



# As **engenharias** agregando conhecimento em setores emergentes de **pesquisa e desenvolvimento 2**

Henrique Ajuz Holzmann  
(Organizador)

**Atena**  
Editora  
Ano 2022



# As engenharias agregando conhecimento em setores emergentes de pesquisa e desenvolvimento 2

Henrique Ajuz Holzmann  
(Organizador)

**Atena**  
Editora  
Ano 2022

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial****Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



# As engenharias agregando conhecimento em setores emergentes de pesquisa e desenvolvimento 2

**Diagramação:** Daphynny Pamplona  
**Correção:** Mariane Aparecida Freitas  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Henrique Ajuz Holzmann

## Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 As engenharias agregando conhecimento em setores emergentes de pesquisa e desenvolvimento 2 / Organizador Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0141-4

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.414222104>

1. Engenharia. I. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. Título.

CDD 620

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

contato@atenaeditora.com.br



**Atena**  
Editora  
Ano 2022

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



## APRESENTAÇÃO

Na sociedade atual, onde cada vez mais se necessita de informações rápidas e eficientes, o repasse de tecnologias é uma das formas mais eficazes de se obter novas tendências mundiais. Neste cenário destaca-se as engenharias, as quais são um dos principais pilares para o setor empresarial. Analisar os campos de atuação, bem como pontos de inserção e melhoria dessa área é de grande importância, buscando desenvolver novos métodos e ferramentas para melhoria contínua de processos.

Estudar temas relacionados a engenharia é de grande importância, pois desta maneira pode-se aprimorar os conceitos e aplicar os mesmos de maneira mais eficaz. O aumento no interesse se dá principalmente pela escassez de matérias primas, a necessidade de novos materiais que possuam melhores características físicas e químicas e a necessidade de reaproveitamento dos resíduos em geral. Além disso a busca pela otimização no desenvolvimento de projetos, leva cada vez mais a simulação de processos, buscando uma redução de custos e de tempo.

Neste livro são apresentados trabalho teóricos e práticos, relacionados a área de engenharia, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente. De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais. Sendo hoje que utilizar dos conhecimentos científicos de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

MINIATURIZAÇÃO DE UM ARRANJO LOG-PERÍODICO QUASE-FRACTAL DE ANTENAS DE MICROFITA PARA APLICAÇÕES EM REDES DE COMUNICAÇÃO SEM FIO NA FAIXA DE 2,44 GHZ

Elder Eldervitch Carneiro de Oliveira

Pedro Carlos de Assis Júnior

Vinícius Nunes de Queiroz

Marcos Lucena Rodrigues

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4142221041>

### **CAPÍTULO 2..... 14**

A NORMATIZAÇÃO COMO MEIO DE INCENTIVO A DISSEMINAÇÃO DAS MICRORREDES ATRAVÉS DE POLÍTICA DE IMPOSTO E TARIFAÇÃO

Kelda Aparecida Godói dos Santos

Pedro André Zago Nunes de Souza

André Nunes de Souza

Haroldo Luiz Moretti do Amaral

Fábio de Oliveira Carvalho

Pedro da Costa Junior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4142221042>

### **CAPÍTULO 3..... 27**

ESTUDO DO CONSUMO RESIDENCIAL DE ÁGUA VIA IOT EM RESERVATÓRIO COM CONTROLE DE NÍVEL AUTOMATIZADO

Eduardo Manprin Silva

Luís Miguel Amâncio Ribeiro

Selton de Jesus Silva da Hora

Rogério Luis Spagnolo da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4142221043>

### **CAPÍTULO 4..... 34**

SISTEMA SUPERVISÓRIO E CONTROLE MIMO ATRAVÉS DE LÓGICA

Márcio Mendonça

Gilberto Mitsuo Suzuki Trancolin

Marta Rúbia Pereira dos Santos

Carlos Alberto Paschoalino

Marco Antônio Ferreira Finocchio

Francisco de Assis Scannavino Junior

José Augusto Fabri

Edson Hideki Koroishi

André Luís Shiguemoto

Celso Alves Corrêa

Kazuyochi Ota Junior

Odair Aquino Campos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4142221044>

**CAPÍTULO 5..... 50**

**EMPILHADEIRA AUTOMÁTICA**

Camila Baleiro Okado Tamashiro

Edison Hernandez Belon

Gabriel Pucharelli Molina

Filipe Cortez

Joao Victor de Elmos da Silva

Joao Vitor da Silva Santana

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4142221045>

**CAPÍTULO 6..... 53**

**INTENSIVE RAINFALLS AND IONIZING RADIATION MEASUREMENTS IN FEBRUARY 2020 IN SÃO JOSÉ DOS CAMPOS BRAZIL REGION**

Inacio Malmonge Martin

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4142221046>

**CAPÍTULO 7..... 62**

**ANÁLISE DE FALHA DE QUEBRA DE MANCAL SNH517 EM FERRO FUNDIDO CINZENTO EN GJL-200 (EN 1561) EM REGIME DE TRABALHO**

Cristofer Vila Nova Fontes

Marcelo Bergamini de Carvalho

João Mauricio Godoy

Sérgio Roberto Montoro

Amir Rivaroli Junior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4142221047>

**CAPÍTULO 8..... 71**

**PULSE TRANSIT TIME DETECTS CHANGES IN BLOOD PRESSURE IN RESPONSE TO GALVANIC VESTIBULAR STIMULATION AND POSTURE**

Adriana Pliego Carrillo

Rosario Vega

Daniel Enrique Fernández García

Claudia Ivette Ledesma Ramírez

Enrique Soto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4142221048>

**CAPÍTULO 9..... 78**

**EVIDENCIA INICIAL DE LAS ACCIONES DE ADAPTACIÓN DE EMPRESAS COLOMBIANAS A LA PANDEMIA CAUSADA POR EL SARS-COV2**

Lucas Adolfo Giraldo-Ríos

Jenny Marcela Sanchez-Torres

Diana Marcela Cardona Román

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4142221049>

**CAPÍTULO 10..... 85**

**AVALIAÇÃO DO CONFORTO HUMANO DE PISOS MISTOS (AÇO-CONCRETO)**

## SUBMETIDOS A CARGAS DINÂMICAS RÍTMICAS

Elisângela Arêas Richter dos Santos

Karina Macedo Carvalho

Miguel Henrique de Oliveira Costa

José Guilherme Santos da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210410>

## **CAPÍTULO 11..... 100**

### PANORAMA DAS POLÍTICAS DE PARCERIAS PÚBLICO-PRIVADAS (PPP'S) EM AEROPORTOS BRASILEIROS

Débora Comin Dal Pozzo

Caroline Miola

Humberto Anselmo da Silva Fayal

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210411>

## **CAPÍTULO 12..... 112**

### ENCERRAMENTO DE ATIVIDADE INDUSTRIAL: DIRETRIZES PARA DESENVOLVIMENTO DE PLANOS DE DESATIVAÇÃO

Loiva Zukovski

Marlene Guevara dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210412>

## **CAPÍTULO 13..... 125**

### USO DE INDICADORES SOCIOAMBIENTAIS PARA ANÁLISE DOS IMPACTOS DO USO PÚBLICO NO PARQUE NACIONAL DO PAU BRASIL, PORTO SEGURO - BA

Bianca Rocha Martins

Michele Barros de Deus Chuquel da Silva

Gabriela Narezi

Valter Antonio Becegato

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210413>

## **CAPÍTULO 14..... 138**

### AVALIAÇÃO DE NÍVEL DE MATURIDADE DE CULTURA DE SEGURANÇA EM ORGANIZAÇÃO DO TERCEIRO SETOR

Rodrigo Ferreira de Azevedo

Gilson Brito Alves de Lima

Licínio Esmeraldo da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210414>

## **CAPÍTULO 15..... 152**

### THE EVOLUTION OF REGULATION OF THE AIR NAVIGATION ACTIVITY IN BRAZIL

Marcus Vinicius do Amaral Gurgel

Jefferson Luis Ferreira Martins

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210415>

**CAPÍTULO 16..... 169**

**ESTUDO DE *BACKGROUND* GEOQUÍMICO ambiental em ÁREA DE INFLUÊNCIA DIRETA (aid) DA MINERAÇÃO**

Flávio de Moraes Vasconcelos  
Gabriel Melzer Aquino  
Nathália Augusta Ferreira Sales Coutinho  
João Santiago Reis

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210416>

**CAPÍTULO 17..... 183**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE DRENAGEM ÁCIDA E LIXIVIAÇÃO DE METAIS EM PILHAS DE ESTÉRIL E BARRAGEM DE REJEITOS DE MINERAÇÃO**

Nathália Augusta Ferreira Sales Coutinho  
Flávio de Moraes Vasconcelos  
Hairton Costa Ferreira  
Marcos Rogério Palma  
Denner Dias Ribeiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210417>

**CAPÍTULO 18..... 197**

**ESTUDO DE TRATABILIDADE DA ÁGUA DA CAVA DA MINERAÇÃO RIACHO DOS MACHADOS PARA DESCARTE DO EFLUENTE**

Flávio de Moraes Vasconcelos  
Nathália Augusta Ferreira Sales Coutinho  
Igo de Souza Tavares  
Ernesto Machado Coelho Filho  
Luiz Lourenço Fregadolli

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210418>

**CAPÍTULO 19..... 204**

**MEDIÇÃO DE DESCARGA LÍQUIDA: MÉTODO DO MOLINETE NA BACIA DO RIO JI-PARANÁ (RONDÔNIA)**

Renato Billia de Miranda  
Frederico Fábio Mauad  
Denise Parizotto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210419>

**CAPÍTULO 20..... 218**

**APLICAÇÃO DE MATRIZ FILTRANTE DESFLUORETADORA, COMPOSTA POR SISTEMA CÉRIA/CARVÃO ATIVADO DE COCO (*Coccus nucifera* L.), EM ÁGUAS COMPLEXAS DO SEMIÁRIDO PARAIBANO**

Carlos Christiano Lima dos Santos  
Poliana Sousa Epaminondas Lima  
João Jarllys Nóbrega de Souza  
Tainá Souza Silva  
Rodrigo Lira de Oliveira  
Carlo Reillen Lima Martins

Ilauro de Souza Lima  
Ana Sabrina Barbosa Machado  
Maria Soraya Pereira Franco Adriano  
Alexandre Almeida Júnior  
Isabela Albuquerque Passos Farias  
Fabio Correia Sampaio

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210420>

**CAPÍTULO 21.....233**

**RESPONSIBLE MANAGEMENT OF XANTHATES TO ENSURE THE SUSTAINABILITY OF MINING INDUSTRIES IN LATIN AMERICA**

Maria Andrea Atusparia Cierro  
Fredy Castillejo  
Gloria Valdivia  
María Atusparia

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210421>

**CAPÍTULO 22.....251**

**COBERTURA DE PILHA DE ESTÉRIL EM CLIMAS SEMI-ÁRIDOS**

Flávio de Moraes Vasconcelos  
Nathália Augusta Ferreira Sales Coutinho  
Michael Milczarek  
Rodrigo Dhryell Santos  
Luiz Lourenço Fregadolli

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210422>

**CAPÍTULO 23.....258**

**SÍNTESE E QUEBRA DE EMULSÃO ÓLEO EM ÁGUA (O/A) VIA AQUECIMENTO E ADITIVAÇÃO COM NONILFENOL POLIETOXILADO**

Heithor Syro Anacleto de Almeida  
Geraldine Angélica Silva da Nóbrega  
Diego Ângelo de Araújo Gomes  
Rafael Stefano Costa Mallak,  
Francisco Klebson Gomes dos Santos  
Alyane Nataska Fontes Viana

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210423>

**CAPÍTULO 24.....268**

**DESESTABILIZAÇÃO DE EMULSÃO (O/A) DO PETRÓLEO BRUTO UTILIZANDO ÁLCOOL LAURÍLICO ETOXILADO ALIADO A VARIAÇÃO DA TEMPERATURA**

Rafael Stefano Costa Mallak  
Heithor Syro Anacleto de Almeida,  
Geraldine Angélica Silva da Nóbrega  
Francisco Klebson Gomes dos Santos  
Alyane Nataska Fontes Viana  
Diego Angelo de Araujo Gomes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210424>

<b>CAPÍTULO 25.....</b>	<b>280</b>
ESTUDIO PARA EVITAR LA CONTAMINACIÓN POR MEDIO DELA COMBUSTIÓN DEL GAS METANOS IN REALIZAR UNA RECUPERACIÓN ENERGÉTICA Vilma Del Mar Amaya Gutiérrez  <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210425">https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210425</a>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR.....</b>	<b>285</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>286</b>

# CAPÍTULO 4

## SISTEMA SUPERVISÓRIO E CONTROLE MIMO ATRAVÉS DE LÓGICA

Data de aceite: 01/02/2022

### **Márcio Mendonça**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Mecânica (PPGEM)  
Cornélio Procópio – PR  
<http://lattes.cnpq.br/5415046018018708>

### **Gilberto Mitsuo Suzuki Trancolin**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Mestrando Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Mecânica (PPGEM)  
Cornélio Procópio – PR  
<http://lattes.cnpq.br/3352701154826935>

### **Marta Rúbia Pereira dos Santos**

ETEC - Jacinto Ferreira de Sá, Centro Paula  
Souza  
Departamento de Matemática  
Ourinhos – SP  
<http://lattes.cnpq.br/3003910168580444>

### **Carlos Alberto Paschoalino**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Departamento Acadêmico de Engenharia  
Elétrica  
Cornélio Procópio – PR  
<http://lattes.cnpq.br/0419549172660666>

### **Marco Antônio Ferreira Finocchio**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Departamento Acadêmico de Engenharia  
Elétrica  
Cornélio Procópio – PR  
<http://lattes.cnpq.br/8619727190271505>

### **Francisco de Assis Scannavino Junior**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Departamento Acadêmico de Engenharia  
Elétrica  
Cornélio Procópio – PR  
<http://lattes.cnpq.br/4513330681918118>

### **Jose Augusto Fabri**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Departamento Acadêmico de Informática  
Cornélio Procópio – PR  
<http://lattes.cnpq.br/4513330681918118>

### **Edson Hideki Koroishi**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Departamento Acadêmico de Engenharia  
Mecânica  
Cornélio Procópio – PR  
<http://lattes.cnpq.br/9465293262026260>

### **André Luís Shiguemoto**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Departamento Acadêmico de Engenharia  
Elétrica  
Cornélio Procópio – PR  
<http://lattes.cnpq.br/9243656534211182>

### **Celso Alves Corrêa**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Departamento Acadêmico de Engenharia  
Mecânica  
Cornélio Procópio – PR  
<http://lattes.cnpq.br/8547137298279961>

### **Kazuyochi Ota Junior**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Mestrando Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Mecânica (PPGEM)  
Cornélio Procópio – PR  
<http://lattes.cnpq.br/3845751794448092>

**RESUMO:** Neste trabalho, é analisado, o controle de um sistema multivariável, um processo MIMO (*Multiple Input, and Multiple Output*) de fermentação alcoólica não linear com Fuzzy não mínima. O controle é feito com controladores clássicos, Proporcional, Integrativo e Derivativo (PID) associado a um sistema supervisorio baseado em Sistemas Fuzzy. O sistema Fuzzy, a priori, é um passador de *set-points* aos controladores PID, porém também agrega funções de proteção, como por exemplo, caso a biomassa esteja com valor zero ou muito próximo; O controlador *Fuzzy* altera a campanha para evitar ou amenizar o problema de paralisar a reação química na cuba. Arquiteturas de controle baseadas em sistemas *Fuzzy* serão apresentadas, e comparadas em desempenho com controle clássico em campanhas diferentes. Um breve resumo sobre teoria *Fuzzy* será apresentado. E finalmente, resultados de simulações e conclusões e futuros trabalhos encerram o artigo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sistemas Supervisorios. Controle de um Sistema Multivariável. Processo de Fermentação Alcoólica. Controle Clássico. Controle Fuzzy-PID.

**ABSTRACT:** In this work, the control of a multivariable system, MIMO process (Multiple Input, and Multiple Output) of non-minimal linear fermentation with Fuzzy is considered. The control is done with classical controllers, Proportional, Integrative and Derivative (PID) associated with a supervisory system based on Fuzzy Systems. The Fuzzy system, a priori, is a past of set-points added to the PID controllers, but also protection functions, for example, if the biomass has a value of zero or very close; The Fuzzy controller changes the campaign to avoid or alleviate the problem of stopping the chemical reaction in the vat. Control architectures in systems based on Fuzzy systems, models and tests in classic performance in different campaigns. A brief summary of the Fuzzy theory will be presented. And finally, simulation results o and future works completed.

**KEYWORDS:** Supervisory Systems. Control of a Multivariable System. Alcoholic Fermentation Process. Classic Control. Fuzzy-PID Control.

## 1 | INTRODUÇÃO

A lógica Fuzzy é a lógica baseada na teoria dos conjuntos Fuzzy. Ela difere dos sistemas lógicos tradicionais em suas características e seus detalhes, a rigor a lógica clássica é uma generalização devido a capacidade de modelar somente zeros e uns, estados limites das funções de pertinência da lógica Fuzzy. De outro modo, nessa lógica, o raciocínio exato corresponde a um caso limite do raciocínio aproximado, sendo interpretado como um processo de composição de relações nebulosas. (GOMIDE, PEDRIKS, 2006).

Seres humanos são capazes de lidar com processos bastante complexos, baseados

em informações imprecisas e/ou aproximadas. A estratégia adotada é também de natureza imprecisa e geralmente possível de ser expressa em termos linguísticos. (PASSINO; YOURKOVICH, 1997).

Este trabalho aborda o desenvolvimento de um sistema supervisório com algumas funções de proteção para um processo de fermentação alcoólica, utilizando Sistemas *Fuzzy*. A arquitetura clássica de controle supervisório pode ser vista na literatura, como por exemplo, o trabalho de Passino e Yourkovich (1997).

No processo em estudo, o controle é multivariável, no qual, controladores PID (Proporcional Integral e Derivativo) determinam a abertura e fechamento das válvulas *Fin* (Válvula de Entrada) e *Fout* (Válvula de Saída), a primeira é responsável pelo fluxo de substrato inserido no tanque e a segunda pelo fluxo de produto fermentado retirado da cuba. Vale ressaltar que: a modelagem do sistema e os controladores clássicos são similares do trabalho de Mendonça (2011).

Essa pesquisa desenvolve um sistema supervisório para o processo de fermentação alcoólica, com duas arquiteturas de controle diferentes quanto à utilização da lógica *Fuzzy* simultaneamente com controle PID. Estas arquiteturas estão descritas a seguir: na primeira arquitetura um controlador *Fuzzy* passa os *set-points* para os controladores PID; na segunda um controlador *Fuzzy* passa os *set-points* para os controladores PID quando o sistema está em condições de alarmes, e um segundo controlador *Fuzzy* assume a posição com o sistema operando em condições normais.

Existem sistemas supervisórios comerciais, como, por exemplo, Elipse que implementa uma lógica clássica própria. A lógica *Fuzzy* pode fornecer uma solução eficiente para esse problema, pelos quais controladores supervisórios multivariáveis *Fuzzy* são projetados com base na experiência (conhecimento heurístico) dos operadores e/ou especialistas, e não se utilizar modelos matemáticos complexos.

A metodologia empregada no desenvolvimento do trabalho é de simular o processo de fermentação alcoólica, através das equações diferenciais que descrevem o comportamento dinâmico do processo. As simulações são feitas no *software* MATLAB, utilizando o método de Runge-Kutta de 4ª ordem para a resolução das equações.

Este trabalho está dividido da seguinte forma.

Na segunda seção é feita uma revisão bibliográfica de trabalhos que utilizam Sistemas *Fuzzy* em controle e supervisão de processos.

A terceira seção apresenta uma breve introdução de sistemas *Fuzzy* e suas principais vantagens e desvantagens. A quarta seção descreve e modela o sistema de fermentação alcoólico

A quinta seção apresenta o desenvolvimento do sistema supervisório para o processo de fermentação alcoólica, e, em seguida compara os resultados obtidos com o controle clássico PID.

E, a sexta seção apresenta resultados e comportamentos dinâmicos das arquiteturas

de controle propostas. Finalmente a última seção Fuzzy à conclusão e sugestões para trabalhos futuros.

## TRABALHOS CORRELATOS COM SISTEMAS FUZZY

No trabalho de Fernandes (2005) é sugerido um modelo de supervisão utilizando lógica *Fuzzy* para um sistema de geração de energia híbrido, este modelo é composto por um grupo gerador diesel, um gerador eólico e um banco de baterias. O objetivo é fazer o gerador diesel trabalhar o menos possível para economizar combustível; o banco de baterias atua quando o gerador eólico não consegue suprir a demanda de energia por um curto intervalo de tempo, onde não é viável utilizar o gerador diesel, conseguindo uma eficiência maior no uso do gerador eólico.

Yamakawa (2007) propõe um sistema de controle *Fuzzy* para banco de capacitores automático, aplicado nos alimentadores de distribuição de energia elétrica com o intuito de minimizar o número de chaveamento do banco de capacitores sem alterar os níveis de tensão do alimentador, bem como para melhorar o desempenho do equipamento, resultando em uma maior correção dos reativos.

O artigo do Yesil e colaboradores (2011) apresenta um FCM (*Fuzzy Cognitive Maps*) para a sintonia dos parâmetros de controladores PI aplicado a um sistema não linear. Os controladores PI, para sistemas deste tipo, não conseguem resultados satisfatórios ou suficiente, por causa de diferentes propriedades estáticas e dinâmicas, porém esse trabalho mostrou uma solução eficiente para esse problema com o ajuste online dos parâmetros do controlador PI para cada ponto de operação do sistema, através de um FCM.

No trabalho Mendonça (MENDONÇA, 2011) uma Rede Cognitiva Dinâmica, do inglês *Dynamic Cognitive Networks*, apresenta uma evolução dos *Fuzzy Cognitive Maps* para controle e sistema supervisorio do mesmo processo, fermentador alcoólico, similar ao utilizado nessa pesquisa.

O trabalho Wang e colaboradores (Wang, *et al*, 2012) utiliza um controlador *Fuzzy*-PID para elevadores. Com o objetivo de reduzir o grande consumo de energia, este trabalho apresenta um novo sistema de controle que pode transformar a energia que vem do motor para trabalhar no estado gerador à rede elétrica. Esse sistema de controle é necessário porque o controle PI convencional não pode funcionar de forma eficiente no controle da variável tempo e de objetos não lineares.

A lógica *Fuzzy* foi proposta pelo professor de ciências da computação Lotfi A. Zadeh em meados da década de 60 (ZADEH, 1992). O modelo de controle *Fuzzy* Mamdani, utilizado nesse trabalho, foi criado por Ebrahim Mamdani em 1975, para controlar a caldeira de uma máquina a vapor; através de um conjunto de regras baseada em variáveis linguísticas, regras que foram construídas por meio do conhecimento de operadores (PASSINO; YOURKOVIC, 1997).

De um modo geral, um sistema de controle *Fuzzy* clássico, como utilizado nesse trabalho, pode ser desenvolvido com o conhecimento de um especialista do processo, por meio de um conjunto de regras, nas quais as condições são dadas a partir de um conjunto de termos linguísticos associados às variáveis de entrada e saída do processo. (GOMIDE; PEDRYCZ, 2006).

Não é escopo desse trabalho apresentar funcionamentos da lógica *Fuzzy*. Limita-se a somente à uma breve introdução e algumas das vantagens e desvantagens dessa técnica.

Vantagens de se utilizar lógica *Fuzzy*:

- A lógica *Fuzzy* é conceitualmente fácil de entender;
- A lógica *Fuzzy* é uma abordagem mais intuitiva, sem a complexidade de longo alcance;
- A lógica *Fuzzy* é flexível;
- A lógica *Fuzzy* é tolerante com dados imprecisos;
- A lógica *Fuzzy* pode modelar funções não lineares de complexidade arbitrária.
- Pode-se desenvolver um sistema *Fuzzy* para combinar com qualquer conjunto de dados de entrada e saída. Através de técnicas adaptativas (Alisson, 2014), como por exemplo, *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems* (ANFIS);
- A lógica *Fuzzy* pode ser construída em cima da experiência de especialistas;
- Em contraste direto com Redes Neurais Artificiais, que utilizam dados históricos para treinamento, a lógica *Fuzzy* permite contar com a experiência de pessoas que já entendem o sistema;
- A lógica *Fuzzy* pode ser usada em conjunto com técnicas de controle convencionais (caso dessa pesquisa);
- A linguagem natural, que é usado por pessoas comuns em uma base diária. Nesse contexto, as frases escritas na forma de termos linguísticos são eficientes por facilitar a abstração de forma semelhante ao raciocínio humano.

Porém, a lógica ou sistemas *Fuzzy* não são eficientes para todos os problemas em ciências de um modo geral. Se uma solução mais simples já existe, esta é recomendada. Entretanto é uma ferramenta sugerida para lidar com rapidez e eficiência problemas com imprecisão e não linearidade (KASABOV, 1998). Outra desvantagem não só da Lógica *Fuzzy*, mas também de sistemas computacionais inteligentes de um modo geral, não se garante que o resultado final seja ótimo, porém é possível se obter soluções em situações onde não se conhece ou somente parcialmente os modelos matemáticos de um sistema, por exemplo (MENDONÇA, 2011).

## PROCESSO FERMENTAÇÃO ALCÓOLICO

O processo de fermentação alcoólica utilizado neste artigo estudado inicialmente por Maher (1995), como podemos observar na figura 1 possui quatro variáveis de estado: as concentrações de substrato (**S**), de biomassa (**C**), de produto (**P**) e o volume (**V**) do tanque onde ocorre a fermentação. As concentrações são dadas em gramas/litro (g/l), e o volume em litros (l). A figura 1 também apresenta as válvulas  $F_{in}$  e  $F_{out}$  onde, a primeira é responsável pelo fluxo de substrato inserido no tanque e a segunda pelo fluxo de produto fermentado retirado da cuba.

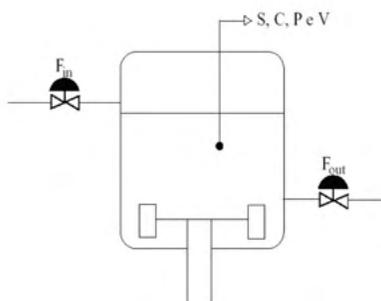


Figura 1- Processo de Fermentação Alcoólica.

Este processo apresenta uma forte interação entre suas variáveis, o que resulta em não linearidade. A análise da curva de resposta ao degrau, na figura 2, mostra um comportamento de Fuzzy não mínima e tempo de acomodação (MENDONÇA, 2011). Além disso, por medida de segurança, o volume do reservatório não deve exceder 3,5 l nem ficar abaixo de 1,5 l, e para garantir a fermentação, a concentração de biomassa não deve superar 8 g/l, do mesmo modo a concentração de substrato não pode ficar abaixo de 0,5 g/l, porque com valores muito próximos a zero da biomassa a reação química se extingue.

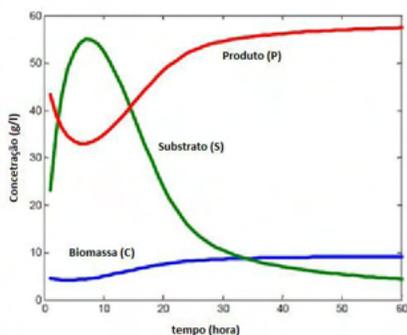


Figura 2 - Comportamento Dinâmico das Variáveis de Estado do Processo de Fermentação Alcoólica.

As equações diferenciais que descrevem o comportamento dinâmico do processo são dadas de (1) a (4).

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{1}{Y_c/s} \mu C + \frac{F_{in}}{V} S_a - \frac{F_{out}}{V} S \quad (1)$$

$$\frac{dC}{dt} = \mu C - \frac{F_{out}}{V} S \quad (2)$$

$$\frac{dP}{dt} = -\frac{Y_p/s}{Y_c/s} \mu C - \frac{F_{out}}{V} P \quad (3)$$

$$\frac{dV}{dt} = F_{in} - F_{out} \quad (4)$$

Onde:

$S_a$  → concentração de substrato da alimentação;

$Y_c/s$  → constante de conversão da biomassa;

$Y_p/s$  → constante de conversão do produto;

$\mu$  → função de crescimento da biomassa, dada pela equação (5).

$$\mu = \mu_0 \frac{S}{K_s + S} \left(1 - \frac{P}{P_m}\right) \quad (5)$$

$\mu_0$  → máxima taxa de crescimento;

$K_s$  → constante de Michaelis-Menton;

$P_m$  → coeficiente de inibição do produto durante a reação.

## SISTEMA DE CONTROLE E SUPERVISÓRIO FUZZY

Como já citado, essa pesquisa desenvolve duas formas de aplicação de controle *Fuzzy* juntamente com controladores PID, para simulação do processo, análise e comparação de resultados é utilizado duas campanhas de fermentação distintas, de tal modo que as três arquiteturas de controle são testadas nessas duas campanhas, mostradas nas tabelas 1 e 2.

CAMPANHA 01	
Tempo até (horas)	Concentração de produto desejado (g/l)
60	40
120	45
150	35
200	40
350	45

Tabela 1: Campanha 1.

<b>CAMPANHA 02</b>	
Tempo até (horas)	Concentração de produto desejado (g/l)
60	40
120	15
180	35
240	45
350	20

Tabela 2: Campanha 2.

Nas duas campanhas citadas, os mesmos *star-tap* mostrados utilizam os valores das constantes utilizadas para a evolução das equações diferenciais, e podem ser vistos na tabela 3, já os valores iniciais das variáveis S, C, P e V são mostrados na tabela 4.

A Primeira Arquitetura de Controle: Nesta arquitetura de controle supervisorio apenas um controlador *Fuzzy* passa os *set-points* aos controladores PID, com o intuito de melhorar o processo de fermentação alcoólica, e alcançar funções de proteção para o S, C e V. No diagrama de bloco da figura 3 podemos observar o princípio do funcionamento desta arquitetura de controle supervisorio, onde o processo é controlado pelos controladores PID e o sistema *Fuzzy* atua em nível supervisorio passando os *set-points* aos controladores clássicos.

<b>CONSTANTES</b>	
$S_a$	100 g/l
$P_m$	100
$K_s$	10
$\mu_0$	0,31
$Y_p/s$	0,07
$Y_c/s$	0,44

Tabela 3: Valores iniciais das constantes.

<b>VARIÁVEIS DO PROCESSO</b>	
S (Substrato)	4,5 g/l
C (Biomassa)	5 g/l
P (Produto)	50 g/l
V (Volume)	2 l

Tabela 4: Variáveis do processo.

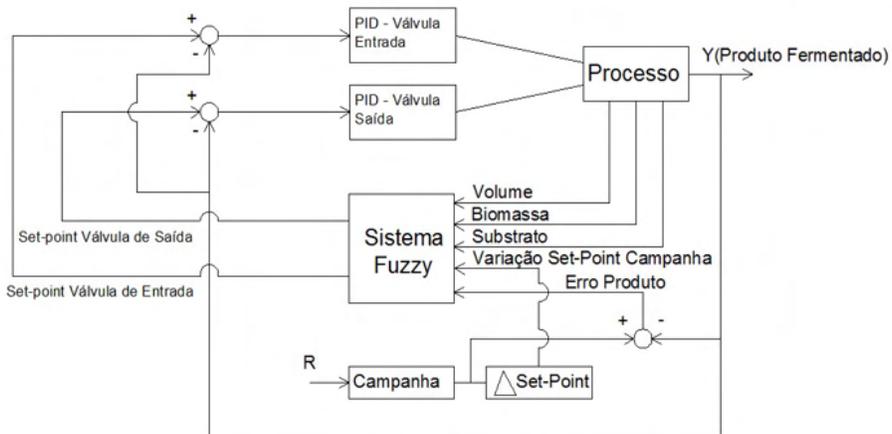


Figura 3 - Arquitetura I de Controle Supervisório com um Sistema Fuzzy.

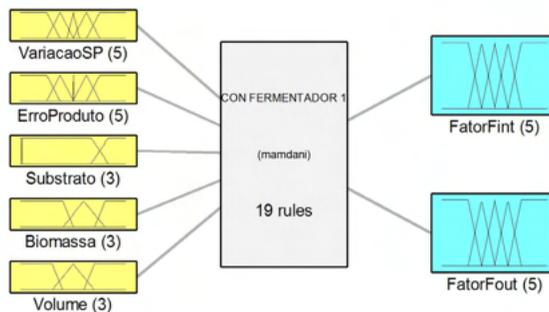


Figura 4 - Estrutura do controlador I (5x2).

Na figura 4 é apresentada a estrutura do primeiro controlador Fuzzy, nota-se com cinco entradas e duas saídas. Para a entrada foi levado em consideração à variação do ponto de operação desejado (variação da concentração do produto fermentado, ou *set-point* do processo), o erro do ponto de operação além das concentrações de biomassa e substrato, e por último o volume do tanque. Enquanto as saídas – Fator *Fint* e Fator

*Fout*—são fatores de multiplicação que controlam os valores dos *set-points* efetivamente aplicados aos controladores PID, que por sua Fuzzy controlam a abertura e fechamento das válvulas *Fint* e *Fout*. A tabela 5 descreve a heurística de desenvolvimento utilizada de forma resumida. Já a tabela 6 mostra algumas restrições de operação do processo de acordo com os trabalhos de (MENDONÇA, 2011).

<b>RELAÇÕES DE CONTROLE DO PROCESSO</b>
A concentração de produto no reator, variável controlada do processo, é afetada por variações no <i>set-point</i> do PID que controla a válvula de entrada.
A concentração de produto no reator, variável controlada do processo, é afetada por variações no <i>set-point</i> do PID que controla a válvula de saída.
O valor do <i>set-point</i> desejado no processo, que caracteriza o ponto de operação da reação, determina o valor de <i>set-point</i> efetivamente aplicado ao PID, que controla a válvula de entrada.
O valor do <i>set-point</i> desejado no processo, que caracteriza o ponto de operação da reação, determina o valor de <i>set-point</i> efetivamente aplicado ao PID, que controla a válvula de saída.
A variação de <i>set-point</i> desejado (mudança de ponto de operação) afeta o valor do <i>set-point</i> aplicado à válvula de entrada.
A variação de <i>set-point</i> desejado (mudança de ponto de operação) afeta o valor do <i>set-point</i> aplicado à válvula de saída.
O volume do tanque é afetado pelo valor do <i>set-point</i> da válvula <i>Fin</i> e <i>Fout</i> .
As concentrações de substrato e biomassa são afetadas diretamente pela abertura e fechamento da válvula de entrada, uma Fuzzy que essa válvula é responsável pelo fluxo de biomassa e substrato que entra na cuba.
As concentrações de substrato e biomassa não são afetadas pela abertura e fechamento da válvula de saída, sabendo que a válvula de saída controla apenas o fluxo de produto fermentado que sai do tanque.

Tabela 5: Descrição da observação processo.

<b>RESTRIÇÕES DE OPERAÇÃO DO PROCESSO</b>
A quantidade de biomassa não deve superar uma concentração de 8 g/l.
O volume do reator por questões de segurança não pode exceder 3,5 litros nem ficar abaixo de 1,5 litros.
A quantidade de substrato não pode ficar abaixo de uma concentração mínima de 0,5 g/l.
Os valores de <i>set-points</i> para concentração de produto correspondem a uma lista de valores de concentração discreta no intervalo [10,50] g/l descrevendo os pontos de operação.

Tabela 6: Restrições processo.

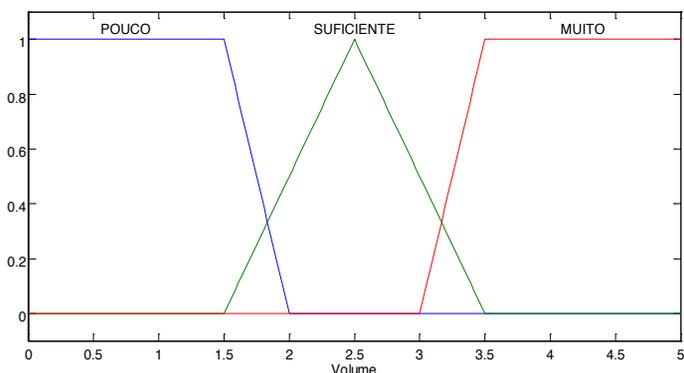


Figura 5 - Exemplo de funções de pertinência (funções de pertinência para o controle do volume).

A figura 5 mostra um exemplo de funções de pertinências que foram utilizadas na elaboração dos controladores *Fuzzy*, nota-se que as funções das extremidades POUCO e MUITO são do tipo trapezoidal já a função do meio SUFICIENTE é do tipo triangular, vale ressaltar que para a construção das demais funções, das outras variáveis foi utilizado este mesmo modelo exposto como exemplo. Uma *Fuzzy* que as funções do tipo trapezoidal e triangular são as mais fáceis de aproximar-se do ponto de referência desejado.

A segunda arquitetura de controle supervisorio, segue o mesmo princípio da primeira, apresentada, no entanto nota-se na figura 10 dois sistemas *Fuzzy*.

A ideia desta arquitetura é dividir o sistema *Fuzzy* em dois níveis de atuação, o primeiro nível é representado na figura 10 pelo bloco de controle *Fuzzy* da direita. Este controlador é exatamente o mesmo da primeira arquitetura (figura 3) de controle com as devidas configurações para a campanha 01 e 02.

O controlador *Fuzzy* do primeiro nível atua quando o processo de fermentação alcoólica se encontra em situações de alarmes, relacionados às restrições de operação do processo apresentados na tabela 6.

O segundo nível de atuação do sistema *Fuzzy* é simbolizado na figura 6 pelo bloco de controle da esquerda, suas características de projeto serão expostas de maneira subsequente.

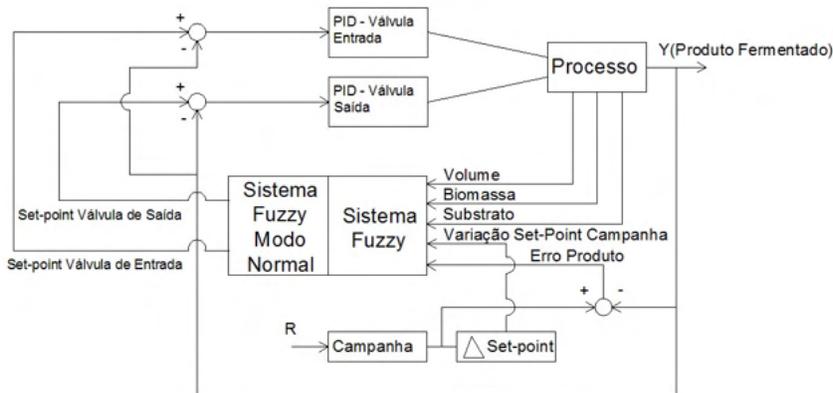


Figura 6 - Arquitetura II (dois controladores).

O segundo nível de supervisão entra em ação quando o processo não apresenta situações de alarmes nas concentrações de substrato, biomassa e no volume do tanque de fermentação.

A transição do primeiro nível de atuação do sistema *Fuzzy* para o segundo nível é feita através da lógica clássica se/então.

O controlador *Fuzzy* do segundo nível é exposto na figura 7, note-se que o sistema

é do tipo 2x2 e mantém as duas primeiras entradas e as mesmas saídas, do controlador da primeira arquitetura de controle. Estas variáveis também continuam com as mesmas funções de pertinência. Assim, o que diferencia este controlador são as regras e suas ponderações, além de desconsiderar o volume do tanque e as concentrações de substrato e biomassa.

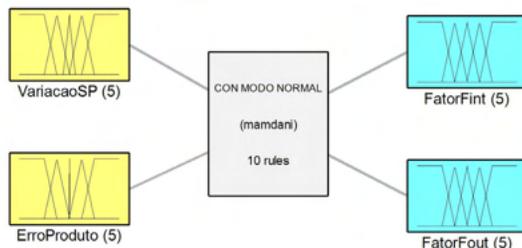


Figura 7 - Estrutura do controlador II (2x2).

A figura 8 mostra a ponderação das dez regras do controlador II, como esse controlador opera apenas em condições normais a ponderação das regras manteve-se robusta nas duas campanhas de fermentação.

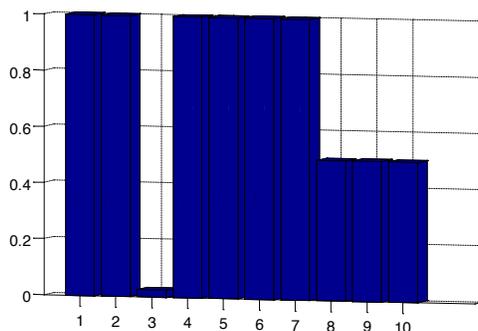


Figura 8 - Ponderação das Regras do Controlador 02 da Segunda Arquitetura de Controle Ajustada para as Campanhas 01 e 02.

Exemplo de umas das superfícies de controle do controlador II. Figuras 9 e 10.

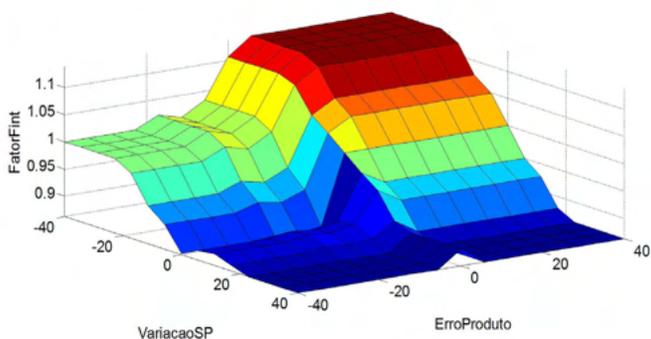


Figura 9 - Exemplo de superfície de controle, controlador II (Fin).

## RESULTADOS DE SIMULAÇÃO

Para a comparação dos resultados foi utilizado como referência à somatória do erro (ITAE) na concentração do produto, substrato e biomassa, além da somatória das ultrapassagens dos valores determinados como limite para o volume, essa referência foi denominada como Erro Total.

As tabelas 7, 8, 9 e 10 mostram os resultados obtidos para as campanhas 01 e 02, nas duas arquiteturas de controle, respectivamente para as concentrações do produto, substrato e biomassa, por último o resultado do volume.

Produto (g/l)	PID	Arquitetura 01	Arquitetura 02
Erro Total P Campanha 01	<b>111,39</b>	<b>98,57</b>	<b>75,72</b>
Erro Total P Campanha 02	<b>235,16</b>	<b>218,94</b>	<b>215,42</b>

Tabela 7: Resultados de Simulação, para a Concentração do Produto Fermentado.

Observa-se na tabela 7, que as duas arquiteturas de controle supervisorio propostas no trabalho, apresentaram redução no erro acumulado, em relação ao controle PID, e que a arquitetura que apresentou melhor desempenho para variável controlada (Produto), foi a segunda com uma evolução de 32% na campanha 01 e 8,4% na campanha 02.

Substrato (g/l)	PID	Arquitetura 01	Arquitetura 02
Erro Total S Campanha 01	<b>10,79</b>	<b>0,29</b>	<b>0,28</b>
Erro Total S Campanha 02	<b>0,41</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Tabela 8: Resultados de Simulação, para a Concentração do Substrato.

Na tabela 8, observa-se que, na campanha 01 as arquiteturas 1 e 2 tiveram um bom desempenho para a função de proteção do Substrato. Já na campanha 02 as duas arquiteturas conseguiram anular o erro na proteção do Substrato. Na tabela 9 observa-se que, a variável Biomassa não apresentou problemas para o controle do processo em nenhuma das arquiteturas.

A tabela 10 mostra que, a arquitetura 01 teve o melhor resultado para a proteção do volume do tanque, conseguindo anular o erro na campanha 01 e reduzindo 70% na campanha 02.

<b>Biomassa (g/l)</b>	<b>PID</b>	<b>Arquitetura 01</b>	<b>Arquitetura 02</b>
Erro TotalC Campanha 01	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Erro TotalC Campanha 02	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Tabela 9: Resultados de Simulação, para a Concentração de Biomassa.

<b>Produto (g/l)</b>	<b>PID</b>	<b>Arquitetura 01</b>	<b>Arquitetura 02</b>
Erro TotalV Campanha 01	<b>89,01</b>	<b>0</b>	<b>0,06</b>
Erro TotalV Campanha 02	<b>13,96</b>	<b>4,10</b>	<b>4,25</b>

Tabela 10: Resultados de Simulação para o volume do Tanque.

Nota-se que o erro acumulado foi melhor com a utilização dos controles *Fuzzy*-PID. Observa-se a dificuldade de ajuste nas duas arquiteturas citadas, mesmo que o desenvolvimento foi de forma gradativa, o ajuste das funções pertinência, das regras e dos seus pesos foram feitos observando o comportamento dinâmico do sistema e verificando desempenho, um processo repetitivo e exaustivo, considerando as dificuldades inerentes desse tipo de processo. A figura 11 mostra o comportamento dinâmico de todas as variáveis dos processos.

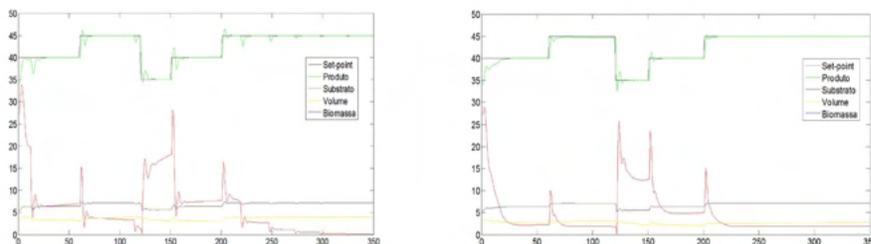


Figura 10 - Resposta dinâmica controladores PID (campanha 1).

A principal variável controlada (Produto) praticamente sobrepõe os valores de *set-points* das campanhas. A figura 12 mostra a dinâmica dos controladores na campanha 2.

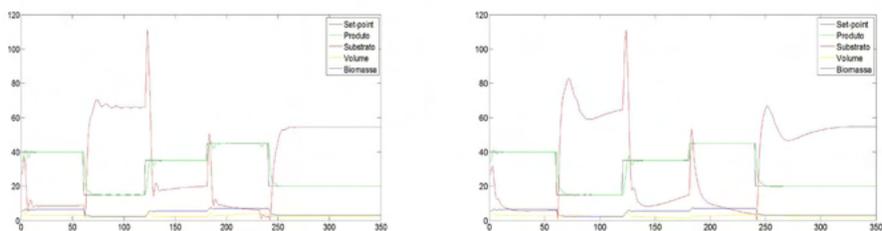


Figura 11 - Resposta dinâmica controladores PID (campanha 2).

## CONCLUSÕES

Para sugerir a robustez do sistema proposto; ele foi aplicado em duas campanhas de fermentação diferentes, e comparadas com o controle clássico PID. Foram avaliados quatro fatores de desempenho, o erro acumulado das concentrações de produto, substrato, biomassa e a somatória das ultrapassagens dos valores limitados para o volume.

Como foi apresentado nos resultados quantitativos simulados, por meio de tabelas e das figuras, com comportamento dinâmico do processo, as três arquiteturas de controle supervisorío apresentaram um resultado satisfatório em relação ao controle clássico PID.

Outra vantagem do sistema proposto é a possibilidade de disparar alarme para condições adversas de operação, como realizado na arquitetura 02 e 03, podendo trocar de controlador *Fuzzy*, resultando em ganhos consideráveis para o sistema de fermentação alcoólica. Desse modo, podemos sugerir que o sistema supervisorío, ainda que inicial, e controlador *Fuzzy* pode ser viável para esse tipo de processo entre outros multivariáveis e não lineares. Trabalhos futuros poderão ser acrescentadas novas funcionalidades no sistema supervisorío e compará-lo com outras arquiteturas de controle, como por exemplo, Sistema de Inferência Neuro-*Fuzzy* Adaptativo (ANFIS).

## REFERÊNCIAS

ALISSON M. S. **Sistemas Neuro-Fuzzy Evolutivos: Novos Algoritmos de Aprendizado e Aplicações**. (Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, 2014.

CORRÊA, Elton Carlos. **Sistema supervisorío utilizando controle Fuzzy-pid em um processo de fermentação alcoólica**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio-Procópio, 2015.

FERNANDES, R. T. **Supervisão de um sistema híbrido eólico/diesel usando lógica Fuzzy**. 2005. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2005.

GOMIDE, F. A. C.; PEDRYCZ, W. **An Introduction to Fuzzy Sets: Analysis and Design**. 2. ed. Massachusetts: Bradford, 2006.

KASABOV, N.K. **Foundations of Neural Networks, Fuzzy Systems, and Knowledge Engineering**. The MIT Press Cambridge, Massachusetts London, England.1998.

MAHER, M. **Modélisation élaboration estimation et de commander: application à um bioprocédé**. 1995. Tese - Université Paul Sabatier, LAAS/CNRS, Toulouse, 1995.

MENDONÇA, M. **Uma contribuição ao desenvolvimento de sistemas inteligentes utilizando redes cognitivas dinâmicas**. 2011. 177 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica e Informática Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

PASSINO, M. K.; YOURKOVICH, S. **Fuzzy control**. Menlo Park: Addison-Wesley, 1997.

YAMAKAWA, E. K. **Sistema de controle nebuloso para bancos de capacitores automáticos aplicados em alimentadores de distribuição de energia elétrica**. 2007. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

WANG R.; LUO F.; HUANG X.; LI P., **New elevator energy feedback control system design based on Fuzzy PID controller**. *Power Engineering and Automation Conference (PEAM), IEEE*, Sept. 2012.

YESIL, E.; DODURKA F.; SAKALLI, A.; GUZAY C., OZTURK C. **Self-Tuning PI Controller via Fuzzy Cognitive Maps**. 2013. (AIAI) Artificial Intelligence Applications and Innovations, Springer, Ifip, September. 2013.

ZADEH, L. A. **An introduction to Fuzzy Logic Applications in Intelligent Systems**. Boston: Kluwer Academic Publisher, 1992.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Ações humanas rítmicas 85, 87, 98

Aeroporto 100, 103, 104, 106, 107, 108, 110

Água 15, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 103, 115, 122, 124, 169, 170, 171, 172, 174, 180, 181, 184, 194, 195, 197, 198, 199, 202, 203, 204, 205, 208, 209, 210, 216, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 229, 230, 231, 252, 253, 254, 255, 256, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 274, 275, 276, 277, 279

Análise de conforto humano 85, 97

Análise de vibração 62, 63, 64, 65, 66, 98

Áreas contaminadas 112, 114, 115, 116, 117, 120, 122, 123, 124, 170, 181

### B

Background geoquímico 169, 170, 171, 172, 173, 176, 178, 180, 181, 182

Banho termostático 258, 259, 262, 269, 274

### C

Cobertura de pilha de estéril 251

Comunicação sem fio 1

Concessões 100, 108, 109, 110, 135

Consumo de água 27, 28, 29, 30, 32, 220

Controle de nível 27, 28, 29, 30, 31

Controle Fuzzy-PID 35

Cultura 27, 61, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 146, 148, 149, 150, 151, 168, 232

Curva de koch 1

### D

Desativação de atividades 112

Desativação De Atividades 112, 113, 119

Descarte emergencial 197, 198

Desemulsificação 258, 259, 266

Desestabilização da emulsão 269, 273

Desfluoretação 219

Drenagem ácida de mina 184, 252

## **E**

Emulsão O/A 258, 259, 269

Energias renováveis 14, 15, 16, 17, 20, 232

## **F**

Fermentação alcoólica 35, 36, 39, 41, 44, 48

Ferro fundido cinzento 62, 64

Fluorose 219, 220

## **I**

IoT 2, 27, 28, 29, 33

## **L**

Lixiviação de metais 183, 185, 186, 187, 193, 194, 195, 252

## **M**

Mancal 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70

Maturidade 138, 139, 142, 143, 144, 146, 147, 148, 149, 150

Medição de grandes rios 204

Método do molinete 204, 205, 215

Microrredes 14, 15, 21, 23, 24

Mineração de ouro 197, 251

## **N**

Normas 13, 24, 79, 97, 98, 102, 105, 112, 113, 115, 116, 117, 119, 122, 134, 139, 141, 142, 181, 195, 203, 281

Normatização 14, 15, 17, 18, 20, 24

## **O**

Organização 15, 28, 128, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 220

## **P**

Parcerias público-privadas 100, 102, 103, 104, 109, 110

Pisos mistos de edificações 85

## **Q**

Qualidade da energia 14, 19, 20

Quebra da emulsão 258, 259, 261, 264, 265, 269, 273, 274

## **R**

Recirculador 62, 63, 69, 70

Residencial 27, 29, 31

## **S**

Segurança 18, 20, 21, 39, 43, 50, 106, 118, 120, 133, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 148, 149, 150, 151

Separação O/A 269

Setor aeroportuário 100, 101, 109

Sistema multivariável 35

Sistemas supervisórios 35, 36

Sustentabilidade 17, 20, 102, 116, 123, 219

## **T**

Tensoativos 258, 259, 260, 261, 262, 264, 265, 266, 268, 269, 270, 271, 272, 274, 275, 276, 277, 278, 279

## **V**

Vazão 27, 31, 172, 198, 204, 205, 208, 209, 212, 213, 214, 215, 216



# As engenharias agregando conhecimento em setores emergentes de pesquisa e desenvolvimento 2

-  [www.arenaeditora.com.br](http://www.arenaeditora.com.br)
-  [contato@arenaeditora.com.br](mailto:contato@arenaeditora.com.br)
-  [@arenaeditora](https://www.instagram.com/arenaeditora)
-  [www.facebook.com/arenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/arenaeditora.com.br)



# As **engenharias** agregando conhecimento em setores emergentes de **pesquisa e desenvolvimento 2**

-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
-  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)