projeto não causará ônus orçamentário ao câmpus e também não necessitará de aquisição de componentes e/ou dispositivos eletrônicos.

7. RESULTADOS ESPERADOS E DISSEMINAÇÃO

Espera-se que ao final deste projeto de pesquisa, o conhecimento envolvido na área de controle de sistemas não-lineares por meio de modelagem fuzzy takagi sugeno, tenha se disseminado entre os alunos do câmpus. Além disto, busca-se uma melhoria no desempenho do aluno participante no projeto de iniciação científica.

Os resultados da participação e envolvimento do discente neste projeto de pesquisa serão avaliados por meio de relatórios mensais enviados pelo aluno

bolsista. Cabe ressaltar que, os relatórios deverão seguir os passos e etapas previamente definidos na Tabela 5.1 e Figura 5.1.

Adicionalmente, pretende-se estender o conhecimento do discente e dos professores do câmpus por meio da participação e publicações de artigos em eventos técnicos-científicos regionais (congressos de iniciação científica do IFSP) e também nacionais (CBA – Congresso Brasileiro de Automática e SBAI - Simpósio Brasileiro de Automação Industrial).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIBERZON, D. *Switching in systems and control*. New York: Springer Science & Business Media, 2003.

CARDIM, R.; TEIXEIRA, M. C.; ASSUNÇÃO, E.; COVACIC, M. R. Variable-structure control design of switched systems with an application to a DC-DC power converter. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, New York, v. 56, n. 9, p. 3505-3513, 2009.

CARDIM, R.; TEIXEIRA, M. C. M.; ASSUNÇÃO, E.; COVACIC, M. R.; FARIA, F. A.; SEIXAS, F. J. M.; MAINARDI JÚNIOR, E. I. Design and implementation of a DC-DC converter based on variable structure control of switched systems. *IFAC, Kidlington*, v. 18, p. 11048-11054, 2011.

DEAECTO, G. S.; GEROMEL, J. C.; GARCIA, F.; POMILIO, J. Switched affine systems control design with application to DC-DC converters. *IET Control Theory and Applications*, IET, Stevenage, v. 4, n. 7, p. 1201–1210, 2010.

DECARLO, R. A.; BRANICKY, M. S.; PETTERSSON, S.; LENNARTSON, B. Perspectives and results on the stability and stabilizability of hybrid systems. *Proceedings of the IEEE*, Piscataway, v. 88, n. 7, p. 1069-1082, 2000.

GEROMEL, J. C.; COLANERI, P. Stability and stabilization of continuous-time switched linear systems. *SIAM Journal on Control and Optimization*, Philadelphia, v. 45, n. 5, p. 1915–1930, 2006.

HABIBI, J.; MOSHIRI, B.; SEDIGH, A. Performance benefits of hybrid control design for switched linear systems. In: *INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE - SICE-ICASE, 2006*, [S. I.]. *Proceedings...* [S. I.]: IEEE, 2006. p. 920-925.

JI, Z.; WANG, L.; XIE, G. New results on the quadratic stabilization of switched linear systems. In: *IEEE CONFERENCE ON DECISION AND CONTROL, 42., 2003. Proceedings...* [S.I.]: IEEE, 2003. v. 2, p. 1657-1662.

L.A. Zadeh, Fuzzy Sets. *Information and Control*, v. 8, n. 3, p. 338-353, 1965.

MAINARDI JÚNIOR, E. I.; ASSUNÇÃO, E.; TEIXEIRA, M.; MOREIRA, M.; CARDIM, R.; YOSHIMURA, V. L. *On Control Design of Switched Affine Systems with Application to DC-DC Converters*. [S.I.]: INTECH Open Access, 2012.

PAPAGEORGIU, M.; DIAKAKI, C.; DINOPOULOU, V.; KOTSIALOS, A.; WANG, Y. Review of road traffic control strategies. *Proceedings of the IEEE*, Piscataway, v. 91, n. 12, p. 2043-2067, 2003.

TANAKA, Kazuo; IKEDA, Takayuki; WANG, Hua O. Fuzzy regulators and fuzzy observers: relaxed stability conditions and LMI-based designs. *IEEE Transactions on fuzzy systems*, v. 6, n. 2, p. 250-265, 1998.

TANIGUCHI, Tadanari et al. Model construction, rule reduction, and robust compensation for generalized form of Takagi-Sugeno fuzzy systems. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, v. 9, n. 4, p. 525-538, 2001.

YU, Q.; WU, B. Robust stability analysis of uncertain switched linear systems with unstable subsystems. *International Journal of Systems Science*, Abingdon, v. 46, n. 7, p. 1278–1287, 2015.

ZHAI, G.; LIN, H.; ANTSAKLIS, P. J. Quadratic stabilizability of switched linear systems with polytopic uncertainties. *International Journal of Control*, Abingdon, v. 76, n. 7, p. 747-753, 2003.

ZHANG, L.; ZHUANG, S.; BRAATZ, R. D. Switched model predictive control of switched linear systems: Feasibility, stability and robustness. *Automatica*, Elmsford, v. 67, p. 8- 21, 2011