UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Física

PROJETO DE PESQUISA

Dinâmica e controle de sistemas não lineares: fundamentos e aplicações

COORDENADOR:

Weliton Soares Martins

Fevereiro de 2022

Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho - UACSA
Rua Cento e Sessenta e Três, 300 – Garapu
54518-430 Cabo de Santo Agostinho/PE
www.ppengfis.ufrpe.br

I- IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO

1- Título	
Dinâmica e controle de sistemas não lineares: fundamentos e aplicações	
2- Vigência	
Início previsto (mês/ano):	03/2022
Término previsto (mês/ano):	03/2026
3- Classificação da área do projeto (classificação definida pelo CNPq)	
Nome da área :	Ciências Exatas e da Terra
Número do código:	1.00.00.00-3
Nome da sub-área :	Física
Número do código:	1.05.00.00-6
Nome da especialidade:	Áreas clássicas de fenomenologia e suas aplicações
Número do código:	1.05.02.00-9
4- Linhas de pesquisa do PPENGFIS contempladas no projeto	
☐	Materiais Nanoestruturados
☐	Materiais para aplicações ambientais, energéticas e industriais
☐	Metrologia e Instrumentação
☐	Espectroscopia coerente e óptica não linear
☒	Controle e dinâmica não linear
5- Palavras-chaves (máximo 5 palavras)	
• Dinâmica de sistemas não lineares	• Controle por modos deslizantes
• Sistemas caóticos	• Lógica Fuzzy
• Controladores não lineares e inteligentes	

Cabo de Santo Agostinho, 14 de fevereiro de 2022

Weliton Soares Martins

Coordenador: Weliton Soares Martins
(SIAPE: [2244892])

6- Participantes docentes:

Nome:	Weliton Soares Martins
CPF:	055580144-66
E-mail:	Weliton.martins@ufrpe.br
Bolsista do CNPq:	◉ NÃO ○ SIM Se sim, qual nível?:
Função:	Coordenador ☒ Colaborador ☐

Nome:	Philippe Eduardo de Medeiros
CPF:	013.932.984-60
E-mail:	philippe.medeiros@ufrpe.br
Bolsista do CNPq:	◉ NÃO ○ SIM Se sim, qual nível?:
Função:	Coordenador ☐ Colaborador ☒

Nome:	Rafael Alves de Oliveira
CPF:	060534824-39
E-mail:	rafael@ufrpe.br
Bolsista do CNPq:	◉ NÃO ○ SIM Se sim, qual nível?:
Função:	Coordenador ☐ Colaborador ☒

Nome:	Sergio Vladimir Barreiro Degiorgi
CPF:	01338261479
E-mail:	sergio.barreiro@ufrpe.br
Bolsista do CNPq:	○ NÃO ○ SIM Se sim, qual nível?:
Função:	Coordenador ☐ Colaborador ☒

Nome:	Marcos Cesar Santos Oriá
CPF:	16605977491
E-mail:	marcos.oria@ufrpe.br

Bolsista do CNPq:	○ NÃO ● SIM Se sim, qual nível?: 2
Função:	Coordenador ☐ Colaborador ☒

Nome:	Martine Chevrollier
CPF:	201487058-63
E-mail:	martine.chevrollier@ufrpe.br
Bolsista do CNPq:	○ NÃO ○ SIM Se sim, qual nível?:
Função:	Coordenador ☐ Colaborador ☒

II- DETALHAMENTO DO PROJETO

1. Resumo

Nesse projeto temos como objetivo desenvolver estudos teóricos e experimentais sobre estratégias de controle inteligente na sincronização e controle de circuitos caóticos, bem como aplicar tais técnicas no controle de sistemas dinâmicos não lineares de forma geral, sujeito a diferentes tipos de não linearidades. Dentre os principais sistemas de controladores não lineares podemos destacar o controle por modos deslizantes (sliding mode control - SMC) que fornece uma abordagem sistemática para problemas nos quais é necessário manter estabilidade e performance na presença de incertezas. Indicada para problemas nos quais incertezas paramétricas, dinâmicas não modeladas e perturbações externas estão presentes no sistema. No intuito de analisar as abordagens propostas, as técnicas de controle inteligente serão aplicadas em circuitos eletrônicos, usados como uma plataforma experimental para "simular" o comportamento de diversos sistemas complexos. O uso de circuitos eletrônicos permite estudar experimentalmente sistemas não lineares de diferentes naturezas (plantas industriais, sistemas biológicos etc.), através da implementação de circuitos com comportamento equivalente a esses sistemas, permitindo alterar parâmetros de forma simples, reduzindo a complexidade da implementação real de tais sistemas.

2. Introdução

Sistemas não lineares estão presentes nas diversas áreas do conhecimento, sendo importante sua análise e entendimento para descrever uma grande variedade de fenômenos nas ciências sociais, da saúde, na física e engenharia [1, 2]. O estudo de sistemas não lineares tem ampliado a compreensão dos fenômenos que regem seu comportamento e, como consequência, vem permitindo avanços científicos e tecnológicos significativos em óptica, circuitos eletrônicos, criptografia, comunicações ópticas e muitos outros [3].

Além disso, os diversos setores da indústria, que envolvem uma gama de processos que são intrinsicamente não lineares, necessitam cada vez mais de sistemas inteligentes capazes de controlar esses diversos processos envolvidos na produção, que são cada vez mais complexos envolvendo um grande número de variáveis e parâmetros. Muitos desses processos envolvem sistemas que apresentam um comportamento não linear, sendo sujeitos a perturbações aleatórios que necessitam ser corrigidas. Portanto, o projeto de controladores capazes de lidar com tais sistemas, vem atraindo a atenção do ponto de vista científico (no estudo e

desenvolvimento de novas técnicas de controle inteligente) como do ponto de vista prático, aplicando essas novas técnicas nos diversos setores da indústria.

Porém, o estudo desses processos não lineares, em geral, não pode ser realizado diretamente na planta devido a fatores principalmente relacionados a demanda de produção, como também são sistemas que requerem um alto custo e complexidade para sua implementação em laboratórios. Uma alternativa a esse problema é o uso de circuitos eletrônicos que podem ser utilizados como uma plataforma experimental para "simular" o comportamento desses diversos processos, permitindo estudar experimentalmente sistemas não lineares, através da implementação de circuitos com comportamento equivalente, permitindo alterar parâmetros de forma simples, como reduzindo a complexidade da implementação real desses sistemas. Dessa forma, podemos estudar e aplicar estratégias de controle não linear em um sistema real de difícil implementação experimental, através de circuitos eletrônicos governados pelo mesmo conjunto de equações diferenciais.

Nesse projeto, será proposta uma estrutura para o controle inteligente de sistemas não lineares e incertos. Dentre os principais sistemas de controladores não lineares abordaremos o controle por modos deslizantes que vêm se mostrando como uma das técnicas de controle não linear mais populares [4 - 6].

A técnica de controle por modos deslizantes fornece uma abordagem sistemática para problemas nos quais é necessário manter estabilidade na presença de incertezas. Ela é indicada para problemas nos quais incertezas paramétricas, dinâmicas não modeladas e perturbações externas estão presentes no sistema [7]. Junto às estratégias de controle não linear, técnicas de inteligência artificial são muitas vezes utilizadas para aumentar a robustez dos sistemas. A combinação de controladores por modos deslizantes com técnicas de computação flexível (ou soft computing (SC)) que representa uma das principais tecnologias dos sistemas inteligentes do futuro, a qual tem sido pesquisada e aplicada na solução de vários problemas práticos, sendo uma poderosa ferramenta para lidar com sistemas não lineares altamente incertos.

A abordagem proposta será aplicada no controle inteligente de circuitos eletrônicos que simulem diversos tipos de sistemas complexos com diferentes tipos de não lineares. Além disso, as estratégias de controles não lineares inteligentes serão aplicadas na sincronização e controle de circuitos caóticos, como também, será realizado estudo da estatística do acoplamento desses circuitos caóticos, com intuito de desenvolver ferramentas que permitam analisar a dinâmica

desses sistemas, preocupando-se principalmente na previsão e controle de eventos que extremos que apresentam uma estatística não normal. Resultados numéricos e experimentais serão realizados para demonstrar a eficiência da abordagem proposta. Dessa forma, a técnica de controle proposta no presente projeto será de fundamental importância, pois permitirá que mesmo que os sistemas apresentem modelos de abordagem analítica complexa, será possível controlá-los, até mesmo com modelos mais simplificados, dada a robustez dos controladores propostos com sistemas de inferência adaptativos para compensação de incertezas, não linearidades e perturbações externas.

3. Objetivos

Geral:

Desenvolver estudos sobre sistemas de controladores não linear inteligentes aplicados em circuitos eletrônicos como uma ferramenta para simular experimentalmente o comportamento de sistemas não lineares reais.

Específicos:

1. Modelar matematicamente sistemas dinâmicos não lineares com importantes aplicações na engenharia, como por exemplo, sistemas de perfuração de poços de petróleo.

2. Utilizar circuitos eletrônicos como uma plataforma para simular a resposta desses sistemas não lineares;

3. Realizar simulações numéricas dos sistemas não lineares modelados e relacionar as suas respostas em malha aberta com suas respectivas não linearidades.

4. Implementar e caracterizar circuitos caóticos;

5. Aplicar as leis de controle propostas na sincronização de circuitos caóticos;

6. Avaliar a estabilidade dos sistemas de controle apresentados através de análises matemáticas, simulações numéricas e experimentos.

7. Estudar o comportamento de sistemas caótico, utilizando as diferentes estratégias de controle não linear aplicado a esses sistemas.

4. Metodologia

Este projeto de pesquisa será desenvolvido seguindo os seguintes procedimentos: pesquisa e análise dos trabalhos bibliográficos da área, simulação de sistemas não lineares utilizando circuitos eletrônicos; análise dos problemas e propostas de solução utilizando técnicas de

controle capaz de lidar com as particularidades encontradas em cada um deles; análise matemática da estabilidade dos sistemas de controle propostos; realização de simulações numéricas para avaliar as performances dos controladores utilizados; implementação da planta de perfuração de poços de petróleo; desenvolvimento de sistema de aquisição dados e controle utilizando placas na National Instruments, bem como sistemas mais baratos como Arduino; realização de testes experimentais; documentação, elaboração de códigos de simulação, relatórios e publicação de artigos.

Desta forma, ao longo de todo o projeto, serão realizadas as seguintes etapas:

1. Revisão bibliográfica: visa realizar uma avaliação do estado da arte que venha permitir a definição dos sistemas de perfuração de poços de petróleo e estudo da modelagem de sistemas utilizando circuitos eletrônicos que apresentam comportamento caótico, bem como a revisão das principais técnicas de controle já utilizados para controlar esses sistemas.

2. Simulações: visa avaliar quantitativa e qualitativamente os trabalhos da revisão bibliográfica, além de fazer um levantamento das principais peculiaridades apresentadas pelos sistemas avaliados. As simulações serão conduzidas a partir dos modelos dinâmicos definidos na revisão bibliográfica.

3. Implementação de circuitos que apresentam comportamento caótico e aplicação das técnicas de controle inteligente na sincronização desses circuitos.

4. Serão desenvolvidos estudos experimentais para a validação das técnicas de controle apresentadas para sistemas não lineares de diferentes naturezas, por exemplo, sistemas biológicos, plantas de refrigeração etc., usando circuitos eletrônicos que simulam o comportamento de sistemas.

Inicialmente será realizada a montagem de circuitos eletrônico semelhante ao circuito de Chua [8] (um dos circuitos eletrônicos mais simples que exibe comportamento caótico) usado para estudar e compreender o comportamento de sistemas caóticos. Esses circuitos são basicamente compostos por: dois capacitores, um indutor, um resistor negativo (todos elementos conectados em paralelo), um elemento dissipativo (resistor) e um elemento não linear formado por um par de diodos invertido, essencial para obter um comportamento caótico, como também alterando a essa não linearidade podemos variar a dinâmica do sistema passando de um comportamento caótico para uma dinâmica periódica. Realizaremos a caracterização do circuito, sendo então desenvolvido sistemas de aquisição e tratamento de dados. Para desenvolvimento do sistema de aquisição será usada placas da National instruments programada usando o LabVIEW. Os códigos desenvolvidos permitirão analisar a estatística do sistema, obtendo o histograma das

tensões em vários elementos do circuito, como também calcular a função de auto-correlação e correção das tensões em vários elementos do circuito, podendo assim quantificar a sincronização entre circuitos. Também deverá permitir salvar os dados, controlando a taxa de aquisição e ser capaz de realizar o longo tempo de aquisição dos sinais. Os resultados obtidos através da implementação do circuito eletrônico serão então comparados com a solução numérica das equações que governam o sistema. Após o estudo e caracterização desse primeiro circuito serão montados um conjunto de circuitos com as mesmas características. Nessa etapa do projeto estudaremos o acoplamento desses circuitos caóticos, formando-se redes com diferentes topologias, aplicando-se também a esses sistemas técnicas de controle não linear inteligentes, com o objetivo de analisar a sincronização desses sistemas, como também controlar a dinâmica desses sistemas. Serão exploradas diferentes formas de acoplamento (bi-direcional, unidirecional, etc) usados para estudar o sincronismo, como também estudar como o acoplamento de vários circuitos afeta o comportamento não linear do sistema.

5. Resultados esperados

O desenvolvimento deste projeto contribuirá tanto do ponto de vista científico e tecnológico, como em aspectos de formação de capital humano através do envolvimento de estudante de pós-graduação e iniciação científica. Do ponto de vista científico, nos propomos a estudar e implementar diversas estratégias de controle não lineares, aplicado a circuitos eletrônicos utilizados para simular experimentalmente sistemas não lineares reais que apresentam diferentes tipos de não linearidades. Dentro dessas linhas as principais contribuições esperadas no desenvolvimento desse projeto são:

1. Desenvolvimento de modelos matemáticos de sistemas dinâmicos não lineares com comportamentos semelhantes aos seus respectivos sistemas reais;

2. Divulgação de novas leis de controle inteligentes com termos de compensação difusa, que podem ser utilizadas no controle de sistemas não lineares comumente encontrados na engenharia;

3. Validação das propostas de controle através de análises numéricas e experimentais, utilizando circuitos e uma planta de perfuração de poço de petróleo;

4. Relatórios de pesquisa e publicações científicas.

6. Cronograma de atividades

Semestre / Atividade	1	2	3	4	5	6	7	8
I	X	X						
II	X	X						
III		X	X	X				
IV	X	X	X					
V		X	X	X				
VI			X	X	X			
VII				X	X	X		
VIII			X	X				
IX				X	X	X	X	X
X		X		X		X		X

Atividade I	Revisão bibliográfica;
Atividade II	Modelagem matematicamente sistemas dinâmicos não lineares com importantes aplicações na engenharia;
Atividade III	Simulação de sistemas não lineares de diversas naturezas e análise numérica da sincronização de circuitos caóticos;
Atividade IV	Montagem de circuitos caóticos e implementação de sistema de aquisição de dados;
Atividade V	Implementação de técnicas de controle não linear na sincronização de circuitos caóticos;
Atividade VI	Validação das propostas de controle através de análises numéricas e experimentais;
Atividade VII	Estude experimental e teórico de redes formadas por circuitos eletrônicos;
Atividade VIII	Aplicações de circuitos caóticos em sistemas de criptografia e geração de números aleatórios;
Atividade IX	Simulação de sistemas caóticos usando FPGA (Field-programmable Gate Array);
Atividade X	Relatórios de pesquisa e publicações científicas.

7. Apoio financeiro e/ou institucional

Atualmente contamos com uma infraestrutura do Laboratório de Óptica equipado com osciloscópios, fontes de tensão, geradores de sinais e diferentes placas de aquisição. Além de uma variedade de componentes eletrônicos essenciais para o desenvolvimento dos circuitos eletrônicos e implementação das técnicas de controle. Também contamos com o laboratório de

prototipagem equipado com uma prototipadora PCB e uma impressora 3D. O coordenador pretende submeter novas propostas para financiamento de projetos nas agências de fomento Federal (CNPq, FINEP, etc), Estadual (editais da FACEPE) e outras oportunidades que surgirem através de projetos de P&D com o setor privado.

8. Referências

[1] Strogatz, Steven H. Nonlinear dynamics and chaos: with applications to physics, biology, chemistry, and engineering. CRC press, 2018.

[2] Bolotin, Yurii, Anatoli Tur, and Vladimir Yanovsky. Chaos: Concepts, control and constructive use. Berlin, Germany: Springer, 2009.

[3] Cattani, Mauro, et al. "Deterministic chaos theory: basic concepts." Revista Brasileira de Ensino de Física 39 (2016).

[4] Slotine, J.J.E. and Li, W., 1991. Applied nonlinear control. Englewood Cliffs, NJ: prentice-Hall. Vol. 199, No. 1.

[5] Lee, D., Jin Kim, H. and Sastry, S., 2009. Feedback linearization vs. adaptive sliding mode control for a quadrotor helicopter. International Journal of control, Automation and systems, 7(3), pp.419-428.

[6] Rahmani, B., 2017. Robust output feedback sliding mode control for uncertain discrete time systems. Nonlinear Analysis: Hybrid Systems, 24, pp.83-99.

[7] Lu, X. Y., & Spurgeon, S. K. (1997). Robust sliding mode control of uncertain nonlinear systems. Systems & control letters, 32(2), 75-90.

[8] Cavalcante, Hugo LD de S., et al. "Predictability and suppression of extreme events in a chaotic system." Physical Review Letters 111.19 (2013): 198701.