

# REVISTA



**SOLUÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DO PAÍS**

Atendimento:  
sodebras@sodebras.com.br  
Acesso:  
<http://www.sodebras.com.br>

# ARTIGOS PUBLICADOS

PUBLICAÇÃO MENSAL  
Nesta edição

INOVAÇÃO E STARTUPS: ANÁLISE DO PAPEL DO ARMAZÉM DA CRIATIVIDADE EM CARUARU	
INNOVATION AND STARTUPS: ANALYSIS OF THE ROLE OF THE ARMAZÉM DA CRIATIVIDADE IN CARUARU – Matheus Ferraz Rodrigues Da Silva; Sueli Menelau; Francisco Guilherme Lima Macedo .....	08
SUSTAINABILITY AND PETROLEUM INDUSTRY IN NORTH FLUMINENSE	
SUSTENTABILIDADE E INDÚSTRIA PETROLÍFERA NO NORTE FLUMINENSE – Paulo Jonas Dos Santos Júnior; Silvana Duarte Gonçalves Dos Santos; Teófilo Miguel De Souza .....	15
SENSITIVITY PROFILE AND FREQUENCY OF OXA-TYPE CARBAPENEMASES AMONG ACINETOBACTER BAUMANNII STRAINS IN TEACHING HOSPITALS OF CEARÁ, BRAZIL – Izabelly Linhares Ponte Brito; Ana Jessyca Alves Moraes; Vicente De Paulo Teixeira Pinto; Francisco Cesar Barroso Barbosa .....	20
POSSIBLE ROUTES FOR THE FORMATION OF PREBIOTIC MOLECULES IN THE HORSEHEAD NEBULA	
POSSÍVEIS ROTAS PARA A FORMAÇÃO DE MOLÉCULAS PREBIÓTICAS NA NEBULOSA CABEÇA DE CAVALO – Luciene Da Silva Coelho; Amâncio César Dos Santos Friaça; Edgar Mendoza .....	27
UMA METODOLOGIA BÁSICA PARA O CÁLCULO DE ESTABILIDADE ANGULAR EM GERADORES SÍNCRONOS	
A BASIC METHODOLOGY FOR CALCULATING ANGULAR STABILITY IN SYNCHRONOUS GENERATORS – Sergio Manuel Rivera Sanhuesa; Maxwell Diógenes Bandeira De Melo; Ivan Ney Alvizuri Romani; Marilene Andreia Mantovani .....	34
ROBÔ EQUILIBRISTA COM DUAS RODAS DE BAIXO CUSTO CONTROLADO POR LÓGICA DIFUSA	
LOW COST TWO WHEELED SELF-BALANCING ROBOT CONTROLLED BY FUZZY LOGIC – Alex Pisciotta; Álvaro Manoel De Souza Soares .....	40



Edição 185 de maio de 2021

<http://www.sodebras.com.br/>

ISSN - 1809-3957

DOI: <https://doi.org/10.29367/issn.1809-3957>

### CONSELHO EDITORIAL

Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza, UNESP-FEG (Editor Geral).  
Prof. Dr. Paulo Jonas dos Santos Júnior, UNESP-FEG (Editor Adjunto).  
Prof. Dr. Osiris Canciglieri Júnior, Lough. Univ-UK, PUC-PR.  
Prof. Dr. Maria Cláudia Botan, UNIVESP.  
Prof. Dr. Thais Santos Castro, UNESP.  
Prof. Dr. Agustín Valverde Granja, Universidad de Ibagué- Colômbia.  
Prof. Dr. Joacy de Lima Freitas Junior, Agência Nacional de Aviação Civil.  
Prof. Dr. José Leandro Casa Nova Almeida, Instituto Federal-RJ.  
Prof. Dr. Marcio Zamboti Fortes, UFF.  
Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior, UTFPR.  
Prof. Dr. José Rui Camargo, UNITAU.  
Prof. Dr. José Renato de Oliveira Lima, Universidade Federal do Maranhão.

### COMITÊ CIENTÍFICO

Valdir Agostinho de Melo, COPPE/UFRJ	Paulo Bassani, UEL
Juliana Corrêa Crepalde, CTIT/ UFMG	Marlene Marchiori, UEL
Lila Teixeira de Araújo Janahú, ESAMAZ	Carlos Humberto Martins, UEM
Volmer Avelino Silvio Paula da Silveira, Estácio	Paulo Fernando Soares, UEM
Durval Corrêa Meirelles, Estácio	Deisy Cristina Corrêa Igarashi, UEM
Ana D'Arc Martins de Azevedo, FAAM/UEPA	Moisés Meza Pariona, UEPG
Maria Lígia Carrijo Monteiro, FACEG	Jarem Raul Garcia, UEPG
Marcus Antonius Costa Nunes, Fac. Vale do Cricaré - PE	Elizabete Campos de Lima, UFABC
Zélia Maria De Melo De Lima Santos, FALUB.	Carlos Suetoshi Miyazawa, UFABC
Sérgio Roberto Montoro , FATEC - Pindamonhangaba	Marcio Zamboti Fortes, UFF
Claudio Antonio Frederico, IEAV / CTA	Pablo Silva Machado Bispo dos Santos, UFF
Maria Manuela Camino Feltes, IFC	Paulo Henrique Furtado de Araujo, UFF
Felipe José da Silva, IFRJ	Paulo Sérgio Scalize, UFG
Givanildo Alves dos Santos, IFSP	Juliana da Cunha, UFG
Paulo Marcos de Aguiar, IFSP	Hilton Pereira da Silva, UFPA
Airton Viriato de Freitas, INSTITUTO DE	Anderson Gonçalves da Silva, UFRA
INFECTOLOGIA EMÍLIO RIBAS	Antonio Carlos Baptista Antunes, UFRJ
Claudio Edilberto Höfler, Instituto Federal Farroupilha	Claudinei de Souza Guimarães, UFRJ
Leila Ribeiro dos Santos, ITA / CTA	Antônio Assis Vieira, UFRRJ
Letícia Peret Antunes Hardt, PUC –PARANÁ	Joel Dias da Silva, UFSC
Eduardo Concepción Batiz, SOCIESC	Leandro Belinaso Guimarães,, UFSC
Marcelo Macedo, SOCIESC	Silvio Serafim da Luz Filho, UFSC
Ariovaldo de Oliveira Santos, UEL	Antonio Pedro Novaes de Oliveira, UFSC
André Luiz Martinez de Oliveira, UEL	Rozângela Curi Pedrosa, UFSC
Leonardo Sturion, UEL	Débora de Oliveira, UFSC
Jean-Marc Stephane Lafay, UEL	Fabiano Rodrigues de Souza, UFT -TO
Emília Kiyomi Kuroda, UEL	Cláudio Homero Ferreira da Silva, UFU
Henrique de Santana, UEL	Márcia Susana Nunes Silva, ULBRA
Marli Terezinha Oliveira Vannuch, UEL	Maria Eloisa Farias, ULBRA

Maria Lúcia Castagna Wortmann, ULBRA  
 Hélio Raymundo Ferreira Filho, UNAMA/UEPA  
 Maria Claudia Botan, UNESP  
 Ana Maria Pires Soubhia, UNESP - Araçatuba  
 Eduardo Maffud Cilli, UNESP - Araraquara  
 Helena Carvalho de Lorenzo, UNESP - Araraquara  
 Heitor Miranda Bottura, UNESP - Bauru  
 Helio Grassifilho, UNESP - BOTUCATU  
 Leonice Domingos dos Santos Cintra Lima, UNESP.  
 Augusto Eduardo Baptista Antunes, UNESP.  
 Durval Luiz Silva Ricciulli, UNESP - Guaratinguetá  
 Francisco Antônio Lotufo, UNESP - Guaratinguetá  
 Inácio Bianchi, UNESP - Guaratinguetá  
 João Zangrandi Filho, UNESP - Guaratinguetá  
 José Feliciano Adami, UNESP - Guaratinguetá  
 Leonardo Mesquita, UNESP - Guaratinguetá  
 Marcio Abud Marcelino, UNESP - Guaratinguetá  
 Messias Borges Silva, UNESP - Guaratinguetá  
 Rubens Alves Dias, UNESP - Guaratinguetá  
 Sílvia Maria A. Lima Costa, UNESP - Ilha Solteira  
 Gláucia Aparecida Prates, UNESP - Itapeva  
 Áureo Evangelista Santana, UNESP - Jaboticabal  
 Teresa Cristina Tarlé Pissarra, UNESP - Jaboticabal  
 Gilda Carneiro Ferreira, UNESP - Rio Claro  
 Fernando Luis Fertoni, UNESP - São José do Rio Preto  
 Azor Lopes da Silva Júnior, UNESP - São José do Rio Preto  
 Andréa Rossi Scalco, UNESP - Tupã  
 José Renato Oliveira de Lima, UNESP-IQ, Araraquara  
 Luiz Antonio Rossi, UNICAMP  
 Nelson Nunes Tenório Júnior, UNICESUMAR  
 Luis Henrique de Carvalho Ferreira, UNIFEI - Itajubá  
 Paulo Cesar Crepaldi, UNIFEI - Itajubá  
 Robson Luiz Moreno, UNIFEI - Itajubá  
 Tales Cleber Pimenta, UNIFEI - Itajubá  
 Fernando das Graças Braga da Silva, UNIFEI - Itajubá  
 Leonardo Breseghello Zoccal, UNIFEI-Itajubá  
 Larissa Morimoto Doi, UNIFESP  
 Fernando Kenji Nampo, UNIFIL  
 Adriano Vargas Freitas, UNIGRANRIO  
 Angelo Santos Siqueira, UNIGRANRIO  
 Eline das Flores Victor, UNIGRANRIO  
 Luiz Eduardo Silva Souza, UNIGRANRIO  
 Michel Jean Marie Thiollent, UNIGRANRIO  
 Abel Rodolfo Garcia Lozano, UNIGRANRIO / UERJ  
 Lileane Praia Portela de Aguiar, UNINORTE.  
 Eliane Cardoso Brenneisen, UNIOESTE  
 Luiz Ernani Henkes, UNIPAMPA  
 Maria Conceição de Oliveira, UNIPLAC  
 Wilson Engelmann, UNISINOS  
 Giorgio Eugenio Oscare Giacaglia, UNITAU  
 Pedro Paulo Leite do Prado, UNITAU  
 Luiz Eduardo Nicolini do Patrocínio Nunes, UNITAU  
 Adriana Araujo Diniz, UNIV. ESTADUAL DO MARANHÃO  
 Danilo Émmerson Nascimento Silva, UNIV. FEDERAL DE PERNAMBUCO  
 Adelar João Pizetta, UNIV. FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
 Adriana Fiorotti Campos, UNIV. FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
 Adriana Demite Stephani Carvalho, UNIV. FEDERAL DO TOCANTINS  
 Ademir Gomes Ferraz, UNIV. FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
 Rudimar Luís Scaranto Dazzi, UNIVALI  
 Carlos Nabil Ghobril, Universidade de São Paulo - USP  
 Filomena Maria Cordeiro Moita, Universidade Estadual da Paraíba  
 Márcia Maria Melo Araújo, Universidade Estadual de Goiás  
 Élsio José Corá, Universidade Federal da Fronteira do Sul - UFFS  
 Edemar Rotta, Universidade Federal da Fronteira do Sul - UFFS  
 Walter Roberto Hernández Vergara, Universidade Federal de Grande Dourados - FAEN-UFOD  
 Édison Martinho da Silva Difante, Universidade Federal de Passo Fundo - RS  
 Antonio Amaral Barbosa, Universidade Federal de Pelotas  
 João Carlos Gomes, Universidade Federal de Rondônia  
 ANA EUCARES VON LAER, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM  
 André Riani Costa Perinotto, Universidade Federal Do Piauí, Campus De Parnaíba  
 Diogo da Silva Cardoso, UFRJ.  
 Cláudia Moura de Melo, Universidade Tiradentes.  
 Osvaldo Yoshimi Tanaka, USP  
 Ana Cristina D'andretta Tanaka, USP  
 Heloiza Helena Gomes de Matos, USP  
 Rodrigo Pinto de Siqueira, USP - Lorena  
 José Leandro Casa Nova Almeida, USS  
 Adalberto Matoski, UTFPR  
 Guataçara dos Santos Junior, UTFPR  
 Rita de Cassia da Luz Stadler, UTFPR  
 Juarez da Silva Thiesen, UTFPR  
 Maria de Lourdes Bernartt, UTFPR  
 Alessandro Jaquil Waclawovsky, UTFPR  
 Pedro Ramos da Costa Neto, UTFPR  
 Frieda Saicla Barros, UTFPR  
 Rogério Marcos da Silva, UTFPR  
 Gerson Máximo Tiepolo, UTFPR  
 Jair Urbanetz Junior, UTFPR  
 Ariel Orlei Michaloski, UTFPR  
 Fabiana de Fátima Giacomini, UTFPR  
 Ieda Viana, UTP  
 Camila Nunes de Moraes Ribeiro, UTP  
 Angela Ribas, UTP  
 Sandro Germano, UTP  
 Maria Rose Jane Ribeiro Albuquerque, UVA- Acaraú



Vol. 16 – N° 185 – MAIO/ 2021

## EDITORIAL

A SODEBRAS – Soluções para o desenvolvimento do país – publica artigos científicos das mais diferentes áreas do conhecimento. Devido seu caráter interdisciplinar e a qualidade de seu corpo editorial a Revista tem sido utilizada por pesquisadores do Brasil e do mundo, para publicar estudos de alta relevância para o desenvolvimento técnico-científico da sociedade humana. Além disso, a SODEBRAS conta com o apoio da UNALAR, editora que está no mercado há mais de duas décadas; e também do ITANACIONAL, instituto de ensino e pesquisa localizado em Cisneiros - distrito de Palma-MG.

Para contribuir com uma dinâmica ainda maior, no que diz respeito à circulação e a produção do conhecimento, a SODEBRAS adota uma periodização mensal. Sabe-se que em um mundo de rápidas mudanças e de constantes transformações a ciência precisa estar na vanguarda da propagação de informações. Além disso, as edições possuem formato eletrônico de acesso livre e gratuito, assim como indexação internacional.

Dessa maneira, a edição 185, de maio de 2021, traz seis artigos com temáticas multidisciplinares e perspectivas acadêmicas de diferenciados pontos das ciências.

Matheus Ferraz Rodrigues da Silva, Sueli Menelau e Francisco Guilherme Lima Macedo no estudo “INOVAÇÃO E STARTUPS: ANÁLISE DO PAPEL DO ARMAZÉM DA CRIATIVIDADE EM CARUARU” analisam a metodologia do processo de incubação do Armazém da Criatividade em Caruaru e seu impacto para a inovação local.

O artigo intitulado “SUSTAINABILITY AND PETROLEUM INDUSTRY IN NORTH FLUMINENSE” de autoria de Paulo Jonas dos Santos Júnior, Silvana Duarte Gonçalves dos Santos e Teófilo Miguel de Souza, traz um estudo acerca da indústria petrolífera instalada na região Norte do Estado do Rio de Janeiro e de como essa lida com questões relacionadas com a temática da sustentabilidade e do meio ambiente.

Na pesquisa “SENSITIVITY PROFILE AND FREQUENCY OF OXA-TYPE CARBAPENEMASES AMONG ACINETOBACTER BAUMANNII STRAINS IN TEACHING HOSPITALS OF CEARÁ, BRAZIL”, Izabelly Linhares Ponte Brito, Ana Jessyca Alves Morais, Vicente de Paulo Teixeira Pinto e Francisco Cesar Barroso Barbosa apresentam um estudo sobre infecções adquiridas em Hospitais.

No artigo “POSSIBLE ROUTES FOR THE FORMATION OF PREBIOTIC MOLECULES IN THE HORSEHEAD NEBULA”, os autores Luciene da Silva Coelho, Amâncio César dos Santos Friaça e Edgar Mendoza, apresentam o resultado de um estudo teórico sobre moléculas interestelares que são úteis para a contabilidade do conteúdo



Vol. 16 – N° 185 – MAIO/ 2021

orgânico do universo e para fornecer um vislumbre das condições pré-bióticas na Terra e em outros ambientes do além do nosso planeta.

No trabalho “UMA METODOLOGIA BÁSICA PARA O CÁLCULO DE ESTABILIDADE ANGULAR EM GERADORES SÍNCRONOS” os pesquisadores Sergio Manuel Rivera Sanhueza, Maxwell Diógenes Bandeira de Melo, Ivan Ney Alvizuri Romani e Marilene Andreia Mantovani expõem um relevante estudo para a área da engenharia, uma vez que o ensaio apresenta ao graduando uma proposta de metodologia alternativa de compreensão da estabilidade angular de um gerador síncrono.

Em “ROBÔ EQUILIBRISTA COM DUAS RODAS DE BAIXO CUSTO CONTROLADO POR LÓGICA DIFUSA”, Alex Pisciotta e Álvaro Manoel de Souza Soares demonstram o desenvolvimento de um controlador por Lógica Difusa aplicada ao controle do equilíbrio dinâmico de um robô de duas rodas de forma direta, sem a aplicação de controladores auxiliares.

Boa leitura

Prof. Dr. Paulo Jonas dos Santos Júnior  
Editor Adjunto – Revista SODEBRAS

## Área: Ciências Humanas e Sociais

---

6-2	<b>INOVAÇÃO E STARTUPS: ANÁLISE DO PAPEL DO ARMAZÉM DA CRIATIVIDADE EM CARUARU</b>  <b>INNOVATION AND STARTUPS: ANALYSIS OF THE ROLE OF THE ARMAZÉM DA CRIATIVIDADE IN CARUARU</b> Matheus Ferraz Rodrigues Da Silva; Sueli Menelau; Francisco Guilherme Lima Macedo
6-5	<b>SUSTAINABILITY AND PETROLEUM INDUSTRY IN NORTH FLUMINENSE</b>  <b>SUSTENTABILIDADE E INDÚSTRIA PETROLÍFERA NO NORTE FLUMINENSE</b> Paulo Jonas Dos Santos Júnior; Silvana Duarte Gonçalves Dos Santos; Teófilo Miguel De Souza

## INOVAÇÃO E STARTUPS: ANÁLISE DO PAPEL DO ARMAZÉM DA CRIATIVIDADE EM CARUARU

### INNOVATION AND STARTUPS: ANALYSIS OF THE ROLE OF THE ARMAZÉM DA CRIATIVIDADE IN CARUARU

MATHEUS FERRAZ RODRIGUES DA SILVA<sup>1</sup>; SUELI MENELAU<sup>2</sup>;  
FRANCISCO GUILHERME LIMA MACEDO<sup>3</sup>

1 – REALIZA COWORKING; 2 – UFPE; 3 – IESB

*matfrs@gmail.com; suelimenelau@gmail.com; guilhermelima03@gmail.com*

**Resumo** – O estudo analisou a metodologia do processo de incubação do Armazém da Criatividade em Caruaru e seu impacto para a inovação local. O Armazém da Criatividade consiste em um projeto de interiorização do Porto Digital. Quanto a metodologia foi adotada uma abordagem qualitativa com desenho de pesquisa transversal, os procedimentos técnicos utilizados na pesquisa foram: pesquisa bibliográfica, documental e de campo, com fins descritivos. Foram entrevistadas oito pessoas relacionadas ao processo de incubação, gestoras do Armazém da Criatividade ou das empresas incubadas em estágios diferentes de desenvolvimento. Os resultados encontrados por meio da análise do conteúdo mostram que o Armazém da Criatividade tem cumprido seu papel de agente de inovação em Caruaru, com um processo de incubação estruturado e alinhado ao desenvolvimento das startups envolvidas.

**Palavras-chave:** Processo de Incubação. Empreendedorismo. Inovação.

**Abstract** - The study analyzed the methodology of the incubation process of the Armazém da Criatividade in Caruaru and its impact on local innovation. The Armazém da Criatividade is an interior project for Porto Digital. As for the methodology, a qualitative approach was adopted with a cross-sectional research design, the technical procedures used in the research were: bibliographic, documentary and field research, with descriptive purposes. Eight people related to the incubation process were interviewed, managers of the Armazém da Criatividade or companies incubated at different stages of development. The results found through the content analysis show that the Armazém da Criatividade has fulfilled its role as an innovation agent in Caruaru, with a structured incubation process and aligned with the development of the startups involved.

**Keywords:** Incubation Process. Entrepreneurship. Innovation.

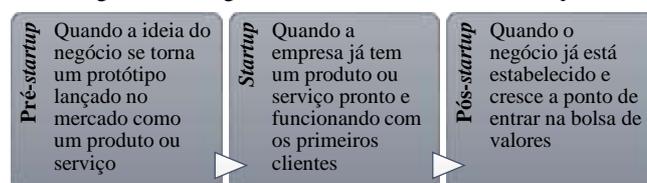
#### I. INTRODUÇÃO

No Brasil tem-se um ambiente hostil para se fazer negócios (CURADO; CURADO, 2017), que reforça a fragilidade de startups em detrimento de empresas ditas como tradicionais. Startup é uma empresa que entrega um novo tipo de produto ou serviço, que pode ser reproduzido repetidamente em grande quantidade, sobre condições de incerteza (RIES, 2012). São empresas nascentes que estão ligadas ao desenvolvimento de pesquisas e investigações de ideias em áreas inovadoras, em busca de um modelo de negócio repetível e com possibilidade de escala, atuando, na

maioria das vezes, em condições de extrema incerteza (GIHATY, 2016).

Para tentar contornar os índices de mortalidade e uma startup se consolide e apresente lucros e resultados, foram criadas estruturas de suporte conhecidas como incubadora de empresas que possibilitam a potencialização destes negócios (MANJAMA; RAMOS; CRISOSTIMO; RODRIGUES, 2019). Em 2015 o Brasil tinha 369 incubadoras que abrigam 2.310 startups incubadas e 2.815 startups que finalizaram o processo de incubação e foram graduadas (ANPROTEC, 2016). A incubação é um facilitador para o desenvolvimento do negócio, pois gera um ambiente ideal para o incremento de ideias através de assessorias, treinamentos e mentorias em diversas áreas essenciais para uma startup, que passam a ter mais chances de não se tornarem uma estatística de mortalidade empresarial (NATIONAL BUSINESS INCUBATION ASSOCIATION, 2003). Dentro desse contexto, o desenvolvimento de uma startup passa por três estágios, a saber (Figura 1):

Figura 1 – Estágios de Desenvolvimento de Startups



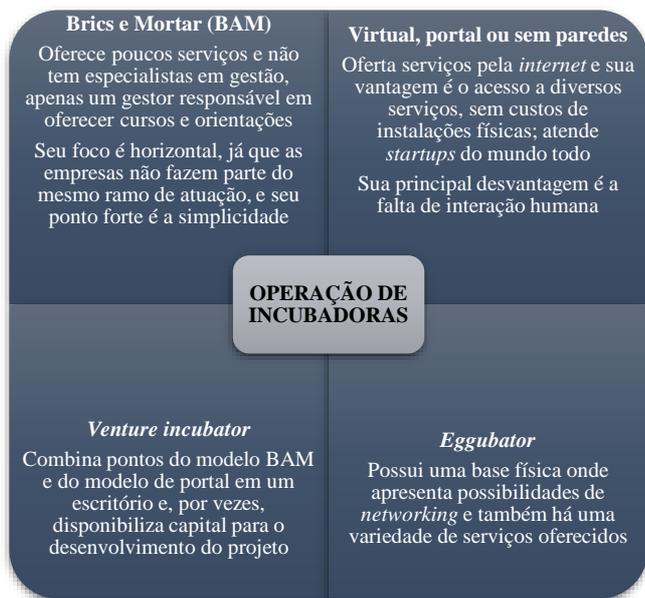
Fonte: Elaborado com base em Kotova (2014).

De iniciativa pública ou privada, as incubadoras fornecem também espaço de trabalho a preço acessível, e as de bases tecnológicas e os parques tecnológicos são dois mecanismos que apoiam o desenvolvimento e a inovação regional e local, mas que são tratados de forma independente e sem conexão (KOROCOSKI; KOROCOSKI; CRISOSTIMO; RODRIGUES, 2019; LALKAKA; BISHOP, 1996). As incubadoras se tornam mecanismo de estímulo e apoio logístico, gerencial e tecnológico ao empreendedorismo inovador, pois possuem o conhecimento necessário para auxiliar na implantação de novas empresas que tenham como objetivo principal de negócio a inovação (MCTIC, 2019).

Existem diversos tipos de incubadoras, com diferentes ênfases, focos e modelos de operação, desde a mais

sofisticada com estrutura física e uma gama de serviço à disposição dos empreendedores, até um modelo mais simples, com poucos serviços oferecidos (DORNELAS, 2002). São quatro modos operacionais de atuação (Figura 2):

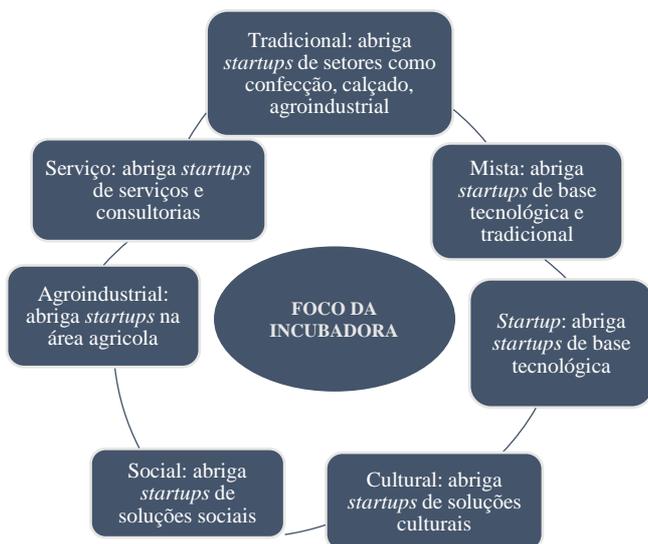
Figura 2 – Modos de Operação de Incubadoras



Fonte: Elaborado com base em Aranha (2003).

O modo de operação das incubadoras (Figura 2) determina sua forma de organização e atuação, configurando sua estrutura, suas opções de serviços, suas oportunidades de financiamento, e sua capacidade de firmar alianças externas. O modelo de atuação sempre dependerá das startups que as incubadoras irão atender (ARANHA, 2003). Nesse sentido, as incubadoras têm foco de atuação em sete áreas diferentes, conforme a Figura 3:

Figura 3 – Foco de Atuação das Incubadoras

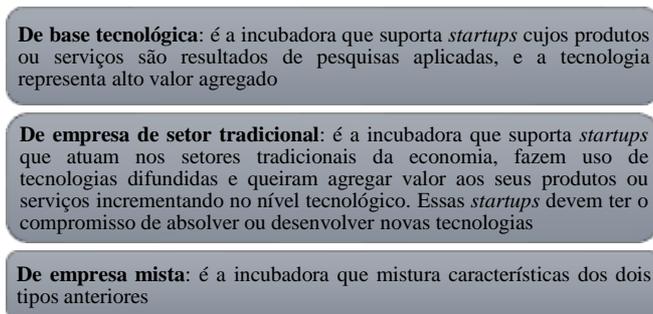


Fonte: Elaborado com base em Aranha (2003).

Ainda sobre o foco de atuação das incubadoras (Figura 3), mas sem especificar áreas, o principal objetivo das incubadoras deve ser a produção de empresas de sucesso, em

desenvolvimento contínuo, com estabilidade financeira e que sejam competitivas frente a seus concorrentes, após o processo de incubação. Nesse sentido, são três diferentes tipos de incubadoras (Figura 4):

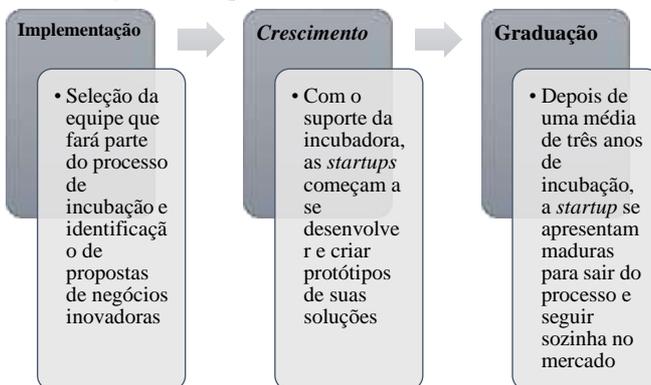
Figura 4 – Tipos de Incubadoras



Fonte: Elaborado com base em Dornelas (2002).

Quando se fala em incubadora de empresas, é importante entender como se dá o processo de incubação. Em um contexto de startups, são três etapas principais nesse processo, ilustradas na Figura 5:

Figura 5 – Etapas em um Processo de Incubação



Fonte: Elaborado com base em Andino (2005).

Essas etapas do processo de incubação (Figura 5), geralmente, são coordenadas pela incubadora em conjunto com algumas atividades relacionadas à orientação das startups, a saber: (i) conhecimento acessível; (ii) acesso rápido ao mercado; (iii) redução do custo e do risco de inovação; (iv) criação de conexões empresariais estratégicas; (v) fomento de cultura direcionada à inovação e ao planejamento; (vi) estímulo de procedimentos para competitividade; (vii) acesso a equipamentos; e (viii) redução de custos básicos de manutenção, vigilância e limpeza (VAREJÃO, 2010).

Acrescentam-se fatores críticos para o sucesso de um processo de incubação: (i) estabelecimento de métricas de sucesso (mostrar como e o que mensurar para acompanhar o desenvolvimento durante o processo); (ii) promoção de liderança empreendedora (foco em resolver problemas, em resultados e se dedicar a empresa); (iii) desenvolvimento de canais de entregas dos produtos e serviços (entregas durante o processo por parte da incubadora); (iv) criação de um processo seletivo viável; e (v) facilitação ao acesso de capital às startups incubadas (WIGGINS; GIBSON, 2003).

Sobre o tempo de permanência de uma startup em uma incubadora, os processos de incubação tendem a durar de dois a quatro anos (DORNELAS, 2002). Mas, ressalta-se que

apenas depois de (em média) três anos as *startups* estão aptas a finalizarem o processo e a deixarem a incubadora para entrarem no mercado com autonomia (BIZZOTTO, 2003).

A crescente quantidade de incubadoras e empresas incubadas fez com que a proposta de parques tecnológicos emergisse fortalecida como alternativa à promoção do desenvolvimento econômico e social a partir do ano 2000 (SOUSA; GONÇALVES; ALMEIDA; SACOMANO, 2017). Estima-se que em 2017 existiam mais de 103 parques tecnológicos espalhados pelo Brasil, sendo o Porto Digital um destaque no país (MCTIC, 2019).

Localizado no Recife, sua atuação é voltada às áreas de Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) e Economia Criativa (EC), agindo principalmente nos segmentos de música, fotografia, multimídia, games e *design*. O Porto Digital se transformou em um dos principais espaços de inovação do país, e foi uma iniciativa entre governo, academia e empresas (BARBOSA JÚNIOR; GOMES; SANTOS; SILVA, 2020; PORTO DIGITAL, 2019). Visando descentralizar oportunidades, o Porto Digital criou uma unidade avançada na cidade de Caruaru, conhecida como Armazém da Criatividade (PORTO DIGITAL, 2018).

O Armazém da Criatividade (doravante Armazém) é uma estrutura de suporte à inovação e ao empreendedorismo para diversificar e potencializar a competitividade da economia local, por meio de: incubadora de empresas, espaço de trabalho compartilhado, salas de reunião e equipamentos a disposição dos usuários. O seu diferencial são os espaços tecnológicos com suporte à projetos nas áreas de moda, economia criativa e tecnologia da informação, e o apoio à produção de trilhas sonoras, ao registro fotográfico e à modelos realistas de produtos com *design* e funcionalidades inovadoras (ARMAZÉM DA CRIATIVIDADE, 2017).

O programa de incubação do Armazém é destinado a *startups* nas áreas de moda, EC e TIC, que estejam faturando ou não, mas que tenham uma versão operacional do produto ou serviço testado e potenciais clientes. Este programa tem duração de um ano, oferece consultorias, treinamentos, mentoria com profissionais de diversas áreas, infraestrutura de trabalho, apoio à participação em eventos e *networking* com potenciais clientes e investidores (ARMAZÉM DA CRIATIVIDADE, 2017).

Na cidade de Caruaru o programa de incubação do Armazém tem grande impacto, pois ajuda a potencializar negócios que fortalecem o desenvolvimento da localidade e das cidades circunvizinhas (ARMAZÉM DA CRIATIVIDADE, 2017). Com base no contexto delineado, objetivou-se analisar a metodologia do processo de incubação do Armazém da Criatividade em Caruaru e seu impacto para a inovação local.

## II. METODOLOGIA

Esta pesquisa tem abordagem qualitativa, desenho transversal, e delineamento descritivo e exploratório (GIL, 2008). Quanto aos procedimentos técnicos utilizados, foram três: (i) pesquisa bibliográfica, com o emprego de livros, artigos científicos e teses para embasamento teórico e respaldo da análise dos dados primários; (ii) documental, com uso do *site* do Armazém, e de documentos internos com o modelo conceitual e os resultados alcançados; e (iii) de campo, para os dados primários.

O *locus* escolhido para essa pesquisa foi a incubadora do Armazém. Os sujeitos analisados são os representantes de seis *startups* (duas graduadas, duas que estavam sendo incubadas e duas que pretendiam incubar no processo deste

espaço) e dois funcionários do Armazém, compondo quatro grupos de respondentes. Os critérios para escolha das *startups* foram: ter interesse em incubar seu projeto, estar sendo incubado, e ter se graduado e ainda estar no Armazém.

Quanto ao instrumento de coleta de dados, fez-se uso de entrevista semiestruturada aplicada presencialmente e de maneira flexível (ZANELLA, 2011), sem seguir a sequência estabelecida no roteiro. Na primeira parte do instrumento é apresentada uma breve descrição da pesquisa e os aspectos éticos seguidos. Em seguida, 11 perguntas nas quais buscou-se identificar a percepção dos entrevistados sobre a atuação do processo de incubação do Armazém. As perguntas foram aplicadas aos quatro grupos de respondentes, havendo a exclusão de uma pergunta para o grupo de pessoas que pretendem incubar, pois sopesou-se que não saberiam avaliar o processo de incubação por não terem participado. O terceiro e último bloco abordou oito perguntas de caráter sociodemográfico para caracterizar os respondentes, mas sem buscar obter informações financeiras-contábeis.

Para as entrevistas foi necessário agendamento prévio com os respondentes, e aconteceram presencialmente no Armazém (quatro) e de forma *online* (quatro), com duração de, no máximo, 20 minutos. As entrevistas foram gravadas e posteriormente transcritas na íntegra, considerando os desvios ocorridos à língua portuguesa para melhor apuração das respostas. O processo de coleta de dados primários ocorreu durante o mês de junho de 2019.

Para salvaguardar o anonimato, os oito respondentes das entrevistas foram agrupados e nomeados de E1, ..., E8. As entrevistas totalizam oito páginas de transcrições e sua análise foi realizada utilizando a técnica de análise de conteúdo, dividido em duas etapas de análise, conforme sequência de Silverman (2009).

## III. RESULTADOS

Primeiramente traz-se a caracterização dos entrevistados e do Armazém; em sequência analisa-se a percepção dos usuários sobre o modelo de incubação do Armazém. Dos oito respondentes, apenas duas são do sexo feminino e ambas não são da equipe do Armazém. Os entrevistados possuem entre 19 e 41 anos, e dos respondentes das *startups* três possuem ensino médio completo e três ensino superior completo, apresentando diversidade nas áreas de atuação das empresas. Um ponto a ser destacado é que as empresas analisadas apresentam pouco tempo de atuação, com média de dois anos e máximo de quatro de atividade, o que significa que são empresas jovens. A quantidade de funcionários por *startup* é diversificada, a saber: 1, 3, 4, 7, 10 e 12 pessoas por empresa.

De acordo com a chamada de novos negócios do Armazém, os projetos selecionados para o programa de incubação deveriam ser de TIC e EC, nas seguintes áreas: (i) desenvolvimento de *software*; (ii) desenvolvimento de *games* e artefatos de animação; (iii) *design* de produto, *toy art*, gráfico e de moda; e (iv) editorial de moda (PORTO DIGITAL, 2018). Entre as *startups* percebe-se que se enquadram nas especificações, pois trabalham com aplicativos de informações médicas e de negociação entre atacadistas e lojistas, e estúdio de criação de editoriais de *design* de moda. Portanto, as *startups* estão atuando dentro do que o Armazém pretende, ou seja, nas áreas de TIC e EC.

O Armazém é uma organização social sem fins lucrativos que visa fomentar o empreendedorismo e está em atividade desde 2015. O Armazém foi inaugurado no dia 16 de outubro de 2015 em Caruaru e conta com resultados

expressivos em cinco anos de atividade, como: (i) 158 eventos com 8.796 participantes; (ii) 169 cursos realizados com 2.875 participantes; (iii) 31 empresas instaladas nas salas privativas disponíveis; (iv) atendimento de 138 empresas como usuárias recorrentes de equipamentos e espaços; (v) 2.195 usos de equipamentos como câmeras, impressoras etc.; e (vi) 310 usuários inscritos no espaço de *coworking*.

O Armazém apresenta uma estrutura organizacional enxuta, com quatro funcionários e três estagiários, e o gerente estratégico do Armazém é subordinado diretamente ao controle do Porto Digital. As demais funções necessárias ao funcionamento do Armazém - como manutenção de equipamentos, limpeza, segurança e recepção - são terceirizadas. Essas pessoas terceirizadas interagem com as *startups* incubadas, seja para auxiliarem com agendamentos, seja para fornecerem suporte na utilização de algum equipamento disponível no espaço.

Conforme descrito em seu modelo conceitual, a escolha da cidade sede do projeto de interiorização pressupõe um conjunto de fatores locais que, analisados individualmente e ponderados em seu conjunto, mais pontuam e se aproximam das características apropriadas para este tipo de empreendimento. É o caso de Caruaru, município que possui uma sólida base de ensino superior, uma dinâmica produtiva na área de moda e confecção com relevância nacional e estruturas públicas maduras (GOVERNO DO ESTADO DE PERNAMBUCO, 2014). Outro fator importante utilizado na escolha foi a localização geográfica estratégica de Caruaru na região do Agreste pernambucano, próxima de cidades importantes para o Produto Interno Bruto de Pernambuco, como Santa Cruz do Capibaribe e Toritama.

O modelo de gestão e operação do Armazém é de responsabilidade do Porto Digital, e suas áreas de atuação são análogas ao modelo por lá trabalhado, com foco em TIC e EC, sendo abordados segmentos como *design*, moda, *games*, fotografia, música, cine-vídeo e animação. Importante ainda ressaltar que as *startups* incubadas no Armazém podem utilizar os espaços e equipamentos disponíveis no Porto Digital em Recife. Essa ação tem o intuito de integrar as *startups* de Caruaru com as de Recife e promover o *networking* entre as empresas.

Buscando identificar o processo empreendedor e tomando-se que empreendedorismo é a habilidade de se iniciar um negócio com o mínimo de recursos disponíveis (BARRETO, 1998), constatou-se entre os oito entrevistados esse ponto de vista, conforme alguns destaques a seguir:

“[...] depende do modelo de negócio, mas vale mais a ideia e criatividade para colocar em prática” (E1).

“Não acho que sejam necessários muitos recursos para iniciar um negócio, porém é preciso muita atenção, conhecendo o negócio, o seu público etc.” (E5).

“Não de jeito nenhum eu acho que só um recurso que se precisa ter é tempo, que é um recurso caro, é preciso haver dedicação” (E7).

Para Pilleggi (2008), o sucesso do empreendedor é definido por características como iniciativa, perseverança, coragem, capacidade de planejamento, eficiência, contatos e liderança. Além destas, os entrevistados apontaram:

“Determinação, resiliência e criatividade. Esses três fatores juntos você pode ter uma junção para ter êxito” (E1).

“Foco, persistência e pensamento analítico” (E4).

“Resiliência, definição de metas, acompanhamento sistemático da empresa” (E7).

Essas características coadunam com a cultura de inovação que pleiteam Nogueira, Novais, Sá e Silva (2019). Para esses autores, o sucesso dos empreendedores advém do desenvolvimento dessas características que formam uma cultura de inovação (NOGUEIRA *et al.*, 2019).

Houve similaridade entre as respostas dos entrevistados, com características parecidas com as destacadas na literatura e também a adição de outras, como determinação. Partindo do pressuposto que uma incubadora é um local promissor para se gerar inovação (MANJAMA *et al.*, 2019), questionou-se a importância do Armazém para inovação dos negócios locais e região, obtendo-se respaldo positivo nas respostas em relação a este impacto, destacando-se:

“Inovação se faz por meio de conexões entre pessoas, no Armazém você consegue isso” (E2).

“Sim, [o Armazém é] uma vitrine e permite reunir muitos empreendedores de diversas áreas” (E4).

“O Armazém desperta através dos seus programas, de suas mentoria através de tudo que ele oferece ao empreendedor. Isso desperta uma busca por inovação e qualificação e fomento real da economia” (E5).

A concordância dos entrevistados é positiva ao processo de incubação do Armazém, principalmente pelo fato de que o espaço é fruto de uma política pública. Foi analisada também se os entrevistados sentiam a ausência de algum serviço na incubadora do Armazém; o objetivo foi determinar o modo de operação da incubadora motivando sua forma de organização e atuação, conforme preconiza Aranha (2003). Entre os *feedbacks* dos entrevistados, ressalta-se:

“O processo poderia considerar o perfil e momento de vida do empreendedor. Fazemos isso de uma maneira intuitiva. Ele poderia ser mais curto e mais intenso, e também mais integrado com os outros ambientes” (E2).

“Senti falta de pessoas na área de moda para troca de experiência” (E8).

Para saber se o Armazém atua como um facilitador para captação de recursos financeiros, já que a ANPROTEC (2012) ressalta que durante o processo de incubação é dado apoio tecnológico, financeiro, mercadológico, de captação de recursos, dentre outros. Entre os entrevistados, duas pessoas não sentiram esse suporte por parte do Armazém, e as demais disseram que a incubadora auxiliava por meio de exibição da empresa e pelo *networking* promovido dentro do espaço.

Nessa mesma linha foi questionado se o Armazém atua como facilitador de contratos entre as *startups* com outras empresas. A resposta obtida, novamente, advinda de apenas duas pessoas que informaram que não fecharam contratos; os demais entrevistados conseguiram e ressaltaram que o *networking* no espaço contribuiu para isso. Esse achado reforça o material das propagandas do espaço (ARMAZÉM DA CRIATIVIDADE, 2017). Ressalta-se que o programa de incubação do Armazém não objetiva fornecer recursos financeiros (ARMAZÉM DA CRIATIVIDADE, 2017), mas o *networking* do espaço oportuniza essa possibilidade.

Sobre o cenário de inovação local, incubadoras possuem papel importante, pois oferecem espaços e infraestrutura, promovem e facilitam o surgimento e o fortalecimento de empresas inovadoras (MCTIC, 2017). Dessa forma,

questionou-se aos entrevistados sua visão sobre esse papel, e se sobressai a importância que atribuem ao Armazém:

“Sim, pela conexão entre problemas, pessoas, universidades, mercado e governo” (E2).

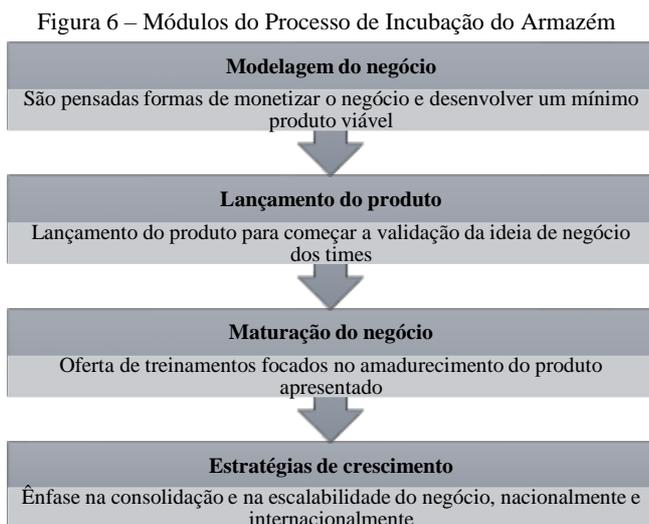
“Sim, pois os empresários eram muito fechados para inovação, e achavam que era algo muito complexo. O Armazém mostra o contrário por meio de seus programas” (E3).

“Sim, pois o espaço encanta e atrai pessoas, criando assim *networking*” (E4).

Houve unanimidade nas respostas de que o Armazém desempenha papel importante para o fomento de inovação da região. Nesse sentido, retoma-se Korocoski *et al.* (2019) que destacam que esses mecanismos de fomento à inovação alavancam o desenvolvimento de novas tecnologias e, por consequência, o crescimento regional. Outro destaque é a conexão entre academia, governo e mercado, que foi também destacada como disseminadora de inovação, principalmente pelos entrevistados que trabalham na incubadora.

Por fim, buscou-se entender e discutir a metodologia do programa de incubação do Armazém, cujo foco reside na área de empresas de base tecnológica. O modelo de incubação do Armazém pode ser classificado como *Eggubator* (ARANHA, 2003), pois oferece uma gama de serviços, parcerias com entidades do governo, academia e mercado, além de uma instalação física com suporte de diversos maquinários (PORTO DIGITAL, 2018).

O processo de incubação do Armazém está dividido em quatro módulos de três meses cada, a saber: modelagem do negócio, lançamento do produto, maturação do negócio e estratégias de crescimento (Figura 6):



Fonte: Elaborado a partir de Armazém da Criatividade (2019).

Um item interessante abordado pelos entrevistados do Armazém é a sugestão de redução do tempo do processo, respaldado também pelos documentos analisados: o processo hoje tem uma duração de um ano (PORTO DIGITAL, 2018). Nesse sentido, importante ressaltar que a literatura indica um período maior de incubação com vistas a tornar as empresas mais bem-sucedidas e com menos riscos de insucesso ao saírem dele (BIZZOTTO, 2003; DORNELAS, 2002).

A ANPROTEC (2012) observa que durante o processo de incubação devem ser oferecidas atividades (palestras, encontros, seminários, *workshops*, cursos). Verificou-se que

durante o processo de incubação do Armazém os participantes recebem mentoria, assessorias, consultorias, treinamentos, apoio a participação em eventos nacionais e internacionais, acesso à infraestrutura da incubadora, conexões relevantes e presença em um ambiente de inovação (PORTO DIGITAL, 2018). Ao serem perguntados sobre o suporte fornecido aos gestores, ressaltaram-se as ações:

“Através de treinamentos, mentorias etc.” (E1).

“[...] existe acompanhamento quinzenal de mentores e de consultoria na área de gestão, jurídica e contábil e apoio na área de *marketing* e tecnologia” (E2).

“Há um acompanhamento semanal e por vezes diário, mas os gestores das *startups* precisam demandar a necessidade” (E6).

No processo de incubação são ofertados subsídios aos empreendedores para que suas características empreendedoras sejam potencializadas (ANPROTEC, 2012). Com isso em vista, questionou-se quais características empreendedoras foram desenvolvidas durante o processo de incubação no Armazém:

“Gestão, controle de processos e inovação” (E1).

“Entender melhor o seu negócio e também o foco no seu negócio” (E3).

“Postura, conduta e desenvolvimento de uma visão de negócios” (E6).

Observa-se nas respostas que a formação recebida pelo Armazém não é restrita a *startup* incubada e se estende aos empreendedores que participam do processo. Ou seja, o conhecimento adquirido por meio do processo de incubação do Armazém é aplicável a demais negócios que, porventura, esses empreendedores venham a ter. Outro ponto auferido foi que as incubadoras devem disponibilizar aos empreendedores apoio tecnológico, financeiro, mercadológico, de captação de recursos, dentre outros (ANPROTEC, 2012). Questionou-se o que é oferecido aos gestores pelo Armazém durante o processo de incubação e destacaram-se os seguintes:

“Mais de 300 horas de consultoria na área de gestão, jurídica e contábil. Acesso 24 horas, laboratórios disponíveis, acompanhamento diário e integração com os outros serviços como o *coworking*, empresarial que podem gerar novos negócios e novos produtos” (E2).

“Oferece treinamentos, consultorias, mentorias, palestras e estrutura do Armazém” (E3).

“Laboratórios gratuitos, mentorias, consultorias, treinamentos e acompanhamento” (E8).

Retomando os fatores críticos estabelecidos para o sucesso de um processo de incubação (WIGGINS; GIBSON, 2003), buscou-se apreender a percepção dos entrevistados, tendo sido ressaltado:

“Presença no processo do início ao fim e aproveitar o *networking* e espaço disponível” (E3).

“O tempo de dedicação ao negócio e as equipes com mais garra” (E7).

O importante destaque a ser dado nessas respostas é que a literatura consultada indica mais foco no processo de incubação como fator crítico de sucesso, entretanto, os

entrevistados ressaltaram a motivação pessoal dos indivíduos que participam do processo como o maior fator crítico ao sucesso do processo de incubação.

#### IV. CONCLUSÃO

A partir do estudo pode ser concluído que o papel do Armazém para a inovação local de Caruaru vem sendo cumprido, tomando-se oito visões diferentes sobre o assunto. Buscando atingir ao objetivo estabelecido na pesquisa, verificou-se que os entrevistados concordaram que não é necessário ter muitos recursos para iniciar um negócio, o que corrobora o que está disponível na literatura. Sobre os fatores de sucesso do empreendedor, novamente houve concordância com a literatura e adição de algumas características por meio dos entrevistados.

Sobre a importância do Armazém para o fomento e a manutenção da inovação local e da região, os entrevistados concordaram que a incubadora desempenha esse papel por meio de conexão entre academia, governo e mercado, e também pelos programas oferecidos pelo espaço, que fortalecem a área de EC e TIC da região. No delineamento das *startups*, conseguiu-se comprovar a concordância com o perfil que é requerido no edital do Armazém (PORTO DIGITAL, 2018), que sejam *startups* na área de TIC e EC.

Partindo à análise da incubadora do Armazém, observou-se pontos passíveis de aprimoramentos. Nesse sentido, os entrevistados enfatizaram a ausência de conteúdo na área de *marketing* e vendas, e demandaram maior visibilidade dos incubados durante o processo. Um ponto de destaque foi a sugestão de um modelo de incubação por parte do Armazém com menos tempo, o que vai contra o indicado pela literatura (BIZZOTTO, 2003).

Outro resultado que também vai contra ao que a literatura sugere foi a ênfase de que a incubação poderia estar mais voltada à formação para os empreendedores e não para a *startup*. Em contraponto, os entrevistados avaliaram positivamente a oferta de serviços e apoio durante o processo de incubação disponibilizado pelo Armazém, alinhando-se ao que a literatura aponta como relevante e enriquecedor para uma *startup*.

Em suma, avalia-se que as informações trazidas nesse estudo se fazem importantes, pois apresenta uma iniciativa pública relevante ao desenvolvimento de inovação em Caruaru, além de esclarecimentos sobre a metodologia empregada no processo de incubação do Armazém. Para sugestão de continuidade de pesquisa indica-se a elaboração de um estudo com as *startups* que passaram pelo processo de incubação do Armazém e continuam suas atividades de forma autônoma.

Acredita-se que essa análise pode ser importante para o entendimento dos fatores que levaram à sua continuidade e assim ser possível traçar um paralelo e um novo pressuposto de temporalidade entre o modelo adotado pelo Armazém e das demais incubadoras. Finaliza-se que o processo de incubação do Armazém se apoia em uma sólida base conceitual que vem, paulatinamente, produzindo resultados importantes no que se refere ao desenvolvimento de inovação tanto para as empresas incubadas quanto para o desenvolvimento de uma região periférica como Caruaru e entorno.

#### V. REFERÊNCIAS

- ANDINO, B. **Impacto de incubação de empresas:** capacidades de empresas pós-incubadas e empresas não-incubadas. 2005. 215p. Dissertação (Administração) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- ARANHA, J. **Modelos de incubadoras.** Rio de Janeiro: Instituto Gênese para Inovação e Ação Empreendedora-Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2003.
- ARMAZÉM DA CRIATIVIDADE. **Página institucional.** 2018. Disponível em: <http://www.armazemdacriatividade.org/#caruaru>. Acesso em: 02 nov. 2018.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE ENTIDADES PROMOTORAS DE EMPREENDIMENTOS INOVADORES. **Estudo, análise e proposições sobre as incubadoras de empresas no Brasil - Relatório Técnico.** Brasília: ANPROTEC, 2012.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE ENTIDADES PROMOTORAS DE EMPREENDIMENTOS INOVADORES. **Vencedores do Prêmio Nacional.** 2015. Disponível em: <http://anprotec.org.br/site/premio-nacional/vencedores-do-premio-nacional/>. Acesso em: 05 nov. 2018.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE ENTIDADES PROMOTORAS DE EMPREENDIMENTOS INOVADORES. **Estudo de impacto econômico:** segmento de incubadora de empresas do Brasil. 2016. Disponível em: [http://www.anprotec.org.br/Relata/18072016%20Estudo\\_A\\_NPROTEC\\_v6.pdf](http://www.anprotec.org.br/Relata/18072016%20Estudo_A_NPROTEC_v6.pdf). Acesso em: 12 dez. 2018.
- BARBOSA JÚNIOR, M. A. E. *et al.* O impacto da implementação da ferramenta Power Bi no atual cenário corporativo de Pernambuco. **Revista Sodebras [on line]**, v. 15, n. 169, p. 48-52, 2020. DOI: <https://doi.org/10.29367/issn.1809-3957.15.2020.169.48>.
- BARRETO, L. P. **Educação para o empreendedorismo.** Salvador: Escola de Administração de Empresa da Universidade Católica de Salvador, 1998.
- BIZZOTTO, C. E. N. **O processo de incubação.** Brasília: InfoDev Incubator Support Center (iDISC), 2003.
- CURADO, M.; CURADO, T. Ambiente de negócios e crescimento econômico brasileiro. In: Encontro Nacional de Economia, 45, 2017, Natal. **Anais...** Natal: ANPEC, 2017.
- DORNELAS, J. C. A. **Planejando incubadoras de empresas:** como desenvolver um plano de negócios para incubadoras. Rio de Janeiro: Campus, 2002.
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- GITAHY, Y. **O que é uma startup?** 2016. Exame.com. Disponível em: <https://exame.abril.com.br/pme/o-que-e-uma-startup/>. Acesso em: 05 nov. 2018.
- GOVERNO DO ESTADO DE PERNAMBUCO. **Programa de interiorização dos Armazéns da Criatividade.** Recife: Governo do Estado de Pernambuco, 2014.
- KOROCOSKI, V. S. *et al.* Requisitos mínimos para a criação de centros de inovação, definindo objetivos e área de

abrangência. **Revista Sodebras [on line]**, v. 14, n. 159, p. 27-30, 2019. DOI: <https://doi.org/10.29367/issn.1809-3957.14.2019.159.27>.

KOTOVA, M. V. The theoretical and methodological basis of startups valuation. **Економіка: реалії часу**, v. 11, n. 1, p. 107-112, 2014.

LALKAKA, R.; BISHOP, J. **Business incubator in economic development: an initial assessment in industrializing countries**. Nova York: United Nations Programme, 1996.

MANJAMA, M. P. *et al.* A evolução de incubadoras no estado do Paraná: uma vertente ao empreendedorismo inovador. **Revista Sodebras [on line]**, v. 14, n. 159, p. 14-16, 2019. DOI: <https://doi.org/10.29367/issn.1809-3957.14.2019.159.14>.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES. **Incubadoras de empresas**. 2019. Disponível em: [http://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/tecnologia/SETEC/paginas/ambientes\\_inovadores/\\_empresas/Incubadoras\\_de\\_Empresas.html](http://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/tecnologia/SETEC/paginas/ambientes_inovadores/_empresas/Incubadoras_de_Empresas.html). Acesso em: 25 abr. 2019.

NATIONAL BUSINESS INCUBATION ASSOCIATION. **What is business incubation?**. Disponível em: <http://www.nbia.org>. Acesso em: 02 nov. 2018.

NOGUEIRA *et al.* Análise do Programa Agentes Locais de Inovação no processo de inovação das micro e pequenas empresas do setor de comércio varejista do estado de Pernambuco. **Cadernos de Prospecção**, v. 12, p. 273-283, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.9771/cp.v12n2p273>.

PILLEGGI, M. V. **As principais características de um empreendedor de sucesso**. Pequenas Empresas e Grandes Negócios. Disponível em: <http://revistapegn.globo.com/Revista/Common/0,,EMI115383-17189,00-AS+PRINCIPAIS+CARACTERISTICAS+DE+UM+EMPREENDEDOR+DE+SUCESO.html>. Acesso em: 02 jun. 2019.

PORTO DIGITAL. **Site institucional**. 2018. Disponível em: <http://www.portodigital.org/parque/o-que-e-o-porto-digital>. Acesso em: 02 nov. 2018.

PORTO DIGITAL. **Iniciativa privada, governo e universidades**. 2019. Disponível em: <http://www.portodigital.org/parque/o-que-e-o-porto-digital/iniciativa-privada-governo-e-universidades>. Acesso em: 25 fev. 2019.

RIES, E. **A startup enxuta**. São Paulo: Lua de Papel, 2012.

SILVERMAN, D. **Interpretação de dados qualitativos: métodos para análise de entrevistas, textos e interações**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

SOUSA, D. C. *et al.* Parques tecnológicos e incubadoras: uma análise do processo de pré-incubação de empresas de base tecnológica. **Interciência**, Caracas, v. 42, n. 5, p. 313-319, 2017.

VAREJÃO, H. **Um novo modelo de incubação: a importância da cooperação universidade-incubadora: caso da IEBT**. 2013. 91f. Dissertação (Engenharia) - Universidade do Porto, Porto, 2013.

WIGGINS, J.; GIBSON, D. V. Overview of US incubators and the case of the Austin Technology Incubator. **Entrepreneurship and Innovation Management**, Austin, v. 3, n. ½, p. 56-66, 2003.

ZANELLA, L. C. H. **Metodologia da pesquisa**. 2. ed. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

## VI. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.



## **SUSTAINABILITY AND PETROLEUM INDUSTRY IN NORTH FLUMINENSE**

## **SUSTENTABILIDADE E INDÚSTRIA PETROLÍFERA NO NORTE FLUMINENSE**

PAULO JONAS DOS SANTOS JÚNIOR<sup>1</sup>; SILVANA DUARTE GONÇALVES DOS SANTOS<sup>2</sup>;  
TEÓFILO MIGUEL DE SOUZA<sup>1</sup>

1 – UNESP; 2 – SEEDUC-RJ

*paulojsjunior@hotmail.com; silvanadgsantos@hotmail.com; teofilo\_miguel@yahoo.com.br*

**Abstract** - *This study proposes to analyze the oil industry installed in the Northern region of the State of Rio de Janeiro and how it deals with issues related to the theme of sustainability and the environment. It should be noted that the aforementioned region has been marked by the presence of Petrobras, especially in the Municipality of Macaé, where the company's operational base is located. For our analysis, we raised studies that discuss the theme of sustainability in the North of Rio de Janeiro, especially those related to Petrobras and the Municipality of Macaé. Throughout the text, issues related to the geography of the region and the working model of the offshore industry were exposed in order to obtain a better understanding of the subject. Finally, it was possible to observe that although there is a differentiated profit generated by the oil industry in the Northern region of the State of Rio de Janeiro, investments in sustainability are still scarce.*

**Keywords:** *Sustainability. Environment. Norte Fluminense. Regional Development. Petrobras.*

**Resumo** – *O presente estudo propõe analisar a indústria petrolífera instalada na região Norte do Estado do Rio de Janeiro e como essa lida com questões relacionadas com a temática da sustentabilidade e do meio ambiente. Cabe ressaltar que a citada região tem sido marcada pela presença da Petrobras, em especial no Município de Macaé, local da instalação da base operacional dessa empresa. Para esta análise foram levantados estudos que discutem a temática da sustentabilidade no Norte Fluminense, em especial aqueles ligados à Petrobras e ao Município de Macaé. Ao longo do texto, questões ligadas à geografia da região e ao modelo de trabalho da indústria offshore foram expostos com objetivo de se obter uma melhor compreensão acerca do assunto. Por fim, foi possível observar que apesar de haver um diferenciado lucro gerado pela indústria do petróleo na região Norte do Estado do Rio de Janeiro, os investimentos em sustentabilidade ainda são escassos.*

**Palavras-chave:** *Sustentabilidade. Meio Ambiente. Norte Fluminense. Desenvolvimento Regional. Petrobras.*

### **I. INTRODUCTION**

The study of man and his occupation in the urban space is a multidisciplinary competence that is increasingly attracting researchers from the most diverse areas of knowledge. This process of stimulating research on the human and its social relations can help in the understanding of more sustainable methods and forms. Thus, this study proposes to investigate how the oil industry, so present in

the North Fluminense region, has dealt with issues related to sustainability.

The northern region of the state of Rio de Janeiro is one of the main oil production areas in Brazil. Among the municipalities in the region, the most important are Campos dos Goytacazes and Macaé, regional centers. The former stands out for giving its name to the oil basin and receiving oil extraction platforms in its territorial limits, and the latter received the operational base of Petrobras.

Authors linked to the topic under discussion, as in the case of Silva (2008), Monié (2003) and Piquet (2011) were used, since it is necessary to contextualize the dimensions of issues related to oil and sustainability. It is noteworthy that despite offering great financial attractions, the oil industry can cause irreparable damage to ocean flora and fauna, which can reflect on the health of the population in the municipalities of the state of Rio de Janeiro.

Thus, it is necessary to study how the environment and sustainability have been treated in the Northern Fluminense region. The character of this research is a bibliographic review, based on specialized studies that discuss the subject.

### **II. RESULTS AND DISCUSSION**

The Northern region of Rio de Janeiro groups seven municipalities, which are: Campos dos Goytacazes, Cardoso Moreira, Carapebus, Conceição de Macabu, Macaé, São Fidélis, São Francisco do Itabapoana, São João da Barra and Quissamã; subdivided into two regional hubs, Campos dos Goytacazes and Macaé. Naturally, the regional economic hubs end up attracting a greater migratory flow of people, which may come from the State of Rio de Janeiro itself, or not. According to the Center for Statistics, Research and Training of Public Servants in Rio de Janeiro, the North Fluminense region has the municipalities of Campos dos Goytacazes and Macaé as highlights. The Municipality of Campos dos Goytacazes, with about 484 thousand inhabitants, stands out as an integrating pole of the North with the Northwest Fluminense. The main industrial establishments in the Region are concentrated in the municipality, such as food products, chemistry, processing of non-metallic mineral products and mechanics. Macaé, in turn, stands out as a regional hub, mainly for hosting activities related to the extraction of natural gas and oil from the Campos Basin. Macaé is also among the municipalities

in the state of Rio de Janeiro that has received one of the largest number of migrants in recent years (CEPERJ, 2016).

In the case of the Norte Fluminense region, the main attraction is on account of Petrobras, since many workers are looking for a dreamed placement in the oil industry. Despite the attractiveness of offshore work, it should be noted that medium-sized cities in Brazil, in general, have attracted a large number of people.

“A urbanização crescente da população brasileira vem sendo evidenciada cada vez mais pela dinâmica demográfica nas últimas décadas, revelando também aspectos potenciais da rede de cidades, como processo social, e da rede de comunicação e de lugares, como elemento de articulação espacial. As cidades médias também vêm apresentando considerável crescimento. Isso certamente altera os fluxos de pessoas, que já deixaram de ser essencialmente rural-urbano para serem urbano-urbano; e já vêm sendo substituídos de fluxos de longa distância para fluxos intra-estaduais que apresentam uma variedade de movimentos (SILVA, 2008, p. 2).”

In this basin, one of the largest oil complexes in the world was created and represents the main sedimentary area explored in Brazil. Today, the Campos Basin stands out for housing approximately 80% of the total oil reserves in Brazil, distributed over a set of 29 Brazilian sedimentary basins (MONIÉ, 2003).

Its contribution to the development of the country's economy is great and, even, it impels several interconnected sectors to develop technologies to face the novelties and challenges that until then had not been produced, which arise due to the need for exploration on the continental shelf in deep waters and deep with the country's most recent discovery, pre-salt reserves.

“Ao longo desse período de intensa atividade exploratória, a Petrobras descobriu petróleo e gás natural numa imensa jazida situada sob espessa camada de sal, a até 5.000 metros abaixo do leito do mar, distante 180 km da costa, em águas ultraprofundas. Com base em novos levantamentos geológicos e em resultados obtidos através da perfuração de vários poços exploratórios, delimitou-se uma vasta área offshore – batizada de pré-sal – em que se entende ao longo de 800 km por até 200 km de largura, entre os estados do Espírito Santo e de Santa Catarina, e engloba as bacias sedimentares do Espírito Santo, Campos e Santos (RAPPEL, 2011, p. 41).”

In this perspective, however, it can be pointed out that migratory flow moves people without professional qualification, but also displaces qualified labor. Studies show that medium-sized cities have been the target of young and well-educated professionals, which, in a way, generates a certain imbalance in the region, since migration ends up removing a number of qualified people from some municipalities. When discussing the subject, it can be emphasized that:

“A migração pode implicar na transferência dos elementos mais produtivos (os jovens, os fisicamente vigorosos, os mais educados ou treinados, os mais criativos, etc.), se assim for, então as áreas que enviam esses elementos estão sendo destituídas de importantes recursos humanos,

e as que recebem são presenteadas com esse novo potencial. No caso em questão, esses movimentos geralmente são apontados como fatores de desequilíbrio entre as regiões de origem e destino (SILVA, 2008, p. 2).”

However, in addition to the traditional concept of migration, the new social interactions have brought a different spatial dynamic to the urban scenario, where the individual no longer modifies the address of his residence to another municipality, but continues to maintain his residence in the municipality of origin and moves to another city just to work. In this context, it should be noted that:

“Portanto, além da migração que implica mudança de residência, é possível destacar também a questão do deslocamento temporário, ou seja, aquele que ocorre para fins de trabalho ou estudo com retorno ao município de origem, o que chamamos de mobilidade ou deslocamento pendular, que está geralmente ligado à expansão de uma determinada região que exerce uma influência em termos de centralidade, em boa parte das vezes, do mercado de trabalho (SILVA, 2008, p. 3).”

In the meantime, it is also noted that Macaé has stood out, since as the operational headquarters of Petrobras, it ends up attracting the inhabitants of neighboring municipalities. In this matter, it cannot be shown that:

“Em estudo anterior observamos que, mesmo não sendo uma região metropolitana, o deslocamento populacional tem sido frequente na região, onde especialmente o Município de Macaé tem gerado uma dinâmica na área do trabalho e emprego em decorrência da indústria petrolífera. Esta dinâmica tem acarretado de diversas formas uma transferência de pessoas para trabalhar na cidade – boa parte delas do Município de Campos dos Goytacazes, sendo também de várias partes do Brasil e até do exterior – gerando também considerável população transitória na cidade e na região (SILVA, 2008, p. 3).”

However, in view of all the benefits that oil extraction provides to the region, investments in the environment and sustainable development have been precarious. In this case, there are environmental issues that need to be observed, since if these are not considered, they can generate serious problems for the local population. Several studies and studies have been carried out on the importance of the oil industry in the North Fluminense region, and thus we can see that oil has brought to the Region a rapid growth, both financial and demographic, which may cause imbalance in the Environment.

In this case, it is important to initially bring up the topic of oil extraction, which in itself already poses a risk to the environment. Machado and Vilani (2015) describe a series of risks related to the oil sector, consequences such as loss of biodiversity, early depletion of reserves, increase in greenhouse gas emissions, can mean a great risk to the environment, in addition to opening doors for social and public health issues, such as the end of tourism and the acquisition of diseases.

Once the oil industry was installed, the restructuring of the city was also started. According to Monié (2003), oil extraction in the region represented a transformation in the historical-cultural formation of the regional productive

model. The phenomenon known as “Productivity Islands”, according to the same author, occurred in the Campos Basin, in Algeria and Mexico, represented by the change in the severity of the regional economy. The agglomerations of the urban network are determined to shelter in a central position the commercial functions and central services for the development of oil activities (MONIÉ, 2003).

The royalties and special participations paid by Petrobras serve to compensate for the damage caused by the use of natural resources and the transformation that occurred in the territory with the arrival of the industry and several companies. Thus, the Federal Constitution, in its article 20, paragraph 1, provides:

“É assegurada, nos termos da lei, aos Estados, ao Distrito Federal e aos Municípios, bem como a órgãos da administração direta da União, participação no resultado da exploração de petróleo ou gás natural, de recursos hídricos para fins de geração de energia elétrica e de outros recursos minerais no respectivo território, plataforma continental, mar territorial ou zona econômica exclusiva, ou compensação financeira por essa exploração (CONSTITUIÇÃO FEDERAL, 1988).”

In the same context, the special participation constitutes extraordinary financial compensation owed by the concessionaires for oil production activities. According to the ANP Ordinance No. 10, of 1/13/99 published in the Official Gazette of 1/14/99, it can be concluded that:

“A participação especial constitui compensação financeira extraordinária devida trimestralmente pelos concessionários das atividades de produção de petróleo, gás natural ou ambos, com relação a cada campo, nos casos de grande volume de produção ou de grande rentabilidade, conforme os critérios estabelecidos no art. 22 do Decreto n.º 2.705, de 1998.”

According to Serra (2011), oil rents generate “islands” of wealthy prefectures across the country, in which coronelista practices are still in force. To maintain universities, hospitals, associations and others, the dependence on royalties is such that, according to the author, it would be practically impossible to return financial autonomy for them. Royalties when distributed with a Municipality, can transform it into an electoral stronghold, which can be configured, according to the same author, as a privatization of a public fund.

Royalties can be used to generate alternatives to the extraction of oil and natural gas, knowing that these resources are finite, that is, at some point they may cease to function, even due to a change in the international scenario, whose global energy sector is undergoing a transition, which calls for the use of renewable energy resources and which can restrict the consumption of non-renewable fuels. However, Piquet (2011), when analyzing the beginning of oil exploration in the Campos Basin, concluded that there was no concern in preserving the environment, or in minimizing the socio-environmental impacts that oil extraction could cause in the region. When analyzing the topic under discussion, the author also reinforces that:

“Quando do início da exploração de petróleo na Bacia de Campos, não houve, da Petrobras, preocupação em minimizar os impactos que poderiam ser causados localmente, e sua atuação

seguiu o padrão das demais empresas brasileiras de grande porte da década de 1970. Em Macaé, então um pequeno município de base agropecuária, a chegada de trabalhadores e suas famílias, assim como daqueles que se deslocam em busca de alguma oportunidade de serviço, acarretou uma ocupação urbana desordenada e uma sobrecarga nos parques equipamentos de consumo coletivo existentes. Deu-se uma ocupação predatória do litoral não só pelas empresas ligadas ao petróleo como também por novos loteamentos para moradias (PIQUET, 2011, p. 13).”

In this way, we can observe that the financial issues were put in first place, and those responsible for the oil industry in the Northern Fluminense Region were not concerned, at first, with regional sustainability.

### III. CONCLUSION

This article sought to reflect on the socioenvironmental issues that involve the extraction of oil, especially in the Northern Fluminense region. As noted throughout the text, it was possible to notice that the history of the Northern Region of Rio de Janeiro is of importance in the country's economic scenario and that which was characterized by strong sugar and alcohol production, stands out today for the Oil Industry.

Throughout the article, we also observed that the Northern Fluminense Region is the target of a considerable migratory flow, mainly for the municipalities of Campos dos Goytacazes and Macaé, which receive several people who arrive in the Region in search of better salaries.

Finally, we observed that, when the oil sector was implanted in the Northern Fluminense Region, the necessary precautions were taken to preserve nature and society, thus, without such care, the oil extraction industry could cause immeasurable harm to the region.

### IV. REFERENCES

- ANP. **Portaria n. 10, de 13 de Janeiro de 1999**. Dispõe sobre os critérios para a apuração da participação especial.
- BRASIL. **Constituição (1988)**. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.
- CEPERJ. **O Norte Fluminense**. 2016. Disponível em: <http://www.ceperj.rj.gov.br/>. Acesso em: 01 abr. 2021.
- MACHADO, Carlos José Saldanha; VILANI, Rodrigo Machado. **Governança climática no Antropoceno: da rudeza dos fatos à esperança no Brasil**. Rio de Janeiro: E-papers, 2015.
- MONIÉ, Frederic. **Petróleo, industrialização e organização do espaço regional**. In: PIQUET, R. (org.) *Petróleo, Royalties e Região*. Rio de Janeiro: Garamond, 2003.
- PIQUET, Rosélia. **Impactos da Indústria do Petróleo no Norte Fluminense**. Campos dos Goytacazes. 2011.
- RAPPEL, Eduardo. A exploração econômica do pré-sal e os impactos sobre a indústria brasileira de petróleo. In: PIQUET, Rosélia (org). **Mar de riqueza, Terras de Contrastes: o petróleo no Brasil**. Rio de Janeiro: Mauad X/Faperj, 2011.

SERRA, Rodrigo Valente. O sequestro das rendas petrolíferas pelo poder local: a gênese das quase sortudas regiões produtoras. Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais, [S.L.], v. 9, n. 1, p. 101, 31 maio 2007. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais (RBEUR)**. <http://dx.doi.org/10.22296/2317-1529.2007v9n1p101>.

SILVA, Érica Tavares da. **Desenvolvimento Regional e Movimento Pendular: Questões Recentes no Norte Fluminense**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 16., 2008, Caxambu. Anais do XVI EBEP. Caxambu: [s.i.], 2008. p. 1 - 20.

#### V. ACKNOWLEDGMENT

The authors acknowledge the National Agricultural Technological Institute (ITANACIONAL) and UNALAR for encouraging the production of this study.

#### VI. COPYRIGHT

The authors are the only ones responsible for the material included in this article.

## Área: Ciências Agrárias e Biológicas

---

4-1	<b>SENSITIVITY PROFILE AND FREQUENCY OF OXA-TYPE CARBAPENEMASES AMONG ACINETOBACTER BAUMANNII STRAINS IN TEACHING HOSPITALS OF CEARÁ, BRAZIL</b> Izabelly Linhares Ponte Brito; Ana Jessyca Alves Morais; Vicente De Paulo Teixeira Pinto; Francisco Cesar Barroso Barbosa
-----	---

## **SENSITIVITY PROFILE AND FREQUENCY OF OXA-TYPE CARBAPENEMASES AMONG ACINETOBACTER BAUMANNII STRAINS IN TEACHING HOSPITALS OF CEARÁ, BRAZIL**

IZABELLY LINHARES PONTE BRITO<sup>1</sup>; ANA JESSYCA ALVES MORAIS<sup>2</sup>;  
VICENTE DE PAULO TEIXEIRA PINTO<sup>1,2</sup>; FRANCISCO CESAR BARROSO BARBOSA<sup>1</sup>

1 – PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA SAÚDE/UNIVERSIDADE FEDERAL DO  
CEARÁ (UFC) – CAMPUS SOBRAL; 2 – PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM  
BIOTECNOLOGIA/UFC – CAMPUS SOBRAL

*izabelly.ponte@gmail.com; anajessycamorais@gmail.com; pintovicente@gmail.com;*  
*fcbarbosa@yahoo.com.br*

**Abstract** – Hospital-acquired infections are a leading cause of mortality. *A. baumannii* is resistant multi-drug and commonly associated with nosocomial infections. Therefore, the aim of this study was to investigate the sensitivity profile and frequency of OXA-type carbapenemases among 167 *A. baumannii* nosocomial strains isolated from November 2016 to April 2017 from inpatients in four teaching hospitals of Ceará–Brazil. Microorganisms were identified, and the antimicrobial susceptibility profile established by VITEK®2. Of the total strains analyzed, 132 (79.0%) were resistant to carbapenems and 78 (46.7%) harbored the bla<sub>OXA-23</sub> gene. The results demonstrated high rates of antimicrobial resistance and a high frequency of OXA-23-type carbapenemase, suggesting that colistin and tigecycline could be the antibiotics of choice for the treatment of infections associated with MDR *A. baumannii*.

**Keywords:** *Acinetobacter Baumannii*. Beta-lactamases. Carbapenems. Nosocomial Infection.

### I. INTRODUCTION

*Acinetobacter* is a microorganism genus represented by immobile, catalase positive, oxidase negative, and non-fermenting gram-negative coccobacillus (BALLOUZ *et al.*, 2017). *Acinetobacter baumannii* is an opportunistic pathogen resistant to several antimicrobials and commonly associated with nosocomial infection outbreaks in intensive care units (ICU). In addition to being able to survive in dry environments for a long time, this microorganism is spread in the air, can contaminate the hands of health professionals and be isolated from the skin of colonized patients (RARO *et al.*, 2017).

In the scenario of antimicrobial resistance, carbapenem-resistant *A. baumannii* has been listed by the World Health Organization as the main priority pathogen for urgent new antimicrobial research. In Brazil, *A. baumannii* has emerged as a major nosocomial pathogen, causing infections in ICUs' inpatients with numerous outbreaks, especially involving isolates resistant to carbapenems (MATOS *et al.*, 2019; NODARI *et al.*, 2020).

*A. baumannii* becomes resistant to carbapenems by acquiring genes that encode enzymes to degrade these antibiotics. These enzymes also interfere with drug permeability, and/or alter the affinity of the antimicrobial target for the carbapenems. Ambler Class B (metalloenzymes) and class D (oxacillinases) are the most

common enzymes involved in the mechanisms of resistance to carbapenems, being the carbapenemase oxacillinase (OXA) the most prevalent enzyme type. Although more than 250 types of OXA have been described, higher importance is given to four carbapenemase groups. They are OXA-23-like, OXA-24-like, OXA-58-like and OXA- 51-like. The OXA-23 subgroup was identified in several countries, including Brazil (ROLAIN *et al.*, 2016; CASTILHO *et al.*, 2017; MATOS *et al.*, 2019; NODARI *et al.*, 2020).

Nosocomial infection is considered a topic of concern that is growing in incidence and complexity. Moreover, this type of issue affects the social and economic aspects of different populations worldwide. Hospital infection rates in university hospitals are often higher than in other health facilities. When such infections are caused by multiresistant bacteria, they are associated with higher hospital admissions costs, prolonged hospitalization, and higher morbidity and mortality rates (BOUZA *et al.*, 2019).

Given the exposed, the aim of this study was to investigate the sensitivity profile of *Acinetobacter baumannii* strains isolated from patients with nosocomial infections treated in four teaching hospitals of Ceará, Brazil. It was also investigated the occurrence of the OXA-type carbapenemases among the nosocomial isolates.

### II. MATERIAL AND METHODS

#### *Ethical aspects*

This study was approved by the Research and Ethics Committee of the Universidade Estadual Vale do Acaraú (Opinion nº1.843.504). The subjects or their guardians signed a written consent form, privacy was guaranteed, and patients were identified by their hospital registration numbers to ensure that only researchers had access to their information.

#### *Study setting and bacterial strains*

This is an observational and crossover study in which it was investigated the occurrence of *A. baumannii* in patients with nosocomial infection. These patients were under medical supervision in four university hospitals of Ceará - Brazil: Santa Casa de Misericórdia de Sobral (SCMS), Hospital Geral de Fortaleza (HGF), Hospital Geral César

Cals (HGCC), and Hospital Universitário Walter Cantídio (HUWC). From November 2016 to April 2017, nosocomial species of *A. baumannii* were isolated from blood, tracheal aspirate fluid, percutaneous catheter tip, urine, abscess secretion, and surgical wound of patients receiving treatment in ICUs and wards. The microorganisms isolated from clinical samples were identified, and their antimicrobial sensitivity profile was analyzed by VITEK®2 (BioMérieux, Marcy-l'Etoile, France), the most commonly used automated system in the clinical laboratory examination that uses reagent cards containing lyophilized substrates that react biochemically with the biological sample generating a specific phenotypic profile. In addition, this system uses cards with specific concentrations of lyophilized antimicrobials that allow assessing the minimum inhibitory concentration. So, the antibiotics tested were: ampicillin/sulbactam, amikacin, ampicillin, ceftriaxone, ceftazidime, cefuroxime, cefepime, ciprofloxacin, colistin, gentamicin, imipenem, meropenem, piperacillin/tazobactam, and tigecycline. Multi-drug resistance (MDR) was defined as resistance to three or more classes of the drugs tested (MAGIORAKOS *et al.*, 2012). The minimum inhibitory concentrations (MICs) were interpreted according to the breakpoints established by M100-S25 document intended for use with the antimicrobial susceptibility testing procedures published by Clinical and Laboratory Institute Standards (CLSI). Additionally, polymerase chain reaction (PCR) was performed on all presumptively identified *A. baumannii* isolates to amplify the *bla*<sub>OXA-51</sub> gene (NODARI *et al.*, 2020). The Minimum Inhibitory Concentrations (MICs) were determined through a broth microdilution technique for isolates resistant to tigecycline following the recommendations of the CLSI (2018).

#### Detection of carbapenem resistance genes

Nosocomial species of *A. baumannii* were analyzed for the detection of *bla*<sub>OXA</sub> genes through PCR. The primers and protocols previously described were used to amplify the *bla*<sub>OXA-23</sub>, *bla*<sub>OXA-24</sub>, *bla*<sub>OXA-51</sub>, and *bla*<sub>OXA-58</sub> genes. The *bla*<sub>OXA-51</sub> is chromosomally encoded and intrinsic (naturally found) in *A. baumannii* (MA *et al.*, 2015). The sequence of the fragments that were amplified, as well as the size of the amplicons, are described in Table 1. The amplification reactions were prepared with 25µL suspension of colony forming units of the strains to be analyzed, 12.5µL of Taq Pol-Master Mix (2x) Green (Cellco Biotec, São Paulo, Brazil) containing dNTPs (dATP, dCTP, dGTP and dTTP), KCl, MgCl<sub>2</sub>, dye, gel loading buffer and stabilizers, 8.5 µL of H<sub>2</sub>O and 2.0 µL of each primer and 1x buffer reaction (final concentration) were added. Cyclic parameters for amplifying the fragment corresponding to the coding region of the *bla*<sub>OXA</sub> gene were carried out according to the manufacturer's instructions (Taq Pol-Master Mix (2x) Green - Cellco Biotec, São Paulo, Brazil). These reactions were performed in the following sequence: initial denaturation (95°C for 1 min); followed by 30 cycles of denaturation (94°C for 30 seconds and 53 ° C for 30 seconds), annealing (72°C for 45 seconds) and a final extension at 72°C for 4 min. The amplified products were analyzed on 1.0% agarose gel with 0.5X TBE buffer. The electrophoresis was performed at 120 volts for 40 minutes. The application on the agarose gel was performed with 8µl of the reaction added with 2µl of bromophenol blue solution. The 100 bp molecular weight

marker (Invitrogen, USA) was applied to the gel to determine the size of the fragments obtained.

Table 1 – Nucleotide sequence for the amplification of the *bla*<sub>OXA</sub> genes

Primer	Nucleotide sequence (5'□3')	Amplification (Bp)
<i>bla</i> <sub>OXA23F</sub>	GAT CGG ATT GGA GAA CCA GA	501 bp
<i>bla</i> <sub>OXA23R</sub>	ATT TCT GAC CGC ATT TCC AT	
<i>bla</i> <sub>OXA24F</sub>	GGT TAG TTG GCC CCC TTA AA	246 bp
<i>bla</i> <sub>OXA24R</sub>	AGT TGA GCG AAA AGG GGA TT	
<i>bla</i> <sub>OXA51F</sub>	TAA TGC TTT GAT CGG CCT TG	353 bp
<i>bla</i> <sub>OXA51R</sub>	TGG ATT GCA CTT CAT CTT GG	
<i>bla</i> <sub>OXA58F</sub>	AAG TAT TGG GGC TTG TGC TG	599 bp
<i>bla</i> <sub>OXA58R</sub>	CCC CTC TGC GCT CTA CAT AC	

Source: Authors, 2021.

#### Statistical analysis

Data were expressed as absolute and percentage frequency and analyzed using Fisher's exact test or Pearson's Chi-square test. After that, for the frequency of *bla*<sub>OXA-23</sub> and *bla*<sub>OXA-24</sub> genes expression, it was used the Forward Stepwise model to select variables with  $p < 0.200$  for multinomial logistic regression. All analyses were performed in the software Statistical Package for the Social Sciences adopting confidence of 95.

### III. RESULTS

In this study, 167 nosocomial strains of *A. baumannii* isolated from patients of four teaching hospitals were analyzed. Table 2 depicts the distribution of the isolates per hospital unit, isolation site, hospital sector, gender and frequency of occurrence of *bla*<sub>OXA-23</sub> and *bla*<sub>OXA-24</sub> genes. It was observed that *A. baumannii* was more frequently isolated from the bloodstream, followed by tracheal aspirate and surgical wound secretion. Most of the strains were isolated from patients hospitalized in Intensive Care Units, followed by clinical and neurology wards, and maternity (Table 2). In addition, four isolates harbored concomitant *bla*<sub>OXA-23</sub> and *bla*<sub>OXA-24</sub> genes, but in none of them *bla*<sub>OXA-58</sub> gene was detected.

The strains of *A. baumannii* isolated from patients of all hospitals under study were susceptible to colistin and most of them were susceptible to tigecycline. However, these isolates showed high resistance to carbapenems. The antimicrobial resistance profiles of the isolates are described in Table 3.

As Table 3 shows, multi-drug resistance was observed in 142 (85%) out of the 167 strains isolated. Seventy-three (43.7%) out of these 142 highly resistant strains harbored *bla*<sub>OXA-23</sub> gene, while 42 (25.1%) expressed the *bla*<sub>OXA-24</sub> gene. The concomitant presence of *bla*<sub>OXA-23</sub> and *bla*<sub>OXA-24</sub> genes was significantly associated ( $p < 0.05$ ) with the phenotype of resistance to carbapenems, cefepime, ceftazidime, gentamicin and piperacillin/tazobactam.

The presence of the *bla*<sub>OXA-23</sub> gene was statistically significant ( $p = 0.03$ ) only in strains with the amikacin resistance phenotype, while the presence of the *bla*<sub>OXA-24</sub> gene was statistically significant in strains with the ceftriaxone and ciprofloxacin resistance phenotype ( $p < 0.05$ ). No statistically significant association was found between the presence of the *bla*<sub>OXA-23</sub> and *bla*<sub>OXA-24</sub> genes

and the resistance profile of the *A.baumannii* nosocomial strains to the other antimicrobials tested.

The *bla*<sub>OXA-23</sub> gene was found in 34.6% of the strains of *A. baumannii* isolated from the bloodstream, while 19 (42.2%) were isolated from tracheal aspirate ( $p = 0.004$ ) and expressed the *bla*<sub>OXA-24</sub> gene. In addition, the *bla*<sub>OXA-24</sub> gene was detected more in the *A. baumannii* strains isolated from

two of the university hospitals under study (HGCC and HGF) than from the others ( $p < 0.001$ ). No statistically significant correlation was observed between the presence of the *bla*<sub>OXA-23</sub> and *bla*<sub>OXA-24</sub> genes with the hospital sector and the gender of hospitalized patients (Table 4).

Table 2 - Distribution of the isolates per hospital unit, isolation site, hospital sector, gender and frequency of occurrence of *bla*<sub>OXA-23</sub> and *bla*<sub>OXA-24</sub> genes

	N	%
<b>Microorganism</b>		
<i>Acinetobacter baumannii</i>	167	100.0
<b>Hospital unit</b>		
SCMS	75	44.9
HGCC	32	19.2
HGF	42	25.1
HUWC	18	10.8
<b>Isolation site</b>		
Blood	54	32.3
Tracheal aspirate	42	25.1
Secretion	24	14.4
Other	47	28.1
<b>Hospitalization sector</b>		
UTI	101	60.5
Other	66	39.5
<b>Gender</b>		
Female	67	40.1
Male	100	59.9
<i>bla</i> <sub>OXA-23</sub>	78	46.7
<i>bla</i> <sub>OXA-24</sub>	45	26.9

Source: Authors, 2021.

Table 3 - Antimicrobial resistance profile of *A. baumannii* strains isolated from patients hospitalized in four university hospitals

Antimicrobial	Resistance		Sensitive		Intermediate	
	N	%	N	%	N	%
Amikacin	59	42.4	68	48.9	12	8.6
Ampicillin	165	98.8	0	0.0	2	1.2
Ampicillin sulbactam	70	44.0	38	23.9	51	32.1
Cefepime	131	78.4	28	16.8	8	4.8
Cefoxitin	152	95.6	5	3.1	2	1.3
Ceftazidime	128	80.5	26	16.4	5	3.1
Ceftriaxone	128	76.6	6	3.6	33	19.8
Cefuroxime	166	99.4	0	0.0	1	0.6
Cefuroxime axetil	164	98.8	2	1.2	0	0.0
Ciprofloxacin	133	79.6	34	20.4	0	0.0
Colistin	0	0.0	159	100.0	0	0.0
Gentamicin	68	40.7	84	50.3	15	9.0
Imipenem	132	79.0	35	21.0	0	0.0
Meropenem	132	79.0	33	19.8	2	1.2
Piperacillin / tazobactam	137	82.0	28	16.8	2	1.2
Tigecycline	4	2.5	146	91.8	9	5.7

Source: Authors, 2021.

Table 4 - Frequency of the *bla*<sub>OXA-23</sub> and *bla*<sub>OXA-24</sub> genes by hospital unit, isolation site, hospitalization sector, and gender

	<i>bla</i> <sub>OXA-23</sub>			<i>bla</i> <sub>OXA-24</sub>		
	Absent	Present	p-Value	Absent	Present	p-Value
<b>Hospital unit</b>						
SCMS	34 38.2%	41 52.6%	0.294	66* 54.1%	9 20.0%	<0.001
HGCC	18 20.2%	14 17.9%		18 14.8%	14* 31.1%	
HGF	26 29.2%	16 20.5%		21 17.2%	21* 46.7%	
HUWC	11 12.4%	7 9.0%		17 13.9%	1 2.2%	
<b>Isolation site</b>	24 27.0%	18 23.1%		0.469	23 18.9%	
Blood	27 30.3%	27 34.6%	47* 38.5%	7 15.6%		
Secretion	10 11.2%	14 17.9%	19 15.6%	5 11.1%		
<b>Hospitalization sector</b>						
UTI	55 61.8%	46 59%	0.710	75 61.5%	26 57.8%	0.655
Others	34 38.2%	32 41.0%		47 38.5%	19 42.2%	
<b>Gender</b>						
Female	34 38.2%	33 42.3%	0.589	49 40.2%	18 40%	0.985
Male	55 61.8%	45 57.7%		73 59.8%	27 60%	

\*p<0.05, Fisher's exact test or Pearson's Chi-square test. Data expressed as absolute frequency and percentage.

Source: Authors, 2021.

#### IV. DISCUSSION

Healthcare-associated infections (HAI) have a great impact upon hospital mortality, duration of hospitalization, and costs. The lack of reference laboratories to adequately provide healthcare support and the growing need of microbiological research, particularly that aimed at providing a rapid response to outbreaks, are challenges that urgently need to be overcome (PADOVEZE, FORTALEZA, 2014).

HAI caused by *A. baumannii* and the resistance development are issues that are increasingly frequent and should be tackled properly worldwide. Our findings show that *A. baumannii* isolates from blood samples (32.3%) and the tracheal aspirate (25.1%), corroborating with available data from other Brazilian hospitals (NEVES *et al.*, 2016; CASTILHO *et al.*, 2017; NODARI *et al.*, 2020). Most of the *A. baumannii* nosocomial strains were isolated from male patients (59.9%), aligning with results from Castilho *et al.* 2017 (59.4%) and Chang *et al.* 2015 (59.7%).

All hospitals included in this study had the intensive care units as the major source of *A. baumannii* isolates similarly to Castilho *et al.*, 2017, Li *et al.*, 2017, and Raro *et al.*, 2017. These findings are alarming because intensive care units can serve as a reservoir for these opportunistic pathogens and so often the patients under intense care are already at higher risk once they can be immunologically debilitated. These patients may use invasive medical appliances such as catheters as well as under broad-spectrum antimicrobial therapy. Alves *et al.* (2020) point out that the excessive and indiscriminate use of antimicrobial drugs accounts for the rocketing incidence of highly resistant microorganisms in intensive care units.

In this study, 85% of *A. baumannii* nosocomial strains were multidrug resistant and the resistance rates to imipenem and meropenem reached 79%. In the last few years, this species has been reported to be resistant to many antimicrobial drugs and resistance rates to imipenem, meropenem, ceftazidime, piperacillin/tazobactam, ciprofloxacin, and gentamicin in Latin America seem to be among the highest globally (AL-ATROUNI *et al.*, 2016). These resistance rates to carbapenems are higher than what is reported in China, Saudi Arabia, Greece, Italy, and the USA where these rates were 29.4%, 69%, 57.4%, 45.7%, and 34%, respectively (YING *et al.*, 2016; DAVOUDI-MONFARED, KHALILI, 2018).

Previous Brazilian studies demonstrated growing resistance rates of *A. baumannii* strains to many important antimicrobial drugs, especially imipenem and meropenem. (NEVES *et al.*, 2016; NODARI *et al.*, 2020). It has also been reported an increase in the resistance rates of this strain in Qatar, Spain, China, Indonesia, Morocco, Iran, and Lebanon (AL-ATROUNI *et al.*, 2016; ROLAIN *et al.*, 2016; DAHDOUH *et al.*, 2017; UWINGABIYE *et al.*, 2017). Carbapenem-resistant *A. baumannii* strains isolated from the hospitals in this study also showed high rates of co-resistance to a wide range of antimicrobial drugs except for tigecycline and colistin. All isolates were sensible to colistin like the data found in Algeria and Iran, even so, decreased resistance rates were reported in Saudi Arabia (70.90%), Kuwait (92.5%), and Egypt (95%) (JOSHEGHANI *et al.*, 2015; AL-ATROUNI *et al.*, 2016; MOHAJERI, FARAHANI, MEHRABZADEH, 2017; DAVOUDI-MONFARED, KHALILI, 2018). However, tigecycline and colistin continue to be therapeutic options for treating infections caused by carbapenemases-producing bacteria

(CASTILHO *et al.*, 2017; DAHDOUH *et al.*, 2017; RARO *et al.*, 2017).

The multiple drug-resistant *A. baumannii* clinical isolates analyzed here constitute a very concerning therapeutic issue as they can mean an unfavorable prognosis when treating serious infections caused by these pathogens. These findings reinforce the idea of increasing resistance of bacteria to carbapenems which can imply in the dissemination of highly resistant strains (KURIHARA *et al.*, 2020; NODARI *et al.*, 2020), particularly when such resistance is mediated by mobile elements that can be readily transferred and disseminated among isolates (RARO *et al.*, 2017). The *bla*<sub>OXA-51</sub> gene was prevalent between nosocomial isolates of *A. baumannii* in this study as reported by many other groups globally (CHANG *et al.*, 2015; JOSHEGHANI *et al.*, 2015; KOOTI, MOTAMEDIFAR, SARVARI, 2015; AL-ATROUNI *et al.*, 2016; CASTILHO *et al.*, 2017; DAHDOUH *et al.*, 2017), confirming studies that suggest the presence of this gene as an intrinsic to this species as it is in its chromosome. Albeit this gene is not restricted to *A. baumannii*, it is indeed present in most of the strains of this species (KOOTI, MOTAMEDIFAR, SARVARI, 2015). Contrarily, the high prevalence of *bla*<sub>OXA-23</sub> in the analyzed isolates could be a result of horizontal transference as this gene frequently originates from the plasmid, transposons e insertion sequences (MOHAJERI, FARAHANI, MEHRABZADEH, 2017; FAYAD, KALLASSY, MAHILLON, 2020). Besides, *bla*<sub>OXA-58</sub> gene was not detected in this study, but OXA-58 *A. baumannii* strains have been poorly detected in other Brazilian regions (MATOS *et al.*, 2019).

The resistance to carbapenems in *A. baumannii* strains results from the production of acquired oxacillinases such as OXA-23, OXA-24, and OXA-58, whilst OXA-153 and OXA-72 are less frequent. The OXA-23 production has been often identified in carbapenem-resistant *A. baumannii* strains isolated from hospitalized patients (MA *et al.*, 2015; ROLAIN *et al.*, 2016; CASTILHO *et al.*, 2017; LI *et al.*, 2017; RARO *et al.*, 2017). These infections are associated with high morbidity and mortality rates and contribute to extend hospitalization periods and high care costs (BALLOUZ *et al.*, 2017). Isolated outbreaks that house codifying-carbapenemases groups, especially the OXA type (*bla*<sub>OXA-23</sub>, *bla*<sub>OXA-24</sub>, *bla*<sub>OXA-51</sub>, and *bla*<sub>OXA-58</sub>) are even more frequent on a global scale (CHANG *et al.*, 2015).

As previously mentioned, the gene responsible for OXA-23 and OXA-24 production was found in 46.7% and 26.9% of the isolates in this study, respectively. This frequency is similar to the results described by other groups (CHANG *et al.*, 2015; NEVES *et al.*, 2016; ROLAIN *et al.*, 2016; CASTILHO *et al.*, 2017; MOHAJERI *et al.*, 2017; UWINGABIYE *et al.*, 2017). Besides, the co-occurrence of two types of OXA was also reported in *A. baumannii*. Here, the coexistence of *bla*<sub>OXA-23</sub> and *bla*<sub>OXA-24</sub> occurred in four isolates. Nonetheless, 6.8% of the nosocomial isolates of *A. baumannii* resistant to carbapenems analyzed here did not express *bla*<sub>OXA-23</sub> and *bla*<sub>OXA-24</sub>. In such case, the resistance to imipenem and meropenem can be explained due to the presence of ISAbal element. Therefore, the presence of this insertion sequence or ISAb9 can be necessary to enhance the expression of other mechanisms such as a reduced permeability of the external membrane or excessive expression of efflux pumps (NIGRO, HALL, 2016).

The propagation of *A. baumannii* nosocomial strains that are multidrug resistant and OXA producers is a relevant public health issue. The emergence of these strains is associated with high rates of resistance to antimicrobial drugs commonly used in clinical care, which hinders the nosocomial infection treatment. The identification of phenotypes and genotypes of OXA is of extreme relevance for proper clinical management, avoiding thus the emergence and dissemination of outbreaks as well as establishing a different therapeutic approach that preferentially includes the combined use of antibacterial drugs.

Although the sensitivity profile of nosocomial strains of *A. baumannii* in the teaching hospitals analyzed was well demonstrated, as well as the frequency of some *bla*<sub>OXA</sub> genes related to the production of carbapenemases and resistance to carbapenems, a limitation of this study was the smaller number of microorganisms isolated from clinical samples in HGF, HGCC, and HUWC, so that it did not allow us to verify the epidemiology of nosocomial infections by *A. baumannii* in the referred teaching hospitals in the analyzed period.

## V. CONCLUSION

The data from this study allow us to conclude that most nosocomial strains of *A. baumannii* isolated from inpatients in the teaching hospitals analyzed are resistant to multiple drugs, including carbapenems, but sensitive to colistin and tigecycline, suggesting that these drugs could be the antibiotics of choice for the treatment of infections associated with MDR *A. baumannii*. In addition, many of them produced carbapenemases, notably OXA-23. Therefore, these findings highlight clinical relevance of carbapenem resistance among nosocomial strains underlines the need for carbapenemase screening.

## VI. REFERENCES

- AL-ATROUNI, A.; HAMZE, M.; JISR, T. *et al.* Wide spread of OXA-23-producing carbapenem-resistant *Acinetobacter baumannii* belonging to clonal complex II in different hospitals in Lebanon. **Int J Infect Dis**, v.52, p. 29–36, 2016.
- ALVES, R.L.; BRITO, I.L.P.; PINTO, V.P.T. *et al.* Epidemiological profile of maxillofacial trauma in a teaching hospital in Brazil. **Revista Sodebras [on line]**, v. 15, n. 178, Out./2020, p. 40-45. ISSN 1809-3957. Available in: <<https://doi.org/10.29367/issn.1809-3957.15.2020.178.40>> Accessed on April 16, 2021.
- BALLOUZ, T.; ARIDI, J.; AFIF, C. *et al.* Risk Factors, Clinical Presentation, and Outcome of *Acinetobacter baumannii* Bacteremia. **Front Cell Infect Microbiol**, v. 7, p. 1-8, 2017.
- BOUZA, E.; ALONSO, S.; ASENSIO, A. *et al.* Information on nosocomial infections in the mainstream media: an opinion document. **Rev Esp Quimioter**, v. 32, n. 2, p. 165-177, 2019.
- CASTILHO, S.R.A.; GODOY, C.S.D.M.; GUILARDE, A.O. *et al.* *Acinetobacter baumannii* strains isolated from patients in intensive care units in Goiânia, Brazil: Molecular and drug susceptibility profiles. **PLoS One**, v.12, n. 5, p. 1-13, 2017.
- CHANG, Y.; LUAN, G.; XU, Y. *et al.* Characterization of carbapenem-resistant *Acinetobacter baumannii* isolates in a Chinese teaching hospital. **Front Microbiol**, v.6, p. 1-9, 2015.

- CLINICAL LABORATORY STANDARDS INSTITUTE – CLSI. **Performance standards for antimicrobial disk susceptibility tests**. CLSI document. Wayne: CLSI, 2018.
- DAHDOUH, E.; GÓMEZ-GIL, R.; PACHO, S. *et al.* Clonality, virulence determinants, and profiles of resistance of clinical *Acinetobacter baumannii* isolates obtained from a Spanish hospital. **PLoS One**, v. 12, n. 4, p. 1-18, 2017.
- DAVOUDI-MONFARED, E.; KHALILI, H. The threat of carbapenem-resistant gram-negative bacteria in a Middle East region. **Infect Drug Resist**, v.11, p.1831–1880, 2018.
- FAYAD, N.; KALLASSY, M. A.; MAHILLON, J. IS982 and kin: new insights into an old IS family. **Mob DNA**, v. 11, n. 24, p. 1-12, 2020.
- JOSHEGHANI, S.B.; MONIRI, R.; FIROOZEH, F. *et al.* Susceptibility Pattern and Distribution of Oxacillinases and bla<sub>PER-1</sub> Genes among Multidrug-Resistant *Acinetobacter baumannii* in a Teaching Hospital in Iran. **J Pathog**, v. 2015, p. 1-7, 2015.
- KOOTI, S.; MOTAMEDIFAR, M.; SARVARI, J. Antibiotic Resistance Profile and Distribution of Oxacillinase Genes Among Clinical Isolates of *Acinetobacter baumannii* in Shiraz Teaching Hospitals, 2012 - 2013. **Jundishapur J Microbiol**, v. 8, n. 8, p. 1-6, 2015.
- KURIHARA, M. N. L.; SALES, R. O.; SILVA, K. E. *et al.* Multidrug-resistant *Acinetobacter baumannii* outbreaks: a global problem in healthcare settings. **Rev Soc Bras Med Trop**, v. 53, p. 1-13, 2020.
- LI, Y. J.; PAN, C. Z.; FANG, C. Q. *et al.* Pneumonia caused by extensive drug-resistant *Acinetobacter baumannii* among hospitalized patients: Genetic relationships, risk factors, and mortality. **BMC Infect Dis**, v. 17, n. 371, p. 1-10, 2017.
- MA, Z.; ZHOU, L. Q.; WANG, H. *et al.* Investigations on the genomic diversity of OXA from isolated *Acinetobacter baumannii*. **Genet Mol Res**, v.14, n. 4, p.14711–14716, 2015.
- MAGIORAKOS, A.P.; SRINIVASAN, A.; CAREY, R.B. *et al.* Multidrug-resistant, extensively drug-resistant and pandrug-resistant bacteria: An international expert proposal for interim standard definitions for acquired resistance. **Clin Microbiol Infect**, v. 18, n. 3, p. 268-281, 2012.
- MATOS, A.P.; CAYÓ, R.; ALMEIDA, L. *et al.* Genetic Characterization of Plasmid-Borne bla<sub>OXA-58</sub> in Distinct *Acinetobacter* Species. **mSphere**, v. 4, n. 5, p. 1-8, 2019.
- MOHAJERI, P.; FARAHANI, A.; MEHRABZADEH, R.S. Molecular characterization of multidrug-resistant strains of *Acinetobacter baumannii* isolated from intensive care units in the west of Iran. **J Clin Diagnostic Res**, v. 11, n. 2, DC20-DC22, 2017.
- NEVES, F. C.; CLEMENTE, W. T.; LINCOPAN, N. *et al.* Clinical and microbiological characteristics of OXA-23- and OXA-143-producing *Acinetobacter baumannii* in ICU patients at a teaching hospital, Brazil. **Brazilian J Infect Dis**, v. 20, n. 6, p. 556–563, 2016.
- NIGRO, S.J.; HALL, R.M. Structure and context of *Acinetobacter* transposons carrying the oxa23 carbapenemase gene. **J Antimicrob Chemother**, v. 71, n. 5, p.1135–1147, 2016.
- NODARI, C.S.; CAYÓ, R.; STRELING, A.P. *et al.* Genomic Analysis of Carbapenem-Resistant *Acinetobacter baumannii* Isolates Belonging to Major Endemic Clones in South America. **Front Microbiol**, v. 11, p. 1-14, 2020.
- PADOVEZE, M.C.; FORTALEZA, C.M.C.B. Infecções relacionadas à assistência à saúde: desafios para a saúde pública no Brasil. **Rev Saúde Pública**, v. 48, n. 6, p. 995-1001, 2014.
- RARO, O.H.F.; GALLO, S.W.; FERREIRA, C.A.S. *et al.* Carbapenem-resistant *Acinetobacter baumannii* contamination in an intensive care unit. **Rev Soc Bras Med Trop**, v. 50, n. 2, p.167–172, 2017.
- ROLAIN, J.M.; LOUCIF, L.; AL-MASLAMANI, M. *et al.* Emergence of multidrug-resistant *Acinetobacter baumannii* producing OXA-23 Carbapenemase in Qatar. **New Microbes New Infect**, v.11, p. 47–51, 2016.
- UWINGABIYE, J.; LEMNOUER, A.; ROCA, I. *et al.* Clonal diversity and detection of carbapenem resistance encoding genes among multidrug-resistant *Acinetobacter baumannii* isolates recovered from patients and environment in two intensive care units in a Moroccan hospital. **Antimicrob Resist Infect Control**, v. 6, n. 1, p. 1-9, 2017.
- YING J., LU J., ZONG L. *et al.* Molecular epidemiology and characterization of genotypic analysis of *Acinetobacter baumannii* strains isolates from south China. **Jpn J Infect Dis**, v. 69, n. 3, p.180–185, 2016.

## VII. ACKNOWLEDGMENT

This study was supported by Brazilian grants from Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), and Santa Casa de Misericórdia de Sobral-Ceará (Edital DEPE 06/2016).

## VIII. COPYRIGHT

The authors are the only ones responsible for the material included in this article.

## Área: Ciências Exatas e Engenharias

---

1-4	<b>POSSIBLE ROUTES FOR THE FORMATION OF PREBIOTIC MOLECULES IN THE HORSEHEAD NEBULA</b>  <b>POSSÍVEIS ROTAS PARA A FORMAÇÃO DE MOLÉCULAS PREBIÓTICAS NA NEBULOSA CABEÇA DE CAVALO</b> Luciene Da Silva Coelho; Amâncio César Dos Santos Friaça; Edgar Mendoza
3-4	<b>UMA METODOLOGIA BÁSICA PARA O CÁLCULO DE ESTABILIDADE ANGULAR EM GERADORES SÍNCRONOS</b>  <b>A BASIC METHODOLOGY FOR CALCULATING ANGULAR STABILITY IN SYNCHRONOUS GENERATORS</b> Sergio Manuel Rivera Sanhueza; Maxwell Diógenes Bandeira De Melo; Ivan Ney Alvizuri Romani; Marilene Andreia Mantovani
3-5	<b>ROBÔ EQUILIBRISTA COM DUAS RODAS DE BAIXO CUSTO CONTROLADO POR LÓGICA DIFUSA</b>  <b>LOW COST TWO WHEELED SELF-BALANCING ROBOT CONTROLLED BY FUZZY LOGIC</b> Alex Pisciotta; Álvaro Manoel De Souza Soares

## POSSIBLE ROUTES FOR THE FORMATION OF PREBIOTIC MOLECULES IN THE HORSEHEAD NEBULA

### POSSÍVEIS ROTAS PARA A FORMAÇÃO DE MOLÉCULAS PREBIÓTICAS NA NEBULOSA CABEÇA DE CAVALO

LUCIENE DA SILVA COELHO<sup>1</sup>; AMÂNCIO CÉSAR DOS SANTOS FRIAÇA<sup>2</sup>; EDGAR MENDOZA<sup>2,3</sup>  
1 – PLANETÁRIO JUAN BERNARDINO MARQUES BARRIO, INSTITUTO DE ESTUDOS  
SOCIOAMBIENTAIS, UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS; 2 – INSTITUTO DE ASTRONOMIA,  
GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO; 3 – OBSERVATÓRIO  
DO VALONGO, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
*lucienecoelho@ufg.br; amancio.friaca@iag.usp.br; emendoza@astro.ufrj.br*

**Abstract** - This article presents the results of a theoretical study concerning interstellar molecules which are useful for the bookkeeping of the organic content of the universe and for providing a glimpse into prebiotic conditions on Earth and in other environments in the universe. Performing the PDR Meudon code, we explored production channels for astrobiological relevant nitrogen-bearing cyclic molecules (N-heterocycles), e. g. pyrrole and pyridine. The present simulations demonstrate how the exploration of a few possible routes of production of N-heterocycles resulted in significant abundances for these species. One particularly efficient class of channels for the production of N-heterocycles incorporates polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) as catalysts. Thereby, an exploration of a variety of production paths should reveal more species to be target of astrophysical observations.

**Keywords:** Astrochemistry and Astrobiology: Cosmic Prebiotic Chemistry. Organic Molecules. ISM: PDRs. Simulations.

**Resumo** – Este trabalho apresenta o resultado de um estudo teórico sobre moléculas interestelares que são úteis para a contabilidade do conteúdo orgânico do universo e para fornecer um vislumbre das condições pré-bióticas na Terra e em outros ambientes do além do nosso planeta. Utilizando o código PDR Meudon, nós exploramos rotas de formação de moléculas heterocíclicas nitrogenadas, como o pirrol e a piridina, as quais possuem potencial astrobiológico. As simulações demonstraram como a exploração de poucas rotas possíveis de produção de moléculas heterocíclicas nitrogenadas resulta em abundâncias significativas destas espécies. Rotas particularmente efetivas para a produção de heterocíclicos nitrogenados envolvem os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos como catalisadores. Assim, uma varredura por diversas rotas de produção deve revelar mais espécies a serem alvo de observações astrofísicas.

**Palavras-chave:** Astroquímica e Astrobiologia: Química Prebiótica Cósmica. Moléculas Orgânicas. ISM: PDRs. Simulações.

#### I. INTRODUCTION

One of the minimal traits of any living system is the presence of some mechanism for information storage, reading and self-replication. In terrestrial life, nucleic acids (DNA and RNA) are part of the machinery responsible for the informational function already mentioned (SECKBACH *et*

*al.* 2000). It is not surprising that the nitrogen atom participates in the composition of molecules that store information. Since nitrogen, in contrast to carbon and oxygen, has an odd number of valence electrons, and introduces asymmetries in the molecular structure of any carbon compound. The existence of asymmetries is a necessary condition for information storage since a structure formed by the repetition of identical sub-units would not allow the writing of instructional sequences (NELSON & COX, 2012).

The cosmic abundance of the N atom is high enough to be found in a huge variety of molecular forms, from the simplest species like CN (ADAMS, 1941); formamide, NH<sub>2</sub>CHO (LÓPEZ-SEPULCRE *et al.* 2019) to most complex structures, such as the polycyclic aromatic nitrogen heterocycles (PANHs), as some of which have been analyzed in Murchison meteorite samples (GLAVIN & BADA, 2004). PANHs are compounds derived from the polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) when N atoms are part of the aromatic rings. PAHs are widely spread in the ISM, from stellar atmospheres up to galaxies at high redshifts (SHIVAEI *et al.* 2017). They constitute an efficient form to accumulate carbon in solid phase across the Universe, and their abundance and ubiquity are partially due to the high stability against the dissociative effects of ionizing agents (ALLAMANDOLA *et al.* 1999; SALAMA *et al.* 1999; TIELENS, 2008, 2013). PAHs are so ubiquitous that most of the mid-infrared emission in galaxies with star formation is dominated by strong emission features generally attributed to PAH bands (SPOON *et al.* 2002; TIELENS *et al.* 2004; PEETERS *et al.* 2004).

PANHs are especially relevant for astrobiology and they are closely related to the purine (C<sub>5</sub>H<sub>4</sub>N<sub>4</sub>) and pyrimidine (C<sub>4</sub>H<sub>4</sub>N<sub>2</sub>) nucleobases, which are part of the DNA and RNA molecular structures. These species are probably formed from the polymerization of small molecules such as acetylene (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>), nitrogen atoms being incorporated via the substitution of acetylene by cyanic acid (HCN) (PRASAD & HUNTRESS, 1980; FRENKLACH & FEIGELSON, 1989; HUDGIN *et al.*, 2005; CHEN *et al.*, 2008). The computational study of Ricca *et al.* (2001) has shown that minor units of PANHs could be synthesized via successive

reactions of  $C_2H_2$  and HCN under the stimulus of UV photons or cosmic rays. Laboratory experiments have also demonstrated that UV photoirradiation of icy samples, containing water ( $H_2O$ ), ammonia ( $NH_3$ ), and benzene ( $C_6H_6$ ) or naphthalene ( $C_{10}H_8$ ), leads to the formation of N and O-heterocycles, such as pyridine ( $C_5H_5N$ ) and phthalide ( $C_8H_6O_2$ ) (MATERESE *et al.*, 2015). In addition, PAHs also have a potential to synthesize amino acids. Chen *et al.* (2008) identified 13 different amino acids produced from the irradiation of ices containing  $C_{10}H_8$ ,  $H_2O$  and  $NH_3$ .

The spectroscopy of PANHs requires high sensitivity to differentiate their spectral signatures from those corresponding to PAHs. Hudgins *et al.* (2005) reported a shift in the peak position of PAHs at  $6.2 \mu m$ , mainly due to typical signatures of PANHs, when a C atom is replaced by N. Laboratory measures have elucidated the different vibrational modes and spectroscopy of PANHs, whose peak positions are ranged between  $6.7 - 10 \mu m$  (MATTIODA *et al.* 2005, 2017). The identification of a peak shift in that band, towards sources as the Horsehead Nebula, might reveal the presence, in the interstellar medium, of PANHs, which have already been found in meteorites (STOKS & SCHWARTZ, 1981) and suggested to be present in starburst-dominated galaxies (CANELO *et al.*, 2018).

If the substituted N is located on the periphery of the PAH, the resulting PANH is quite reactive, which may lead to the production of other N-heterocycles, as pyrroles, pyridines, pyrimidines or purines (e. g. MATERESE *et al.* 2015). Going back further than the RNA world, there could be a PANH world, or an aromatic world (EHRENFREUND *et al.* 2006). In this pre/probiotic scenario, assembling PAH/PANH rich material could perform the transition from nonliving to living matter. For instance, PANHs may constitute a precursor to biological information carriers.

So far, the search for N-heterocycles has not yielded a conclusive identification in the gas phase of the interstellar medium (ISM), despite the multiple surveys performed in the sub-mm domain of the electromagnetic spectrum (SIMON & SIMON, 1973).

Kuan *et al.* (2003) searched for pyrimidine in three massive star-forming regions: Sgr B2(N), Orion KL and W51 e1/e2, however from the weak emission detected by those authors, only upper limits were derived for pyrimidine. Charnley *et al.* (2005) conducted research on pyridine ( $C_5H_5N$ ), quinoline ( $C_9H_7N$ ) and isoquinoline ( $C_9H_7N$ ) towards circumstellar envelopes of carbon-rich stars; however, as in the research carried out by Kuan *et al.* (2003), only upper limits were obtained for these species. Experiments of UV irradiation reveal an important property on the lifetime of N-heterocycles. Peeters *et al.* (2004) found that gas samples of these molecules are rapidly destroyed with an increasing number of N atoms in the ring.

Astrochemical models based on experimental photodissociation rates indicates that complex organic molecules (COMs) should exhibit a short half-life in protoplanetary disk; for instance, in disk regions at  $\sim 10$  AU and  $70$  AU from the protostar,  $CH_3OH$  molecules survive  $6.2$  yr and  $307.9$  yr, respectively (ANDRADE *et al.* 2010). Interferometric observations of protoplanetary disks have revealed that various of them have rings and gaps; Leemker *et al.* 2021 discuss the implications that  $HCO^+$  and  $H^{13}CO^+$ , among others molecules like  $CH_3OH$  and  $CH_3CHO$ , would have on the snowline of protoplanetary disks, which is the inner boundary region where molecules condensate on dust

grains forming icy mantles (ZHANG & JIN, 2015). Thus, observational and semi-empirical studies reveal important aspects on the presence and distribution of molecules in disks.

This work aims to conduct a study about the possibility of the formation of prebiotic N-heterocycles and other COMS in the interstellar medium, specifically, in the Horsehead Nebula, considering the physical conditions of molecular clouds and photodissociation regions (PDRs).

## II. METHOD

We used the *PDR Meudon code* to calculate the UV-driven chemistry of interstellar clouds considering the physical and chemical conditions of environments such as PDRs. The *PDR Meudon code* allows simulating regions as stationary plane-parallel slabs of gas and dust illuminated by radiation fields, which can be the Interstellar Standard Radiation Field. Heating (Photoelectric effect on grains, cosmic rays) and cooling (infrared and millimeter emission) processes contribute to the thermal balance. The output of the *PDR Meudon* includes gas properties like temperature, ionized fraction, chemical abundances and column densities (e.g., LE BOURLOT *et al.*, 1993; LE PETIT *et al.*, 2006; GONZALEZ GARCIA *et al.*, 2008).

The Horsehead Nebula was chosen as the benchmark for this study because of its relatively simple physics and geometry. It is a PDR, with some regions having a nearly plane-parallel geometry. We have assumed a fixed temperature of  $15$  K and parameters representative of the Horsehead Nebula, i.e.,  $G = 60 G_0$ , where  $G_0$  is rather the flux of ISM as measured by Habing (1968),  $A_V = 10$  mag to the cloud center, and a total hydrogen density of  $10^4 \text{ cm}^{-3}$ . In addition, the classic parameterized modeling by Cordiner *et al.* (2007) for this object, well known for its rich atomic, molecular and dust emission observed from visible to sub-mm wavelength (GERIN *et al.*, 2009), make this nebula an ideal target to test any model for the formation of the molecular lines. Likewise, it is possible to extend the studies on the region, based on the results obtained by Goicoechea *et al.* (2009) and Gerin *et al.* (2009) considering this region as an archetype of molecular clouds. As a whole, the Horsehead Nebula is a complex source that harbors various environments, so that it can be divided into three distinct parts for the study of its chemistry, a nucleus, a PDR region and a PAH region, as modeled by Le Gal *et al.* (2017), using the *PDR Meudon code*. This configuration favors the formation of COMs in the innermost region of the cloud, as it is a region more protected from the incidence of far-ultraviolet radiation.

In this work, we used all known reactions of formation and destruction for each specie along with the chemical precursors, databases such as UMIST and KIDA (MELROY *et al.* 2013, WAKELAM *et al.* 2015). The entire chemical network used here has 5238 reactions, 318 species and 14 elements.

## III. RESULTS

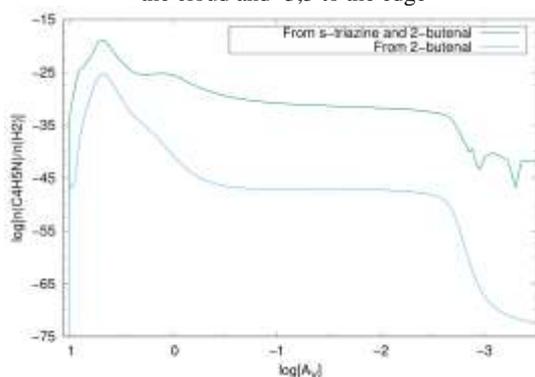
Some crucial characteristics make the ISM very promising for the emergence of complex chemistry. First of all, there is plenty of ultraviolet (UV) radiation, cosmic rays and shocks to provide the energy necessary for endothermic reactions. As a consequence, the interstellar chemistry is rich in species that require high energies for their formation, not only ions but also radicals, e.g., methylidyne (CH), methylene ( $CH_2$ ), hydroxyl (OH) and cyanogen (CN).

### 3.1 – Nitriles

As we were interested in the synthesis of N-heterocycles, we explored production channels for pyrrole ( $C_4H_5N$ ) and pyridine ( $C_5H_5N$ ), the simplest N-heterocycles with 4 and 5 Carbon atoms, respectively. In particular, we consider the formation of pyridine from pyrrole via the reaction  $CH + C_4H_5N \rightarrow C_5H_5N + H$  as suggested by Soorkia *et al.* (2010). In the first place, we studied the formation of pyrrole. One of the routes to produce it involves 2-butenal (or crotonaldehyde,  $CH_3CHCHCHO$ ) as a precursor, which is a plausible route since aldehydes molecules have been already identified in the ISM. For instance, in the star-forming region Sagittarius B2(N), Hollis *et al.* (2004) reported the detection of propenal ( $CH_2CHCHO$ ) and propanal ( $CH_3CH_2CHO$ ), with similar structures and functional groups to the 2-butenal molecule. However, the production of pyrrole from 2-butenal resulted in very low abundances with  $10^{-22}$   $C_4H_5N$  particles relative  $H_2$  in the cloud core.

Another precursor to produce pyrrole is s-triazine, also called 1,3,5-triazine ( $C_3H_3N_3$ ), the production process begins much more efficient when presents both reaction from 2-butenal and from s-triazine than the production only from 2-butenal, as we can see in Figure 1. However, the resulting abundance of pyrrole is too low with  $10^{-18}$   $C_4H_5N$  particles relative hydrogen in the cloud core.

Figure 1 - Horsehead Nebula PDR model. Abundance relative to  $H_2$  for pyrrole production from 2-butenal - blue line - and from s-triazine plus the 2-butenal - green line - paths of production as a function of extinction in V band,  $A_V$ , where 1 refers to the core of the cloud and -3,5 to the edge

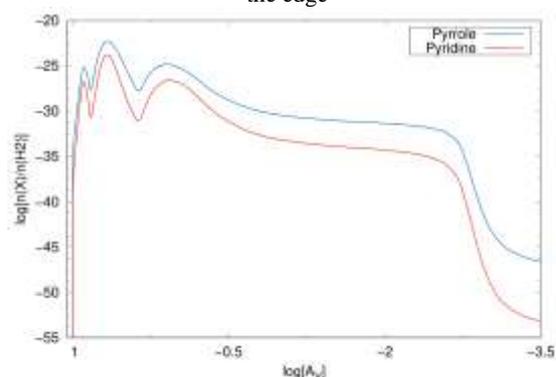


Source: Authors, 2021.

We also studied the pyridine formation from pyrrole, considering the route for pyrrole production which includes s-triazine as a precursor; however, the resulting abundances of pyridine are extremely low ( $10^{-25}$   $C_5H_5N$  particles relative to  $H_2$ ) in the cloud core, as shown in Figure 2. As we can see, also the pyrrole abundances keep being low.

It is interesting to note that the inclusion of a new species (pyridine, in this case) in the chemical reactions network could change the abundances of other molecules, even if these molecules are direct precursors (pyrrole, here) to the additional species. The new molecule participates in a network of reactions, some of which result in simpler species, which end up helping in the formation of more complex ones, including the direct precursors of the new species. This fact explains the differences of the relative abundances of pyrrole in Figure 1 (pyridine not included in the chemical network) and in Figure 2 (pyridine included in the chemical network).

Figure 2 - Horsehead Nebula PDR model. Abundance relative to  $H_2$  for pyrrole and pyridine production as a function of extinction in V band,  $A_V$ , where 1 refers to the core of the cloud and -3,5 to the edge



Source: Authors, 2021.

### 3.2 – The role of PAHs

The fact that PAHs are abundant molecules allowing the substitution of the C and H atoms by other radicals and atoms make them important precursors of PANHs and N-heterocycles.

The emission from  $6.2 \mu m$  PAHs is probably dominated by species with molecular sizes, given by the number of C atoms, between 60 and 90 carbon atoms (Hudgins *et al.* 2005). Therefore, following the suggestion by Flower *et al.* (2003), we adopted circumcoronene,  $C_{54}H_{18}$ , as a representative molecule of interstellar PAHs. We considered a carbon fraction in PAHs of 15% in the interstellar medium as a compromise with estimates from other studies, e.g., 30-50% (PUGET & LEGER, 1989), 3-15% (ALLAMANDOLA *et al.* 1989), and 20-30% (JOBLIN *et al.*, 1992). Using for carbon the solar (photospheric) abundance  $N_C/N_H=2.692 \times 10^{-4}$  (ASPLUND *et al.* 2009), under the simplification that all PAHs are  $C_{54}H_{18}$ , the corresponding PAH abundance relative to  $H_2$  is  $1,496 \times 10^{-6}$ . Therefore, we take  $10^{-6}$  particles relative to  $H_2$  as the initial PAH abundance in our models.

PAHs are molecules that can resist interstellar radiation thanks to the bond energy of carbon atoms (8 eV) and the molecular backbone produced by them. In the case of absorption of UV photons, PAHs can rearrange their structures to form more stable structures. The aromatic skeleton plays a role in redistributing the incident energy of photons through different vibrational modes offering photostability against ionizing radiation (LEGER *et al.* 1989); for instance, a PAH with 50 carbon atoms could survive 1.1 Gyr in the Galactic radiation field (ALLAIN *et al.* 1996b). This is much longer than the lifetime for a typical nebula like the Horsehead Nebula. However, although the carbon skeleton of the PAH can be considered as a fixed structure, PAHs could suffer dehydrogenation, since the binding energy of hydrogen atoms is much lower, 4.5 eV (LEGER *et al.* 1989, MATTIODA *et al.* 2005), and PAHs may lose one or more hydrogen atoms.

After the dehydrogenation, it is possible to add a nitrogen atom in the PAH (RICCA *et al.* 2001, MATERESE *et al.* 2015), therefore generating a PANH. The addition of other radicals is also possible in a dehydrogenated PAH. Considering these mechanisms, we devised a chemical network involving PAHs (partially shown in Table 1), which leads to pyridine production. In Table 1, the binary reactions involving PAH and derived species have reaction rates of the form  $k=k_0(T/300 K)^{1/2}$ . PAHs are not particularly reactive but

their dehydrogenated forms or with incorporated atoms have kinetic reaction rates about a factor ten higher (LE PAGE *et al.*, 2001; VUONG & FOING, 2000).

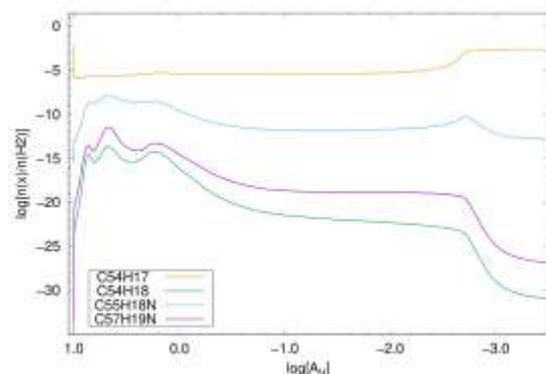
The results are displayed in Figure 3. We can see that PAHs are dehydrogenated throughout all the cloud and, also, PANHs have low abundances at the cloud edge and increase towards the center.

Table 1 – Reaction rates for chemistry involving circumcoronene and derivated species

Reagents	Products	$k_0$ ( $\text{cm}^3\text{s}^{-1}$ )
$\text{C}_{54}\text{H}_{18} + \text{H}$	$\text{C}_{54}\text{H}_{17} + \text{H}_2$	$5.00 \times 10^{-8}$
$\text{C}_{54}\text{H}_{18} + \text{C}_2\text{H}$	$\text{C}_{54}\text{H}_{17} + \text{C}_2\text{H}_2$	$5.00 \times 10^{-8}$
$\text{C}_{54}\text{H}_{17} + \text{HCH}$	$\text{C}_{55}\text{H}_{18}\text{N} + \text{photon}$	$5.00 \times 10^{-7}$
$\text{C}_{55}\text{H}_{18}\text{N} + \text{C}_2\text{H}_2$	$\text{C}_{57}\text{H}_{19}\text{N} + \text{H}$	$5.00 \times 10^{-7}$
$\text{C}_{57}\text{H}_{19}\text{N} + \text{C}_2\text{H}_4$	$\text{C}_{54}\text{H}_{18} + \text{C}_5\text{H}_5\text{N}$	$5.00 \times 10^{-7}$

Source: Authors, 2020.

Figure 3 - Horsehead Nebula PDR model. Abundance relative to  $\text{H}_2$  for circumcoronene, its dehydrogenated forms as well as the PANHs formed from circumcoronene as a function of extinction in V band,  $A_V$ , where 1 refers to the core of the cloud and -3,5 to the edge



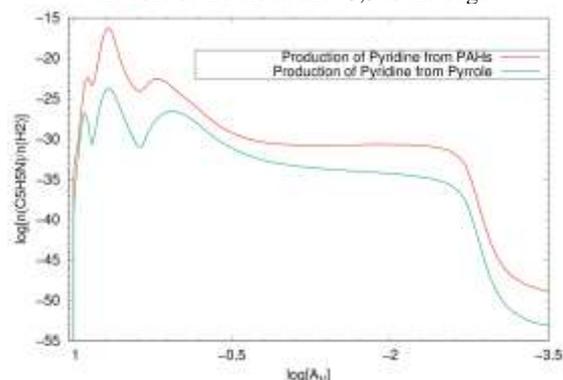
Source: Authors, 2021.

The PANH molecule with formula  $\text{C}_{57}\text{H}_{19}\text{N}$  is not very abundant ( $10^{-12}$   $\text{C}_{57}\text{H}_{19}\text{N}$  particles relative hydrogen in the cloud core), nevertheless it is twice more abundant than the hydrogenated form of the PAH ( $\text{C}_{54}\text{H}_{18}$ ). Since  $\text{C}_{57}\text{H}_{19}\text{N}$  is a precursor of pyridine, the introduction of a PAH represents a very effective pyridine channel production, at least in the cloud core. At the end of the reaction, when the pyridine is released from the PAH,  $\text{C}_{54}\text{H}_{18}$  is recovered. The PAH has played the role of a catalyst, promoting the encounter of common species such as HCN and hydrocarbons to generate N-heterocyclics.

Figure 4 compares the production of pyridine through two channels: from PAHs and pyrrole ( $\text{C}_4\text{H}_5\text{N}$ ) previously synthesized. As we can see, the pyridine production through PAHs is much more efficient and in the innermost parts of the cloud ( $A_V > 5$ ) it is about ten orders of magnitude higher.

Table 2 lists the column density [ $\text{cm}^{-2}$ ] of pyrrole and pyridine for different production channels at several optical depths of Horsehead Nebula; Pyrrole and Pyridine refer to its production without PAH. Pyrrole<sup>+</sup> and Pyridine<sup>+</sup> are data from their formation with circumcoronene include. Pyrrole\* and Pyridine\* are column densities for their formation including circumcoronene, coronene and ovalene, following the same network of reactions as circumcoronene.

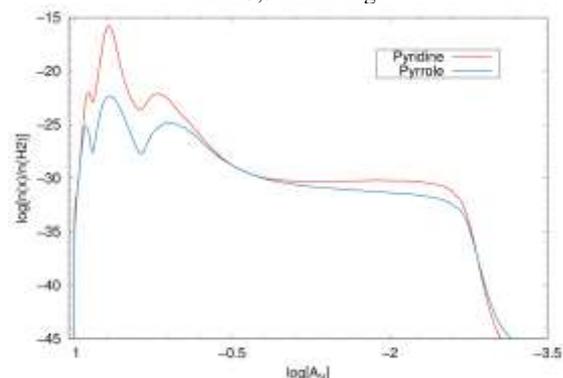
Figure 4 - Horsehead Nebula PDR model. Abundance relative to  $\text{H}_2$  estimated for two different channels of pyridine production: both from the network of reactions of PAHs and directly from pyrrole as a function of extinction in V band,  $A_V$ , where 1 refers to the core of the cloud and -3,5 to the edge



Source: Authors, 2021.

The results of our calculations indicate that PAHs can be an important intermediate species in producing nitrogen heterocycles, as illustrated by the high abundances obtained for pyridine in modeling the Horsehead Nebula. In the specific model, we considered, pyrrole dominates over pyridine in the outskirts of the cloud, but pyridine becomes more abundant in the inner regions, as seen from Figure 5. It is interesting that a similar behavior for the two species also appears in the photochemistry model for Titan's atmosphere by Krasnopolsky (2009, 2014).

Figure 5 - Horsehead Nebula PDR model. Abundance relative to  $\text{H}_2$  comparing production of pyrrole and pyridine as a function of extinction in V band,  $A_V$ , where 1 refers to the core of the cloud and -3,5 to the edge



Source: Authors, 2021.

Table 2 – Column density [ $\text{cm}^{-2}$ ] from pyrrole and pyridine, for different production channels at depths of Horsehead Nebula. *Pyrrole* and *Pyridine* refer to its production without PAH. *Pyrrole*<sup>+</sup> and *Pyridine*<sup>+</sup> are data from their formation with PAH circumcoronene include. *Pyrrole*\* and *Pyridine*\* are column densities for their formation including circumcoronene, coronene and ovalene

Molecules	$A_V = 1 \text{ mag}$	$A_V = 3 \text{ mag}$	$A_V = 10 \text{ mag}$
Pyrrole	$3.71 \times 10^{-4}$	$6.17 \times 10^{-2}$	$9.88 \times 10^7$
Pyrrole <sup>+</sup>	$2.71 \times 10^{-3}$	$1.58 \times 10^4$	$8.52 \times 10^9$
Pyrrole*	$2.85 \times 10^{-2}$	$2.53 \times 10^5$	$1.37 \times 10^{10}$
Pyridine	$2.14 \times 10^{-10}$	$2.51 \times 10^{-9}$	$3.29 \times 10^{-5}$
Pyridine <sup>+</sup>	$1.15 \times 10^{-4}$	$2.01 \times 10^3$	$1.14 \times 10^{12}$
Pyridine*	$1.19 \times 10^{-3}$	$1.20 \times 10^4$	$1.50 \times 10^{13}$

Source: Authors, 2021.

As shown in Table 2, the column density of pyridine is about  $10^{13} \text{ cm}^{-2}$  for the route of production with the PAHs pathway. The high abundance obtained for this molecule makes it a target for future observations. This value is close to the upper limits obtained for other types of objects – the ABG star IRC+10216 ( $<7.3 - 8.6 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ ) and the planetary nebula CRL 618 ( $2.3 - 2.7 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ ) – (CHARNLEY *et al.*, 2005). In view of the ubiquitous presence of PAHs and PANHs in interstellar and circumstellar environments, these species can catalyze the formation of heterocyclics with an incorporated nitrogen atom, but for two heterocyclics with two atoms, as pyrimidine, pyrimidone and uracil, the abundances are expected to be lower.

In general, several molecules that are the basic units of life are most easily synthesized in ISM than on Earth. Observational work should be allied with laboratory experiments and theoretical calculations in order to derive the spectrum in the infrared, millimeter and radio wavelengths, and to estimate the formation and survival of prebiotic molecules in the ISM, which eventually could be released in planet-like environments, providing the building blocks of life.

#### IV. COMPARISON WITH OBSERVATIONS

To compare the results obtained in this study with both observations on Horsehead Nebula and other models already made for the same region, we used the results of Goicoechea *et al.* (2009) and Teyssier *et al.* (2003) for some with some smaller and easier-to-observe hydrocarbons. Comparisons were summarized in Table 3 and test the reliability of the data.

Table 3 – Column densities [ $\text{cm}^{-2}$ ], and abundances [ $n(X)/n(H)$ ] for some well-known molecules in PDR of the Horsehead Nebula, like CCH, *c*-C<sub>3</sub>H<sub>2</sub>, CS and HCS<sup>+</sup>, to compare measurements and models

Autor	Data Type	CCH	<i>c</i> -C <sub>3</sub> H <sub>2</sub>
Goicoechea, 2009	Column Density	$(1.1 \pm 0.3) \times 10^{14}$	$(9.5 \pm 5.0) \times 10^{12}$
	Abundance	$1.5 \times 10^{-8}$	$1.3 \times 10^{-9}$
	Measured	$(1.8 \pm 0.2) \times 10^{14}$	$(1 - 2) \times 10^{13}$
Teyssier, 2003	Model	$(1 - 2.5) \times 10^{14}$	$(0.5 - 1.5) \times 10^{12}$
	Column Density	$8.3 \times 10^{13}$	$8.4 \times 10^{11}$
Authors, 2020	Abundance	$2.6 \times 10^{-8}$	$2.5 \times 10^{-8}$
		CS	HCS <sup>+</sup>
Goicoechea, 2009	Column Density	$(1.12 \pm 1.0) \times 10^{14}$	$(6.8 \pm 0.5) \times 10^{11}$
	Abundance	$3.9 \times 10^{-9}$	$2.3 \times 10^{-11}$
Authors, 2020	Column Density	$6.9 \times 10^{14}$	$1.5 \times 10^{11}$
	Abundance	$6.1 \times 10^{-8}$	$1.8 \times 10^{-11}$

Source: Goicoechea *et al.* 2009, Teyssier *et al.* 2003 and Authors, 2021.

When we researched and compared the abundances derived from the observations of Goicoechea *et al.* (2009) and those obtained in this work, we have a satisfactory agreement with the data. There is mainly a concordance between Ethynyl radical (CCH) molecules and HCS<sup>+</sup> whose

abundances agree in units. In other abundances there is a minor difference, about ten-fold, calculated by the model.

Likewise, there is a discrepancy relation with column densities, but it is only one order of magnitude. If we compare the column densities obtained in this study and those obtained by the model of Teyssier *et al.* (2003) the data agreement is even better, smaller than ten magnitudes.

In both cases, the differences between the presented models, observations and this work are within the acceptable and we can say that the model built here is quite reliable.

#### V. CONCLUSIONS

In this work, we developed a theoretical study about prebiotic molecules in the Horsehead nebula. Our goal was to investigate the abundance of molecules with a prebiotic role in environments like the Horsehead nebula, in view of issues such as the origin of life on Earth and other places in the Universe.

The Horsehead nebula is an archetype of photodissociation region (PDR), with physical and chemical parameters well-known in the literature. Thus, we could modeling this region using the PDR Meudon code which is widely used since can simulate PDRs regions accurately considering the physical and chemical properties of a given system.

At first, we add the in the PDR Meudon code all known reactions of formation and destruction of the pyrrole and pyridine, however, this model presented abundances relatives to H<sub>2</sub> too low to be detected through observations. So, we developed a net of reactions for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) turning them into catalysts for the formation of these prebiotic molecules. For this, we use the circumcoronene as a representative of long-life PAHs. Those net of reactions were made considering that PAHs are hardly destroyed but can be dehydrogenated.

The results of our calculations indicate that PAHs can be an important intermediate species in producing nitrogen heterocycles, as illustrated by the high abundances obtained for pyridine in modeling the Horsehead Nebula.

Our results were compare with simulations and observations reported by Goicoechea *et al.* (2009) and Teyssier *et al.* (2003) and we have a satisfactory agreement with the data, in which there was, at most, a difference of about ten-fold, calculated by the model.

Therefore, after verifying that the model agrees with the observational data for the region, the present simulations demonstrate how the exploration of a few possible routes of production of N-heterocycles resulted in significant abundances for these species. One particularly efficient class of channels for the production of N-heterocycles incorporates polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) as catalysts. Thereby, an exploration of a variety of production paths should reveal more species to be target of astrophysical observations.

#### VI. REFERENCES

- ADAMS, W. S. Some Results with the COUDÉ Spectrograph of the Mount Wilson Observatory, **The Astrophysical Journal** 93, 11, 1941.
- ALLAIN, T., LEACH, S., SEDLMAYR, E. Photodestruction of PAHs in the interstellar medium. II. Influence of the states of ionization and hydrogenation, **Astronomy & Astrophysics** 305, 616, 1996b.

- ALLAMANDOLA, L.J., TIELENS, A.G.G.M., BARKER, J.R. Interstellar polycyclic aromatic hydrocarbons - The infrared emission bands, the excitation/emission mechanism, and the astrophysical implications, **The Astrophysical Journal Supplement Series**, 71, 733-775, 1989.
- ALLAMANDOLA, L.J., HUDGINS, D.M. and SANDFORD, S.A. Modeling the Unidentified Infrared Emission with Combinations of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, **The Astrophysical Journal**, 511, L115, 1999.
- ANDRADE, D.P.P., ROCCO, M.L.M., BOECHAT-ROBERTY, H. M. X-ray photodesorption from methanol ice, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, 409, 1289, 2010.
- ASPLUND, M., GREVESSE, N., SAUVAL, A.J., SCOTT, P. The chemical composition of the Sun. **Annual Reviews of Astronomy and Astrophysics**, 47, 481-522, 2009.
- CANELO, C. M.; FRIAÇA, A. C. S.; SALES, D. A.; PASTORIZA, M. G.; RUCHEL-DUTRA, D. Variations in the 6.2  $\mu\text{m}$  emission profile in starburst-dominated galaxies: a signature of polycyclic aromatic nitrogen heterocycles (PANHs)? **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, 475, 3746, 2018.
- CHARNLEY, S.B., KUAN, Y.J., HUANG, H.C., BOTTA, O., BUTNER, H.M., COX, N., DESPOIS, D., EHRENFREUND, P., KISIEL, Z., LEE, Y.Y., MARKWICK, A.J., PEETERS, Z., RODGERS, S.D. Astronomical searches for nitrogen heterocycles, **Advances in Space Research** 36, 137, 2005.
- CHEN, Y.J., NUEVO, M., YIH, T.S.; IP, W.H., FUNG, H.S., CHENG, C.Y., TSAI, H.R., WU, C.Y. Amino acids produced from the ultraviolet/extreme-ultraviolet irradiation of naphthalene in a H<sub>2</sub>O+NH<sub>3</sub> ice mixture, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society** 384, 605, 2008.
- CORDINER, M.A., MILLAR, T.J., HERBST, E., CHUIMIN, R.Ni., WALSH, C. **Molecular anion chemistry in interstellar and circumstellar environments**. Molecules in Space and Laboratory, meeting held in Paris, France, 2007.
- EHRENFREUND, P., RASMUSSEN, S., CLEAVES, J., CHEN, L. Experimentally tracing the key steps in the origin of life: The aromatic world, **Astrobiology** 6, 490, 2006.
- FLOWER D.R., PINEAU DES FORÊTS, G. The influence of grains on the propagation and structure of C-type shock waves in interstellar molecular clouds, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society** 343, 390, 2003.
- FRENKLACH, M., FEIGELSON, E.D. PAH formation in carbon-rich circumstellar envelopes, **The Astrophysical Journal** 341, 372, 1989.
- GERIN, M., PETY, J., GOICOECHEA, J.R. The Horsehead Nebula, a template source for interstellar physics and chemistry, **Submillimeter Astrophysics and Technology: a Symposium Honoring Thomas G. Phillips**, edited by D. C. Lis, J. E. Vaillancourt, P. F. Goldsmith, T. A. Bell, N. Z. Scoville, & J. Zmuidzinas, vol. 417 of Astronomical Society of the Pacific Conference Series, pp. 165, 2009.
- GLAVIN, D.P., BADA, J.L. Isolation of Purines and Pyrimidines from Murchison Meteorite Using Sublimation, **35th Lunar and Planetary Science Conference**, March 15-19, League City, Texas, abstract 1022, 2004.
- GOICOECHEA, J.R., PETY, J., GERIN, E.A., HILY-BLANT, P., LE BOURLOT, J. The ionization fraction gradient across the Horsehead edge: an archetype for molecular clouds, **Astronomy & Astrophysics**, 498, 771, 2009.
- GONZALEZ GARCIA, M., LE BOURLOT, J., LE PETIT, F., ROUEFF, E. Radiative transfer revisited for emission lines in photon dominated regions, **Astronomy & Astrophysics**, 485, 127, 2008.
- HABING, H. J., The interstellar radiation density between 912Å and 2400Å, **Astronomical Institutes of The Netherlands**, 19, 421-431, 1968
- HOLLIS, J.M., JEWELL, P.R., LOVAS, F.J., REMIJAN, A. Green Bank Telescope Observations of Interstellar Glycolaldehyde: Low-Temperature Sugar, **The Astrophysical Journal** 613, L45 2004.
- HUDGINS, D.M., BAUSCHLICHER, C.W.Jr., ALLAMANDOLA, L.J. Variations in the peak position of the 6.2  $\mu\text{m}$  interstellar emission feature: A tracer of N in interstellar polycyclic Aromatic Hydrocarbon Population, **The Astrophysical Journal** 632, 316, 2005.
- JOBLIN, C., LEGER, A., MARTIN, P. Contribution of polycyclic aromatic hydrocarbon molecules to the interstellar extinction curve, **The Astrophysical Journal**, 393, L79, 1992.
- KRASNOPOLSKY, V.A. A photochemical model of Titan's atmosphere and ionosphere, **Icarus** 201, 226, 2009.
- KRASNOPOLSKY, V.A. Chemical composition of Titan's atmosphere and ionosphere: Observations and the photochemical model, **Icarus** 236, 83, 2014.
- KUAN, Y.J., YAN, C.H., CHARNLEY, S.B., KISIEL, Z., EHRENFREUND, P., HUANG, H.C. A search for interstellar pyrimidine, **Monthly Notices of the Royal Astronomical Society**, 345, 650, 2003.
- LE GAL, R., HERBIST, E., DUFOUR, G., GRATIER, P., RUAUD, M., VIDAL, T.H.G., WAKELAM, V. A new study of the chemical structure of the Horsehead nebula: the influence of grains-surface chemistry, **Astronomy & Astrophysics**, 605, id.A88, 16 pp, 2017.
- LE BOURLOT, J., PINEAU DES FORESTS, G., ROUEFF, E., FLOWER, D.R. Infrared and submillimetric emission lines from the envelopes of dark clouds, **Astronomy & Astrophysics**, 267, 233, 1993.
- LE PAGE, V., SNOW, T. P., BIERBAUM, V. M. Hydrogenation and Charge States of PAHS in Diffuse Clouds. I. Development of a Model, **The Astrophysical Journal Supplement Series**, 132, 233, 2001.
- LE PETIT, F., NEHMÉ, C., LE BOURLOT, J., ROUEFF, E. A model for Atomic and Molecular Interstellar Gas: The Meudon PDR Code, **Astrophysics Journal Supplements Series**, 164, 506, 2006.
- LEGER, A., D'HENDECOURT, L., BOISSEL, P., DESERT, F.X. Photo-thermo-dissociation. I.-A general mechanism for destroying molecules, **Astronomy & Astrophysics**, 213, 351, 1989.

- LEEMKER, M., VAN'T HOFF, M. L. R., TRAPMAN, L., VAN GELDER, M. L., HOGERHEIJDE, M. R., RUIZ-RODRIGUEZ D., VAN DISHOECK, E. F. Chemically tracing the water snowline in protoplanetary disks with HCO<sup>+</sup>, **Astronomy & Astrophysics**, 646, A3, 2021.
- LÓPEZ-SEPULCRE, A., BALUCANI, N., CECCARELLI, C., CODELLA, C., DULIEU, F., THEULÉ, P. Interstellar Formamide (NH<sub>2</sub>CHO), a Key Prebiotic Precursor, **ACS Earth and Space Chemistry**. 3, 10, 2122-2137, 2019.
- MATERESE, C.K., NUEVO, M., SANDFORD, S. A. N- and O-heterocycles Produced from the Irradiation of Benzene and Naphthalene in H<sub>2</sub>O/NH<sub>3</sub>-containing Ices, **The Astrophysics Journal** 800, 116, 2015.
- MATTIODA, A.L., HUDGINS, D.M., BAUSCHLICHER, C.W., ALLAMANDOLA, L.J. Infrared spectroscopy of matrix isolated polycyclic aromatic compounds and their ions. 7. Phenazine, a dual substituted polycyclic aromatic nitrogen heterocycle, **Advances in Space Research** 36, 156, 2005.
- MATTIODA, A.L., BAUSCHLICHER, C.W., RICCA, A., BREGMAN, J., HUDGINS, D.M., ALLAMANDOLA, L.J. Infrared spectroscopy of matrix-isolated neutral polycyclic aromatic nitrogen heterocycles: The acridine series, **Spectrochimica Acta Part A** 181, 286, 2017.
- McELROY, D., WALSH, C., MARKWICK, A.J., CORDINER, M.A., SMITH, K., MILLAR, T.J. The UMIST database for astrochemistry 2012. **Astronomy & Astrophysics**, vol 550, A36, 2013.
- NELSON, D.L., COX, M.M. **Lehninger Principles of Biochemistry**, Publisher: W. H. Freeman, 2012.
- PRASAD, S.S., HUNTRESS, W.T.Jr. A model for gas phase chemistry in interstellar clouds. II - Nonequilibrium effects and effects of temperature and activation energies, **Astrophysical Journal**, Part 1, vol. 239, p. 151-165, 1980.
- PEETERS, E., SPOON, H.W.W., TIELENS, A.G.G.M. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons as a Tracer of Star Formation?, **The Astrophysical Journal** 613, 986, 2004.
- PUGET, J. L., LEGER, A. A new component of the interstellar matter - Small grains and large aromatic molecules, **Annual Review of Astronomy and Astrophysics**, 27, 161, 1989.
- RICCA, A., BAUSCHLICHER, C.W., BAKES, E.L.O. A Computational Study of the Mechanisms for the Incorporation of a Nitrogen Atom into Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Titan Haze, **Icarus** 154, 516, 2001.
- SALAMA, F., GALAZUTDINOV, G.A., KRELOWSKI, J., ALLAMANDOLA, L.J., MUSAEV F. A. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and the Diffuse Interstellar Bands: A Survey, **The Astrophysics Journal** 526, 265, 1999.
- SECKBACH, J., WESTALL, F., CHELA-FLORES, J. Introduction to Astrobiology: Origin, Evolution, Distribution and Destiny of Life in the Universe; **Kluwer Academic Publishers**, Dordrecht, The Netherlands, 2000. Introduction to Astrobiology.
- SHIVAEI, I., REDDY, N.A., SHAPLEY, A.E., SIANA, B., KRIEK, M., MOBASHER, B., COIL, A.L., FREEMAN, W.R., SANDERS, R.L., PRICE, S.H., AZADI, M., ZICK, T. The MOSDEF Survey: Metallicity Dependence of PAH Emission at High Redshift and Implications for 24 μm Inferred IR Luminosities and Star Formation Rates at z~2, **The Astrophysics Journal** 837, 157, 2017.
- SIMON, M.N., SIMON, M. Search for Interstellar Acrylonitrile, Pyrimidine and Pyridine, **The Astrophysics Journal** 184, 757, 1973.
- SOORKIA, S., TAATJES, C.A., OSBORN, D.L., SELBY, T.M., TREVITT, A.J., WILSON, K.R., LEONE, S.R. Direct detection of pyridine formation by the reaction of CH (CD) with pyrrole: a ring expansion reaction, **Physical Chemistry Chemical Physics** 12, 31, 8750, 2010.
- SPOON, H.W.W., KEANE, J.V., TIELENS, A.G.G.M., LUTZ, D., MOORWOOD, A.F.M., LAURENT, O. Ice features in the mid-IR spectra of galactic nuclei, **Astronomy & Astrophysics** 385, 1022, 2002.
- STOKS, P.G., SCHWARTZ, A.W. Nitrogen-heterocyclic compounds in meteorites: significance and mechanisms of formation, **Geochimica et Cosmochimica Acta**, 45, 563, 1981.
- TEYSSIER, D., FOSSÉ, D., GERIN, M., PETY, J., ABERGEL, A., HABART, E. Connection Between PAHs and Small Hydrocarbons in the Horsehead Nebula PhotoDissociation Region, in **SFChem 2002: Chemistry as a Diagnostic of Star Formation**, edited by C. L. Curry and M. Fich, p. 422, 2003.
- TIELENS, A.G.G.M., PEETERS, E., BAKES, E.L.O., SPOON, H.W.W., HONY, S. PAHs and Star Formation, in **Star Formation in the Interstellar Medium: In Honor of David Hollenbach**, edited by D. Johnstone, F. C. Adams, D. N. C. Lin, D. A. Neufeld, and E. C. Ostriker (2004), vol. 323 of **Astronomical Society of the Pacific Conference Series**, p. 135, 2004.
- TIELENS, A.G.G.M. Interstellar polycyclic aromatic hydrocarbons molecules, **Annual Review of Astronomy and Astrophysics** 46, 289, 2008.
- TIELENS, A.G.G.M. Interstellar PAHs and Dust, Planets, Stars and Stellar Systems Vol.5., **Springer Science**, 2013.
- VUONG, M. H., FOING, B. H. Dehydrogenation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the diffuse interstellar medium, **Astronomy and Astrophysics**, 363, L5, 2000.
- WAKELAM, V., *et al.* The 2014 KIDA Network for Interstellar Chemistry. **The Astrophysical Journal Supplement Series**, vol 217, 20, 2015.
- ZHANG, Y., & JIN, L. The evolution of the snow line in a protoplanetary disk. **The Astrophysical Journal** 802, 58, 2015.

## VII. COPYRIGHT

The authors are the only ones responsible for the material included in this article.

## UMA METODOLOGIA BÁSICA PARA O CÁLCULO DE ESTABILIDADE ANGULAR EM GERADORES SÍNCRONOS

### A BASIC METHODOLOGY FOR CALCULATING ANGULAR STABILITY IN SYNCHRONOUS GENERATORS

SERGIO MANUEL RIVERA SANHUEZA<sup>1</sup>; MAXWELL DIÓGENES BANDEIRA DE MELO<sup>2</sup>;  
IVAN NEY ALVIZURI ROMANI<sup>3</sup>; MARILENE ANDREIA MANTOVANI<sup>4</sup>

1; 2; 3; 4 - UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTIS

*sergiorivera@uft.edu.br; maxwellmelo@uft.edu.br; ivanromani@uft.edu.br; marilene.mantovani@uft.edu.br*

**Resumo** – O presente trabalho tem o objetivo de apresentar ao graduando em Engenharia Elétrica uma proposta de metodologia alternativa de compreensão da estabilidade angular de um gerador síncrono. A metodologia consiste na modelagem e na resolução de uma equação diferencial ordinária de segunda ordem que rege o comportamento do gerador síncrono. Conclui-se que é mais acessível entender o problema da estabilidade angular por este método, pois usa-se conhecimentos adquiridos no ciclo básico de formação, e nota-se que na maioria das referências, principalmente em cursos de pós-graduação prefere-se tratar a estabilidade por meio de teoria matricial de controle e da teoria clássica de controle.

**Palavras-chave:** Estabilidade Angular. Máquinas Síncronas. Equações Diferenciais Ordinárias.

**Abstract** – The present work has the objective of showing Electrical Engineering students a proposal for an alternative methodology to understand the angular stability in a synchronous generator. The methodology consists of modeling and solving a second order ordinary differential equation that rules the behavior of the synchronous generator. We conclude that this method makes understanding the problem of angular stability more accessible, since it implements knowledge acquired in the basic undergraduate level cycle. In most references, mainly from graduate courses, it is customary to treat stability through matrix control theory and classical control theory.

**Keywords:** Angular Stability. Synchronous Machines. Ordinal Differential Equations.

#### I. INTRODUÇÃO

Os geradores síncronos têm seu uso bastante difundido na geração de eletricidade e por isso são estudados nos cursos de engenharia elétrica. Um dos tópicos referentes a este tipo de máquina é a estabilidade angular. Esta análise envolve a resolução de equações diferenciais para compreender o comportamento físico dessas máquinas.

A motivação para este trabalho partiu da experiência em sala de aula ao notar-se a dificuldade dos alunos de graduação em Engenharia Elétrica em entender o comportamento dinâmico dos geradores síncronos. A bibliografia referente ao assunto dá maior ênfase ao desempenho dos geradores na ocorrência de perturbações na rede elétrica, mas na maioria das vezes falta o detalhamento matemático mais básico para a compreensão do tema.

Partindo dessa premissa neste trabalho pretende-se fazer a resolução das equações diferenciais que regem o comportamento dinâmico dos geradores, bem como uma simulação numérica empregando o Método Trapezoidal Implícito na plataforma Octave<sup>®</sup>. Esta plataforma foi escolhida por sua simplicidade na sua linguagem de programação e por ser de código aberto. Na simulação numérica a faixa do ângulo de operação do gerador síncrono neste trabalho esteve entre 0° e 90°.

Pode-se notar uma abordagem prática sobre estabilidade de geradores síncronos nos artigos de SILVA (2011) e de PARREIRAS *et al* (2017). Esses trabalhos mostram através de métodos preditivos, e principalmente no segundo trabalho, ressalta-se a importância da forma de amortecimento perante uma perturbação. Sobre métodos de estabilidade angular em máquinas síncronas há uma extensa literatura tais como: STEVENSON (1986), MONTICELLI e GARCIA (2011) e ZANETTA JR (2021). GRAINGER, STEVENSON e CHANG (2016), VITTAL *et. al.* (2019) e MOHAN (2016).

Essas bibliografias tratam do comportamento do gerador síncrono perante anomalias ocorridas nas redes elétricas. O objetivo principal deste trabalho é apresentar uma alternativa a essas literaturas pois as mesmas não utilizam de uma abordagem matemática mais básica para a compreensão da estabilidade angular.

Nos cursos de pós-graduação é comum que as disciplinas utilizem materiais próprios dos professores, cabendo destacar aqui GUIMARÃES (2004) e COSTA (2007). Estas referências muitas vezes preferem abordar o tema da estabilidade via a teoria clássica de controle. Na abordagem deste trabalho usa-se a resolução de equações diferenciais de primeira e segunda ordem.

Para a implementação da simulação numérica foi utilizada a obra de CHAPRA e CANALE (2016), que apresenta a descrição do Método Trapezoidal Implícito para resolução de um sistema de equações diferenciais de primeira ordem.

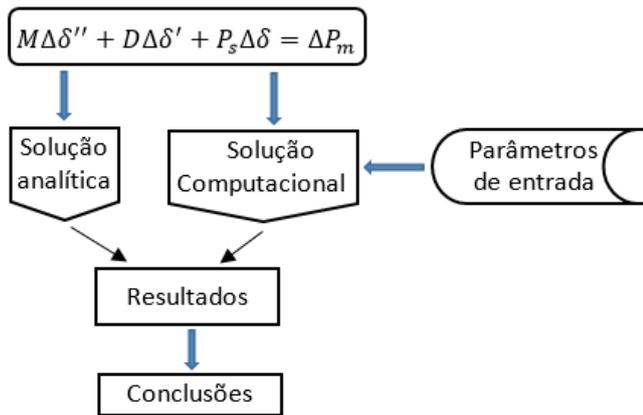
#### II. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho pretende mostrar que um gerador síncrono deve operar com o ângulo entre 0 e 90°. Para isso será realizada a resolução analítica da equação que rege o comportamento dinâmico do gerador síncrono, e em seguida

escreve-se um programa computacional em Octave® para a realização de simulações computacionais sobre a dinâmica do ângulo.

Como a variável a ser analisada é o ângulo de carga do gerador síncrono, será necessário resolver uma Equação Diferencial Ordinária (EDO) de segunda ordem. Para ilustrar a metodologia empregada mostra-se o fluxograma da Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma com as etapas de desenvolvimento do trabalho



Fonte: Autores, 2021.

A função de um gerador síncrono em um sistema elétrico é converter a energia mecânica, proveniente da rotação de uma turbina, em energia elétrica. Para o entendimento do problema da estabilidade angular, as duas seções subsequentes apresentarão como o gerador síncrono se comporta em um sistema elétrico na ocorrência de um desequilíbrio entre as potências elétricas e mecânicas.

Para efetuar esta análise é necessário conhecer a equação do balanço de energia do sistema e a partir desta, fazer a análise de pequenas perturbações.

### 2.1 – Equação de balanço

Quando um gerador está conectado ao sistema elétrico, há uma máquina primária acoplada ao seu eixo, conforme mostra-se na Figura 2.

Com a máquina primária fornecendo potência mecânica  $P_m$  ao gerador síncrono pelo eixo de acoplamento, ocorre a conversão para potência elétrica  $P_e$ .

No eixo, é possível ver que é imposto o conjugado mecânico  $T_m$ , na velocidade  $\omega$ , e como reação tem-se o conjugado elétrico  $T_e$ .

A partir da segunda lei de Newton, as equações que regem a dinâmica da máquina são (STEVENSON, 1986):

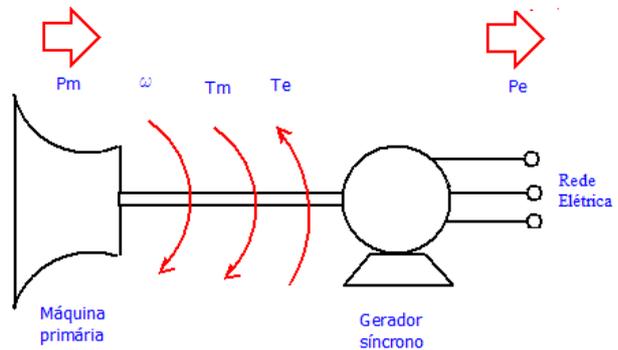
$$\frac{2H}{\omega_s} \frac{d\omega}{dt} = P_m - P_e \quad (1)$$

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega - \omega_e \quad (2)$$

Onde:

- H: Constante de inércia [s];
- $\omega_s$ : Velocidade síncrona [rad/s];
- $\omega$ : Velocidade do rotor [rad/s];
- $\delta$ : Posição angular do rotor.

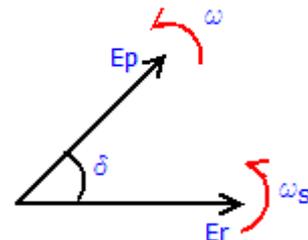
Figura 2 – Gerador síncrono acoplado à máquina primária



Fonte: Autores, 2021.

É admitido que a posição angular do rotor se refere a um eixo  $E_p$  que gira, numa velocidade  $\omega$ , em relação a um eixo de referência  $E_r$ , que por sua vez gira na velocidade síncrona  $\omega_s$ , conforme mostra a Figura 3.

Figura 3 – Posição angular do rotor do gerador síncrono



Fonte: Autores, 2021.

Em condições normais, a velocidade  $\omega$  é a velocidade síncrona  $\omega_s$ . Verifica-se pela equação que as potências mecânica e elétrica devem ser iguais para manter a velocidade constante, o que implica também em uma frequência constante.

No entanto, perturbações podem ocorrer no sistema elétrico, como chaveamento de linhas, perda de geração ou curto-circuito, tudo isso acarreta um desbalanceamento de potências elétrica e mecânica, causando alterações no comportamento dinâmico da máquina síncrona.

### 2.2 – Amortecimentos compensatórios

É importante ressaltar que na prática existem dois tipos de amortecimento devido a um desbalanceamento das potências elétrica e mecânica. O primeiro deles é o próprio enrolamento amortecedor, localizado no rotor da máquina síncrona. Este é responsável por produzir conjugado oposto a um conjugado acelerante ou desacelerante.

O outro, o segundo amortecimento que existe, é o próprio comportamento da carga com a frequência, o que ocorre principalmente com motores de indução. Neste caso, quando a frequência aumenta, a potência elétrica aumenta proporcionalmente.

A inclusão destes dois amortecimentos na modelagem matemática resulta na seguinte Equação (3).

$$\frac{2H}{\omega_s} \frac{d\omega}{dt} + D\omega = P_m - P_e \quad (3)$$

Onde:

D: Coeficiente de amortecimento [pu].

Este coeficiente de amortecimento,  $D$ , não é comentado nas referências voltadas para a graduação, tais como STEVENSON (1986), MONTICELLI e GARCIA (2011) e ZANETTA JR. (2021). Já em bibliografias voltadas para pós-graduação o coeficiente de amortecimento é discutido, tais como GUIMARÃES (2004) e COSTA (2007).

### 2.3 - Análise de pequenas perturbações

É válido destacar que a potência elétrica transmitida entre duas máquinas síncronas é dada por:

$$P_e = \frac{E_1 E_2}{x_{eq}} \text{sen} \alpha \quad (4)$$

Onde:

$E_1$ : Tensão interna da máquina 1;

$E_2$ : Tensão interna da máquina 2;

$x_{eq}$ : Reatância indutiva equivalente entre as duas máquinas;

$\alpha$ : Diferença angular entre as tensões internas.

Conforme visto na Equação (3), o desequilíbrio entre as potências elétrica e mecânica produz alteração na velocidade de rotação e no ângulo de carga. Assim, nesta seção será levantada a equação para pequenas perturbações na máquina, e neste caso usa-se uma pequena alteração na potência mecânica por exemplo.

Supondo que o gerador esteja operando com potência mecânica inicial  $P_{m0}$  e sofra uma pequena perturbação  $\Delta P_m$ , assim, tem-se que:

$$P_m = P_{m0} + \Delta P_m \quad (5)$$

Por causa de  $\Delta P_m$ , haverá uma alteração de  $\Delta \delta$  no ângulo de carga e conseqüentemente também na potência elétrica  $P_e$ .

Utilizando a expansão da série de Taylor, a potência elétrica é dada por:

$$P_e \approx P_{e0} + \left. \frac{\partial P_e}{\partial \delta} \right|_{\delta=\delta_0} \Delta \delta \quad (6)$$

Logo:

$$P_e \approx P_{e0} + \left( \frac{E_1 E_2}{x_{eq}} \cos \delta \right) \Delta \delta \quad (7)$$

O coeficiente entre parênteses é chamado de Potência Sincronizante ( $P_s$ ) dado por:

$$P_s \approx \frac{E_1 E_2}{x_{eq}} \cos \delta \quad (8)$$

Assim as equações podem ser reescritas da seguinte forma:

$$\frac{2H}{\omega_s} \frac{d\Delta\omega}{dt} + P_s \Delta\delta = \Delta P_m \quad (9)$$

$$\frac{d\Delta\delta}{dt} = \Delta\omega - \omega_s \quad (10)$$

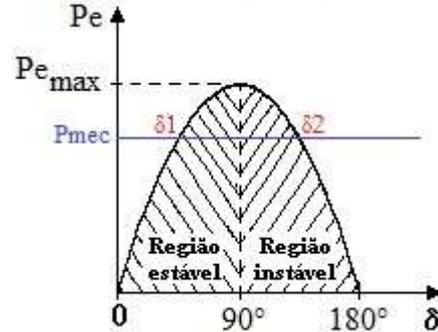
Onde:

$\Delta\omega$ : Alteração ocasionada na velocidade.

### 2.4 – Solução da equação diferencial

Sabendo que no gerador há entrada de potência mecânica constante proveniente da turbina, a potência elétrica que sai do gerador depende dos parâmetros da Equação (7), assim é possível traçar a curva que mostra a potência elétrica e mecânica conforme mostra a Figura 4.

Figura 4 - Curva Potência vs Ângulo do gerador síncrono



Fonte: Guimarães, 2003. Com adaptações.

A Figura 4 mostra que a potência elétrica é uma meia-senoide, que depende do ângulo  $\delta$  e a potência mecânica é uma linha reta, pois é constante. Assim, existem dois pontos de cruzamento, indicados pelos ângulos  $\delta_1$  e  $\delta_2$ . A curva mostra que a região estável de operação é considerada quando  $\delta$  está entre 0 e 90°. Já o intervalo de 90° a 180° é a região de operação instável. Para a demonstração desta afirmativa será realizada a resolução da equação diferencial que rege o comportamento da dinâmica do gerador.

Conforme visto na equação de balanço, Equação (3), o desequilíbrio entre as potências elétrica e mecânica produz alteração na velocidade de rotação e no ângulo de carga. Assim, nesta seção levanta-se a equação para pequenas perturbações na máquina sendo usado neste caso uma leve alteração na potência mecânica.

Supondo-se que o gerador esteja operando com potência mecânica inicial  $P_{m0}$  e sofra uma pequena perturbação  $\Delta P_m$ , conforme indica a Equação (5), como consequência, o ângulo de carga e a potência elétrica sofrerão alterações conseqüentemente de acordo com as seguintes equações:

$$\delta = \delta_0 + \Delta \delta \quad (11)$$

$$P_e = P_{e0} + \Delta P_e \quad (12)$$

Utilizando a equação e a expansão da série de Taylor, a potência elétrica é dada pelas Equações (6), (7) e (8):

Logo, a variação de potência elétrica é dada por:

$$\Delta P_e = P_s \Delta \delta \quad (13)$$

Agora é possível escrever a equação de balanço, dada pela Equação (3), em um novo formato. Com o auxílio das equações (9) e (10), a equação de balanço passa a ser:

$$M \frac{d^2 \Delta \delta}{dt^2} + P_s \Delta \delta = \Delta P_m \quad (14)$$

Com a Equação (14) é possível aplicar uma alteração de potência mecânica  $\Delta P_m$  e assim obter a alteração do ângulo de carga  $\Delta \delta$ . Onde  $M = 2H/\omega_s$  é o momento de inércia.

Em termos práticos, existe amortecimento para a variação do ângulo de carga devido aos seguintes fatores:

- Atuação do enrolamento amortecedor da máquina síncrona;
- Demanda do Sistema Elétrico de Potência (SEP) dependente da frequência;
- Atuação do controlador de velocidade.

Assim, a equação que rege o comportamento da variação do ângulo de carga perante uma alteração da potência mecânica é dada pela Equação (15) (VITTAL *et. al*, 2019).

$$M \frac{d^2 \Delta \delta}{dt^2} + D \frac{d \Delta \delta}{dt} + P_s \Delta \delta = \Delta P_m \quad (15)$$

Onde:

D: Fator de amortecimento.

### 2.5 – Solução analítica

O ângulo inicial de operação  $\delta_0$  é decisivo para que a máquina síncrona permaneça estável na ocorrência de um desbalanceamento das potências mecânica e elétrica, sendo assim, esta seção visa mostrar através da resolução da EDO (15), que o ângulo inicial deve estar abaixo dos  $90^\circ$ .

A equação característica da EDO (15) é dada por:

$$M \lambda^2 + D \lambda + P_s = \Delta P_m \quad (16)$$

A solução homogênea é obtida quando a equação característica é nula, assim:

$$M \lambda^2 + D \lambda + P_s = 0 \quad (17)$$

Neste caso, as raízes  $\lambda_1$  e  $\lambda_2$  são as soluções da equação característica:

$$\lambda_1 = \frac{-D}{2M} + \frac{\sqrt{D^2 - 4P_s M}}{2M} \quad (18)$$

$$\lambda_2 = \frac{-D}{2M} - \frac{\sqrt{D^2 - 4P_s M}}{2M} \quad (19)$$

Fazendo:

$$\omega_n = \frac{\sqrt{D^2 - 4P_s M}}{2M} \quad (20)$$

Por se tratar de uma equação de segunda ordem, há três possíveis soluções considerando as raízes  $\lambda_1$  e  $\lambda_2$ , veja em LINGE e LANGTANGEN (2016).

#### Caso 1: $\lambda_1$ e $\lambda_2$ são reais e distintas.

A solução para  $\Delta \delta$  é uma exponencial, como mostra a Equação (21), onde as constantes  $c_1$  e  $c_2$  dependem das condições iniciais.

$$\Delta \delta(t) = c_1 e^{\lambda_1 t} + c_2 e^{\lambda_2 t} \quad (21)$$

#### Caso 2: $\lambda_1$ e $\lambda_2$ são reais e iguais.

A solução para  $\Delta \delta$  é uma exponencial, como mostra a Equação (22), onde as constantes  $c_1$  e  $c_2$  dependem das condições iniciais.

$$\Delta \delta(t) = c_1 e^{\lambda_1 t} + c_2 t e^{\lambda_2 t} \quad (22)$$

#### Caso 3: $\lambda_1$ e $\lambda_2$ são imaginárias.

Neste caso, a solução para  $\Delta \delta$  é uma senoide amortecida que decai na constante de tempo  $-D/2M$ , como mostra a Equação (23), onde as constantes  $k_1$  e  $k_2$  dependem das condições iniciais.

$$\Delta \delta(t) = e^{\frac{-D}{2M} t} (k_1 \cos \omega_n t + k_2 \sin \omega_n t) \quad (23)$$

Pode-se ver na Equação (23) que a parte real das soluções  $\lambda_1$  e  $\lambda_2$  têm influência no decaimento da oscilação senoidal, ou seja, em D e M.

Já a parte imaginária é responsável pela frequência de oscilação. Nota-se que sem o fator de amortecimento D, a variação do ângulo de carga  $\Delta \delta$  será uma senoide, com comportamento análogo a um pêndulo não amortecido.

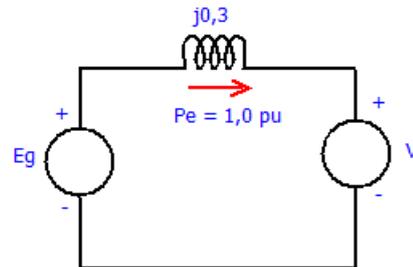
Conforme visto nos três casos acima, os casos 1 e 2 não representam um comportamento estável para  $\Delta \delta$ , pois trata-se de exponenciais que crescem indefinidamente. Porém, o caso 3, onde as raízes da equação característica são complexas, o comportamento de  $\Delta \delta$  é estável, pois se trata de uma senoide, e se houver o coeficiente de amortecimento D, a mesma será amortecida.

Para que as raízes  $\lambda_1$  e  $\lambda_2$  sejam complexas, o valor da potência sincronizante  $P_s$  nas Equações (18) e (19) devem ser positivos, e para que isso ocorra, o ângulo de operação inicial  $\delta_0$  deve estar abaixo de  $90^\circ$ , conforme mostra a Equação (8), da potência sincronizante. Já os ângulos acima de  $90^\circ$  e até  $180^\circ$ , representarão comportamento instável.

## III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção simula-se um gerador síncrono perante uma barra infinita, conforme mostra a Figura 5.

Figura 5 - Gerador síncrono conectado à uma barra infinita



Fonte: Autores, 2021.

Os parâmetros do gerador utilizados na simulação são:

- Potência mecânica inicial:  $P_{m0} = 1,0$  pu;
- Potência elétrica inicial:  $P_{e0} = 1,0$  pu;
- Velocidade síncrona:  $\omega_s = 377$  rad/s;
- Velocidade relativa inicial do eixo:  $\omega_0 = 0$  rad/s;
- Reatância do gerador:  $x_g = 0,3$  pu;
- Fator de amortecimento:  $D = 0,01$ ;
- Tensão interna do gerador:  $E_g = 1,0$  pu;
- Tensão da varra infinita:  $V = 1,0$  pu;
- Constante de inércia:  $H = 3,0$  s.

A perturbação a ser aplicada será um degrau de potência mecânica no valor de  $\Delta P_m$  igual a  $0,1$  pu.

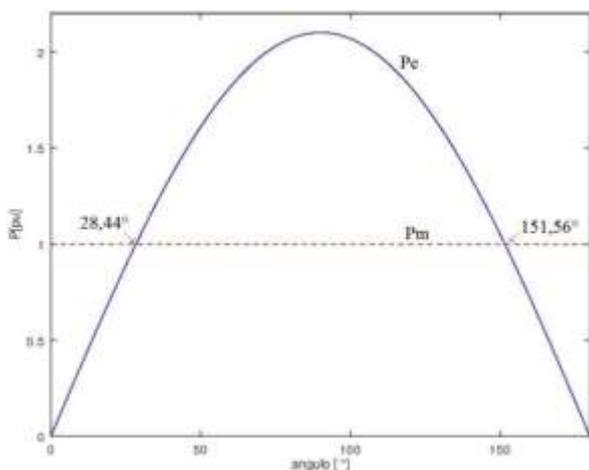
Utilizando os parâmetros acima e a Equação (4) verifica-se que o ângulo de carga inicial  $\delta_0$  é de  $28,44^\circ$ . Este é o ângulo em que a velocidade é constante, pois as potências elétrica e mecânica são iguais. No entanto, se  $\delta_0$  for igual a  $151,56^\circ$ , as potências elétrica e mecânica também serão iguais. A Figura 6 mostra esta relação.

Foi elaborado em Octave<sup>®</sup> um programa computacional para resolver numericamente as Equações (9) e (10), utilizando o método Trapezoidal Implícito. Esta simulação visa saber se o ângulo de carga  $\Delta\delta$  e a velocidade  $\Delta\omega$  permanecerão estáveis caso o ângulo inicial de operação do gerador seja  $28,44^\circ$  ou  $151,56^\circ$ .

Os parâmetros para a simulação são:

1. Tempo inicial: 0
2. Tempo final: 3 s
3. Passo de simulação: 0,001 s
4. Número máximo de iterações: 100

Figura 6 - Potência elétrica em função do ângulo de carga

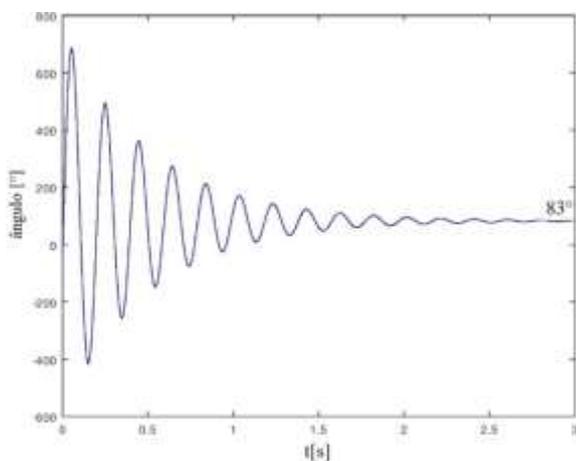


Fonte: Autores, 2021.

### 3.1 – Análise do ângulo de carga

Aplicando um degrau de potência mecânica  $\Delta P_m$  de 0,1 pu, e considerando o ângulo de carga inicial de  $28,44^\circ$ , tem-se o seguinte comportamento da velocidade angular mostrado na Figura 7.

Figura 7 – Velocidade angular do gerador para  $\delta_0=28,44^\circ$



Fonte: Autores, 2021.

Para compreender o gráfico do ângulo visto na Figura 7, é conveniente obter os valores da potência sincronizante  $P_s$  e das raízes da equação característica  $\lambda_1$  e  $\lambda_2$ . Utilizando as tensões do

gerador e da barra infinita, e a reatância na Equação (8), resulta em uma potência sincronizante de  $P_s = 2,93$  pu.

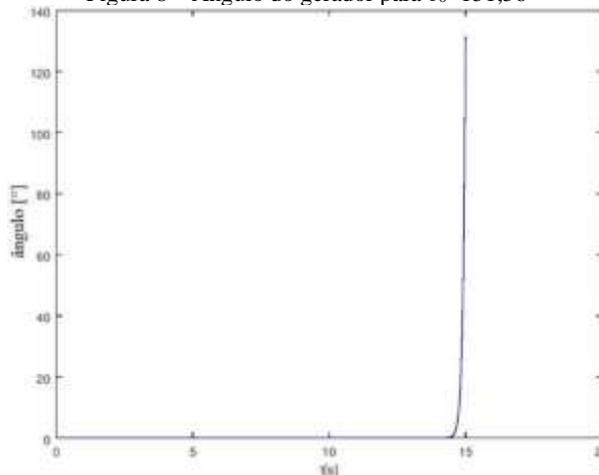
As raízes da equação característica são  $\lambda_1=0,31+j13,57$  e  $\lambda_2 = 0,31-j13,57$ . Conforme visto na seção 2.5, Caso 3, as raízes são imaginárias, o que de acordo com a Equação (23) resulta numa senoide amortecida, que é o que estar sendo mostrado na Figura 7.

Quando o valor inicial de  $\delta_0$  for  $151,56^\circ$ , a resposta para o ângulo de carga é dada pela Figura 8.

Observa-se que agora o valor do ângulo cresce indefinidamente, pois para neste caso a potência sincronizante é  $P_s = -2,93$ . Este valor é negativo pois o cosseno de um ângulo entre  $90^\circ$  e  $180^\circ$  é negativo, e as raízes da equação característica são  $\lambda_1 = 8,69$  e  $\lambda_2 = 9,31$ .

Este comportamento está em consonância com a seção 2.5, Caso 1, onde as raízes são reais e distintas, o que de acordo com a Equação (21) resulta numa exponencial que é mostrada na Figura 8. Como este ângulo não para de crescer o seu comportamento é instável.

Figura 8 – Ângulo do gerador para  $\delta_0=151,56^\circ$

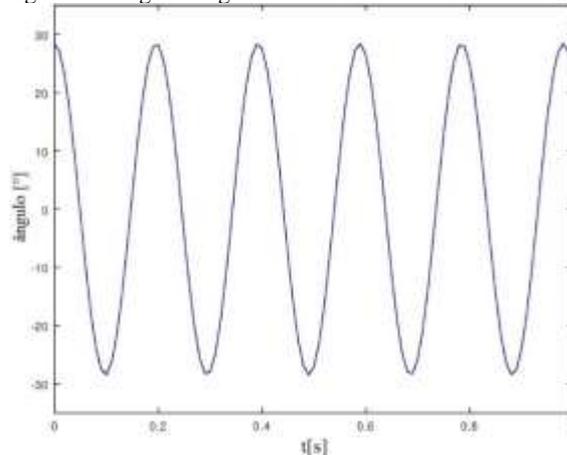


Fonte: Autores, 2021.

### 3.2 – Análise sem o fator de amortecimento

Outro fato que merece destaque é o caso em que o fator de amortecimento é desprezado. Será mostrado aqui apenas para o comportamento do ângulo para  $\delta_0 = 28,44^\circ$ , conforme mostra-se na Figura 9.

Figura 9 – Ângulo do gerador sem o fator de amortecimento



Fonte: Autores, 2021.

Com a ausência do coeficiente de amortecimento  $D$ , as raízes  $\lambda_1$  e  $\lambda_2$  serão puramente imaginárias, o que de acordo

com a seção 2.5, Caso 3, irá resultar numa senoide não amortecida. A velocidade também terá comportamento análogo. Este comportamento é similar a um pêndulo não amortecido.

#### IV. CONCLUSÃO

Conforme visto na Seção III, a variação do ângulo de carga de um gerador síncrono é dada por uma EDO de segunda ordem. Sendo assim, verificou-se que o valor inicial  $\delta_0$  é determinante no comportamento da variação. Caso o ângulo esteja entre 0 e 90°, o comportamento será estável, resultando numa senoide amortecida.

Mostra-se também que quando o fator de amortecimento é ignorado, mesmo que  $\delta_0$  seja menor que 90°, o comportamento será uma senoide não amortecida. Nas tradicionais referências bibliográficas de STEVENSON (1986), MONTICELLI e GARCIA (2011) e ZANETTA JR. (2021), este assunto não é muito discutido, o que deixa uma lacuna nos cursos de graduação, sendo assim, este trabalho é uma pequena contribuição para cursos de graduação em Engenharia Elétrica.

Embora as referências dos cursos de pós-graduação prefiram tratar a estabilidade via a teoria clássica de controle, a abordagem mostrada aqui mostra-se mais acessível para o aluno de graduação, pois utiliza conhecimentos adquiridos nas disciplinas de Cálculo Diferencial e Integral vistas no ciclo básico do curso.

#### V. REFERÊNCIAS

CHAPRA, Steven C.; CANALE, Raymond P. **Métodos Numéricos para a Engenharia**. 7° Edição em Português, Editora AMGH, 2016.

COSTA, Antonio S. **Dinâmica e Controle de Sistemas de Potência**. Capítulo 6, Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

GRAINGER, John J.; STEVENSON, William D.; CHANG, Gary W. **Power Systems Analysis (SI)**. McGraw-Hill Education / Asia, 2nd Edition, 2016.

GUIMARÃES, Geraldo C. **Dinâmica de Sistemas Elétricos**. Universidade Federal de Uberlândia, 2004.

LINGE, Svien; LANGTANGEN, Hans Petter. **Programming for Computations - MATLAB/Octave: A Gentle Introduction to Numerical Simulations with MATLAB/Octave**. eBook Kindle 1st ed., 2016.

MOHAN, Ned. **Sistemas elétricos de potência-curso introdutório**. Editora: LTC, 1ª edição, 2016.

MONTICELLI, Alcir. GARCIA, Ariovaldo. **Introdução à sistemas de energia elétrica** / [2.ed.] Campinas, SP. Editora da UNICAMP, 2011.

PARREIRAS, Thiago José M. A.; GOMES JÚNIOR, Sérgio; TARANTO, Glauco N. Damping Nomogram Method for Small-Signal Security Assessment of Power Systems. **IEEE Latin America Transactions**, v. 15, n. 5, may 2017.

SILVA, Cláudio Homero F. Controle Preditivo Robusto Aplicado à Máquina Síncrono. **Revista Sodebras [on line]**. v. 6, n. 68, Ago./2011, p.3-7. ISSN 1809-3957. Disponível em: <<http://www.sodebras.com.br/edicoes/N68.pdf>>. Acesso em: 20.jan.2021.

STEVENSON, William D. **Elementos de análise de sistemas de potência**. 2° Edição em português. Editora McGraw Hill, 1986.

VITTAL, Vijay; MCCALLEY James D.; ANDERSON, Paul M.; FOUAD, A.A. **Power System Control and Stability**. 3rd Edition, Wiley-IEEE, 2019.

ZANETTA JR, Luiz. C. **Fundamentos de sistemas elétricos de potência**. Editora Livraria da Física, 2021.

#### VI. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.

## ROBÔ EQUILIBRISTA COM DUAS RODAS DE BAIXO CUSTO CONTROLADO POR LÓGICA DIFUSA

### LOW COST TWO WHEELED SELF-BALANCING ROBOT CONTROLLED BY FUZZY LOGIC

ALEX PISCIOTTA<sup>2</sup>, ÁLVARO MANOEL DE SOUZA SOARES<sup>1,2</sup>1 - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP), FACULDADE DE ENGENHARIA,  
GUARATINGUETÁ – SP; 2 - UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ (UNITAU), TAUBATÉ – SP[alex@pisciotta.com.br](mailto:alex@pisciotta.com.br), [alvaro.soares@unesp.br](mailto:alvaro.soares@unesp.br)

**Resumo** – Robôs equilibristas de duas rodas consistem um clássico problema na teoria de controle. Este trabalho demonstra o desenvolvimento de um controlador por Lógica Difusa aplicada ao controle do equilíbrio dinâmico de um robô de duas rodas de forma direta, sem a aplicação de controladores auxiliares. Foi desenvolvido um protótipo de hardware eletromecânico para a execução do experimento e o firmware escrito através da plataforma Arduino® com o uso da biblioteca eFLL, baseada no método de inferência e “defuzzyficação” de Mamdani, sem o auxílio de ferramentas de simulação. São abordados conceitos da Lógica Difusa com o método de Mamdani e apresentados os resultados do sistema de controle desenvolvido, validando a hipótese da possibilidade de obtenção do equilíbrio dinâmico de um robô de baixo custo somente por lógica difusa.

**Palavras-chave:** Lógica Difusa. Lógica Nebulosa. Mamdani. Microcontrolador. Robô Equilibrista.

**Abstract** – Two wheeled self-balancing robots are classic in control theory. This paper present the development of a Fuzzy Logic Controller applied to directly control the dynamics balance of a two-wheeled robot, with no auxiliary controllers. A mechatronics prototype was specially developed for this experiment and firmware was written using Arduino® IDE and eFLL (embedded Fuzzy Logic Library) based on Mamdani’s inference and “defuzzyfication” methods, with no use of any simulation tool. The experiments results are presented, validating the initial hypothesis that it is possible to control a low cost two-wheeled self-balancing robot using just Fuzzy Logic.

**Keywords:** Fuzzy Logic. Mamdani. Microcontroller. Self-Balancing Robot.

#### I. INTRODUÇÃO

Um robô equilibrista de duas rodas é um sistema naturalmente instável (ESMAEILI, ALFI e KHOSRAVI, 2017), uma variação do sistema “carro com pêndulo invertido” (CHOUINARD, 2019) em que o centro de massa localiza-se acima do ponto de apoio e a estabilidade vertical é obtida através do controle dos atuadores em sua base (BLOMSTEDT, HARALDSSON e NORDIN, 2016).

Existem diversos métodos de controle para obter o equilíbrio dinâmico do sistema, podendo ser lineares ou não-lineares. A maioria dos controladores lineares é simples de se desenvolver e de implementar, mas o desempenho é limitado devido às aproximações, enquanto a maioria dos controladores não-lineares possuem melhor desempenho,

mas são complexos para desenvolver e implementar (MUHAMMAD *et. al.*, 2019).

Através do modelamento físico por equações dinâmicas de Newton-Euler é obtido o modelo matemático usado para relacionar entradas e saídas, determinando um sistema de controle (BLOMSTEDT, HARALDSSON E NORDIN, 2016). Geralmente o modelo matemático obtido contém simplificações e incertezas por linearização através de algum método de aproximação como o método não-linear de Estados de Espaço ou Lagrange.

O controlador PID (Proporcional, Integral e Derivativo) é um clássico método aplicado em diferentes problemas. Contudo, a determinação das constantes de multiplicação de cada termo não é uma tarefa trivial para um sistema não-linear (RAM e KUMAR, 2017), pois além das simplificações do modelo matemático do sistema físico (eletromecânico), necessita ainda de um processo de sintonia do sistema para que a aplicação responda adequadamente na prática, sendo um dos mais conhecidos o método *Ziegler-Nichols* (CHIA, 2017).

Além do controle PID, podem ser empregados outros métodos de controle, como o Controle Robusto  $H_{\infty}$  aplicado por Dan e Wang (2016), ou LQR (*Linear Quadratic Regulator* – Regulador Linear Quadrático em inglês), dentre outros.

A Lógica Difusa, também conhecida como Lógica Nebulosa (*Fuzzy Logic* em inglês) é ideal para aplicações não-lineares ou em que a determinação do modelo matemático é de difícil obtenção. Existem trabalhos em que são empregados métodos para sintonia automática do controlador PID utilizando-se lógica difusa.

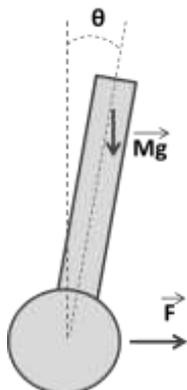
Este trabalho, porém, propõe a aplicação da Lógica Difusa para controlar diretamente os atuadores do sistema para a obtenção do equilíbrio dinâmico com o emprego da biblioteca eFLL (*Embedded Fuzzy Logic Library*) (KRIDI *et. al.*, 2012) em um robô equilibrista de baixo custo especialmente desenvolvido para este trabalho, a exemplo de Gonzalez (2017). Aplica-se o método hipotético-dedutivo, realizando-se experimentações com os elementos do protótipo até sua concepção, formulando-se as hipóteses para o funcionamento correto do sistema sem a ajuda de ferramentas computacionais de simulação, permitindo assim a criação da base de regras e definição das variáveis linguísticas do sistema de controle por lógica difusa.

## II. ROBÔ EQUILIBRISTA

A principal característica de um robô equilibrista de duas rodas é sua condição naturalmente instável, com dinâmica não-linear, que atrai a atenção de muitos pesquisadores desafiados em determinar o sistema controle para permitir seu equilíbrio (MUHAMMAD *et. al*, 2019).

A condição estável desse sistema é a haste na horizontal com a massa tocando a base de apoio devido à ação da força gravitacional. Para que o mastro se mantenha na posição vertical é necessário que o carro faça movimento na direção em que o mastro se inclina, (BLOMSTEDT, HARALDSSON e NORDIN, 2016).

Figura 1 - Representação do modelo físico



Fonte: Autores.

Os robôs equilibristas pertencem a classe de sistemas mecânicos não-holonômicos (KĘDZIERSKI e TCHOŃ, 2017).

## III. LÓGICA DIFUSA

Lógica Nebulosa, ou Lógica Difusa, do inglês Fuzzy Logic é um método de tomada de decisões baseado na incerteza. É utilizada para solucionar problemas em que a imprecisão e a incerteza são variáveis complexas que dificultam o modelamento matemático desses problemas e a implementação de controladores convencionais, baseando-se no conhecimento de especialistas para definir os modos de controle (PRADO e MASSELLI, 2017).

Considera-se Lotfi Aliasker-Zadeh, Doutor na Universidade da Califórnia, como o criador da Lógica Difusa, mas outros autores afirmam que Zadeh formulou em 1965 a teoria da lógica difusa baseado no trabalho de Jan Lukasiewicz que, em 1920, apresentou conjuntos com grau de pertinência 0, 1/2 e 1, e mais tarde passou a considerar o intervalo de infinitos valores entre 0 e 1.

Enquanto zero representa completamente falso, o valor um representa completamente verdadeiro, e qualquer valor dentro dessa faixa indica um grau de verdade, definido como grau de pertinência. O conceito de pertinência da lógica difusa se aproxima do pensamento humano e da intuição (HARLIANAL e RAHIM, 2017).

A Lógica Difusa utiliza conjuntos em um domínio que podem significar uma incerteza em resposta a uma afirmação. A lógica difusa utiliza variáveis linguísticas para definir possibilidades e graus de pertinência dessa variável no conjunto de elementos. Os elementos podem ser combinados de acordo com regras “se, então” formando sua base de regras que, através do mecanismo de inferência, resultam em saídas linguísticas que são transformadas em resultados numéricos

durante o processo de “defuzzyficação”, como é representado pela figura 2.

Figura 2 - Diagrama básico de um controlador difuso



Fonte: Autores.

Em 1974, Ebrahim Mamdani foi o primeiro a aplicar os conceitos de Lógica Difusa em um sistema de controle real, abrindo campo para tratar com problemas complexos nos quais o modelo matemático é desconhecido, difícil de ser obtido e até em sistemas não-lineares.

Um sistema de Controle por Lógica Difusa é construído em quatro etapas básicas:

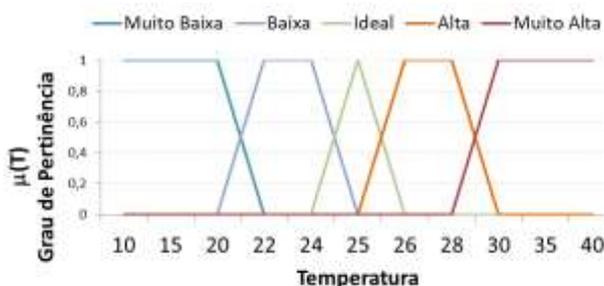
- “Fuzzyficação” (variáveis e termos linguísticos, funções de pertinência);
- Regras Fuzzy construídas através da base de conhecimento;
- Motor ou Mecanismo de Inferência;
- “Defuzzyficação”.

Para desenvolver um sistema de controle difuso é necessário definir as entradas e saídas, suas correspondentes variáveis linguísticas e seus termos. Depois, definir as funções de pertinência e um conjunto de regras que serão responsáveis por calcular a saída do controlador baseado no mecanismo de inferências. A “defuzzyficação” é o processo pelo qual as saídas são numericamente calculadas para uso no sistema atuador.

As variáveis linguísticas representam características conhecidas, às quais se definem termos ou valores linguísticos que remetem a estados conhecidos designados por nomenclaturas de fácil compreensão humana e denotam valores inexatos. No caso da temperatura de uma sala, poderia-se definir a variável linguística Temperatura e seus possíveis valores linguísticos como Muito Baixa, Baixa, Ideal, Alta e Muito Alta.

As Funções de Pertinência relacionam as variáveis linguísticas a valores numéricos no domínio considerado em diferentes intensidades chamadas de grau de pertinência, através de funções matemáticas que podem ser representadas graficamente, como observado na figura 3. As funções de pertinência podem ser triangulares, trapezoidais, sigmoidais, gaussianas ou ainda singleton.

Figura 3 - Exemplo de funções de pertinência



Fonte: Autores.

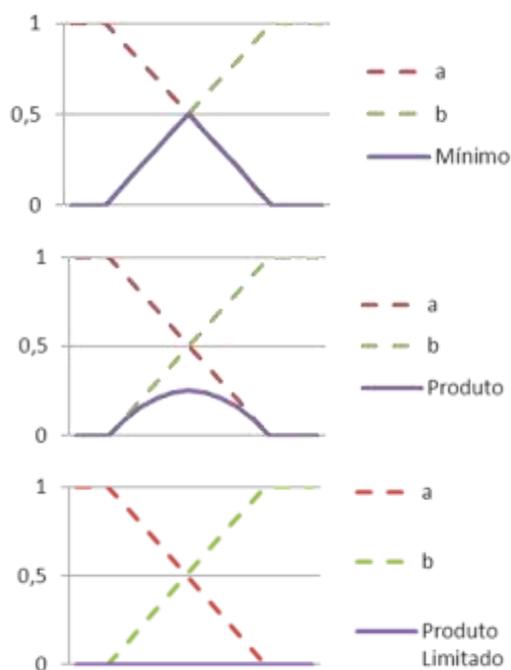
As Regras Linguísticas Fuzzy compreendem um conjunto de regras Se – Então relacionando uma condição e uma conclusão, e são determinadas por um especialista no processo que se deseja controlar (PRADO e MASSELLI, 2017).

São utilizados operadores em Fuzzy de acordo com a teoria de conjuntos, que são basicamente E, OU e NÃO. Diferentemente das operações lógicas padrão, os operandos A e B são conjuntos de valores dentro de um intervalo [0, 1] (HARLIANAL e RAHIM, 2017).

1. Intersecção: A e B, também representado por  $A \cap B$  representa a parte comum ao conjunto A e B ao mesmo tempo. Os métodos para composição ou “fuzzyficação” são representados pela figura 4, e correspondem a:

- a. Implicação Mínima, seleciona-se o menor dos valores das entradas;
- b. Implicação de Produto, em que se multiplicam os valores das entradas, considerado mais simples;
- c. Método do Produto Limitado que considera o máximo entre 0 e a operação  $a + b - 1$ .

Figura 4 - Opções de Operador E (intersecção)

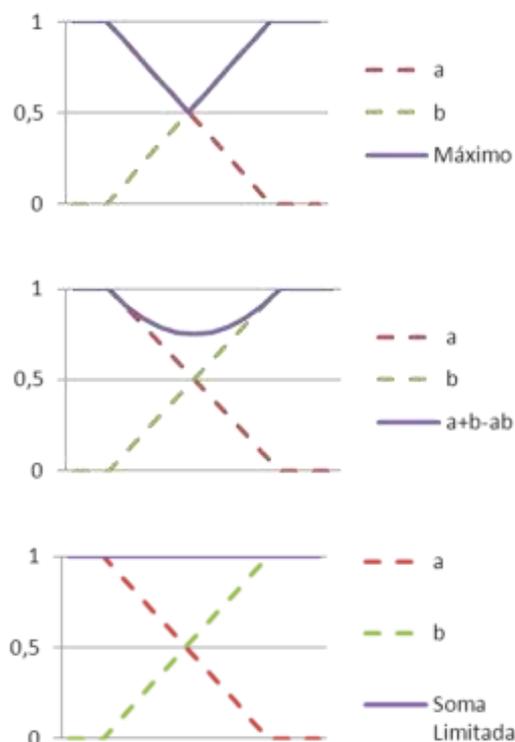


Fonte: Autores.

2. União: A ou B, também representado por  $A \cup B$  que resulta a totalidade dos conjuntos A + B, com os métodos de composição representados pela figura 5 como segue:

- a. Implicação Máxima, em que se adota o máximo valor das entradas;
- b. Implicação da Soma Menos o Produto, ou Soma Algébrica, dado por  $A+B - A.B$ ;
- c. E ainda a Soma Limitada, dado pelo mínimo entre 1 e a soma da pertinência de A e B:  $\min(1, \mu_A(x) + \mu_B(x))$ .

Figura 5 - Opções de Operador OU (união)



Fonte: Autores.

3. Negação: NÃO A, NOT A, ou !A, onde A é a exceção, ou seja,  $1 - A$ .

A Inferência Fuzzy é o processo em que os resultados Fuzzy são calculados através de operadores como o Complemento Fuzzy, a Intersecção Fuzzy e a União Fuzzy, como apresentado anteriormente. Esse processo verifica todas as regras em que se satisfaçam as condições, obtendo-se as saídas Fuzzy correspondentes a cada regra com o respectivo grau de pertinência. As saídas são combinadas através dos operadores Fuzzy E e OU aplicados por um dos métodos apresentados nas figuras 4 e 5.

Existem três tipos de inferência em um sistema de Lógica Difusa: Mamdani, Takagi-Sugeno e Tsukamoto. (WULANDARI, PRIHATIN e MERLINA, 2018).

Os métodos Tsukamoto e Mamdani são similares por representarem a saída como um valor fixo, resultante da combinação dos valores de cada regra avaliada, mas diferem no método de Inferência e de “defuzzyficação”.

O método Tsukamoto usa a avaliação do mecanismo de inferência por implicação MÍNIMA, e o método de “defuzzyficação” é dado pelo método da MÉDIA CENTRALIZADA. O método de Mamdani usa implicação MÍNIMA para regras de composição e MÁXIMO para motor de Inferência, com o método do CENTRÓIDE DE ÁREA no processo de “defuzzyficação” (WULANDARI, PRIHATIN e MERLINA, 2018).

A “defuzzyficação” é o processo de transformação dos valores Fuzzy resultantes do processo de inferência em valores de saída numéricos, e possui dois principais métodos para a “defuzzyficação”: Mamdani e Takagi-Sugeno (TS). Mamdani defende que os resultados das inferências Fuzzy devem ser constantes, enquanto Takagi-Sugeno defende que a saída deve ser uma função da entrada (HASAN *et. al.*, 2017). A “defuzzyficação” por Mamdani pode utilizar diferentes

formas de cálculo, como o Método do Centro de Área (ou Centro de Gravidade) da figura geométrica resultante da função inferida (CDA), o Critério do Máximo (MAX) que escolhe o ponto onde a função inferida tem o seu máximo, ou a Média dos Máximos (MDM) que representa o valor médio dentre todos os pontos de máximo quando existe mais de um máximo.

#### IV. A BIBLIOTECA eFLL

A biblioteca para sistemas embarcados eFLL foi desenvolvida pelo *Robotic Research Group* (RRG – Grupo de Pesquisa Robótica) da Universidade Estadual do Piauí em 2011 e pode ser utilizada em qualquer plataforma que aceite instruções em linguagem C++, incluindo a plataforma Arduino. A limitação do uso da biblioteca encontra-se na capacidade de memória do dispositivo para armazenar todas as variáveis necessárias aos cálculos por esse método (KRIDI, ALVES, *et al.*, 2012).

A biblioteca utiliza o método de inferência Máximo-e-Mínimo, o método de composição Mínimo de Mamdani e o método de “Defuzzyficação” por cálculo do centro de área (PRADO e MASSELLI, 2017).

No trabalho de Kridi (2012) a biblioteca é descrita como uma composição de 4 classes que contém métodos específicos para a configuração e execução do processamento. Contudo, no trabalho de Prado (2017) observa-se que a biblioteca recebeu aprimoramentos para permitir a adoção de infinitas entradas e saídas, além de simplificar seu uso.

#### V. RESULTADOS

##### 5.1 – Hardware

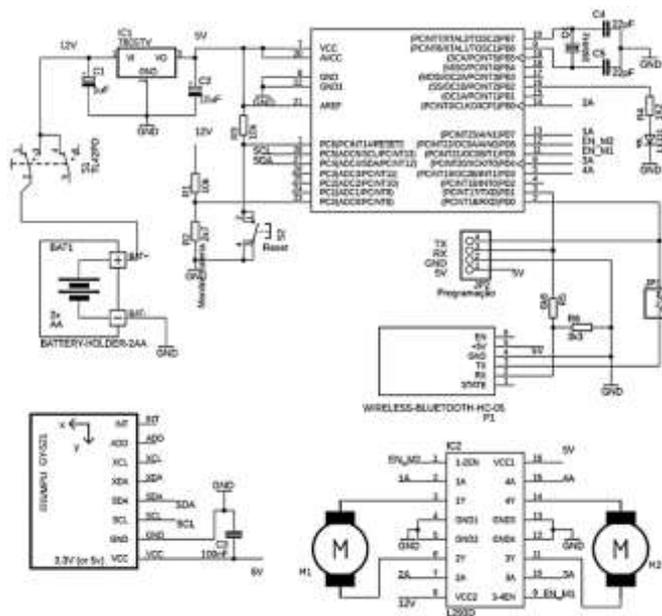
O robô desenvolvido para o experimento é composto por um microcontrolador de oito bits ATMEGA328P, uma unidade de medição inercial utilizada para a medição da inclinação do robô, dois motores de corrente contínua como atuadores, além da fonte de alimentação elétrica.

O microcontrolador possui seis pinos de saída PWM (*Pulse Width Modulation* – do inglês, modulação por largura de pulso) que permite o controle da velocidade dos motores de corrente contínua através de um circuito integrado amplificador de corrente (L293D).

O sensor MPU-6050 é composto por um acelerômetro de três eixos e um giroscópio de três eixos, e se comunica através de um barramento I<sup>2</sup>C (*Inter Integrated Circuit*) e os sinais devem passar por filtro digital para indicar corretamente o ângulo de inclinação do robô. Todo o circuito é alimentado por uma bateria de três células de Lítio-Polímero. A figura 6 apresenta o diagrama esquemático do circuito eletrônico.

Existe um conector para instalação de um módulo de comunicação serial *BlueTooth* que pode ser utilizado para a programação do robô e para a coleta de dados instantâneos durante os experimentos.

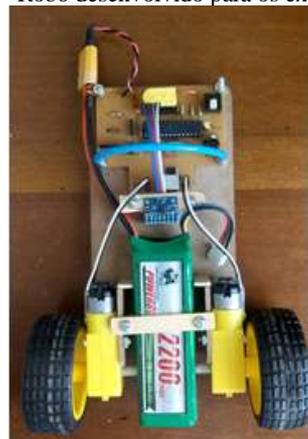
Figura 6 - Esquemático do circuito eletrônico



Fonte: Autores.

O sistema mecânico foi determinado para concentrar a massa no centro do robô, acima do eixo dos motores acoplados a caixas de redução mecânicas, com as rodas dispostas de forma coaxial na base. O sensor inercial foi posicionado no centro de massa determinado através de experimentação prática (região de equilíbrio). A figura 7 apresenta a imagem da montagem utilizada nos experimentos.

Figura 7 - Robô desenvolvido para os experimentos



Fonte: Autores.

##### 5.2 – Sistema de Controle

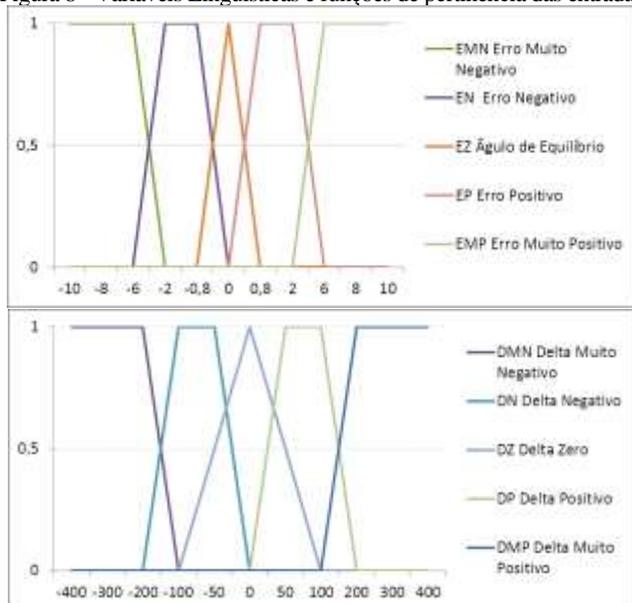
Leituras de giroscópios e acelerômetros são afetadas por uma grande quantidade de interferências e ruído. Para eliminar reações indesejadas devido a ruído são aplicados filtros nos dados lidos. Os filtros mais comuns utilizados em robôs equilibristas são o Filtro de Kalman e o Filtro Complementar. O Filtro Complementar não atua nos sinais, mas no ruído, e estima o ângulo de múltiplas fontes contendo dados errados, segundo Krishna and Rao (2016). O filtro de Kalman é utilizado para fundir dados de dois sensores, e é um conjunto de equações matemáticas que provêm meios computacionais recursivos para estimar o estado de um processo de uma forma que minimiza a média do erro

quadrático. Afirmando ainda que esse filtro é muito poderoso uma vez que pode estimar estados do passado, presente e até futuro mesmo que a natureza do sistema modelado seja desconhecida.

Prasetio (2018) apresenta um Sistema de controle que inclui sensores de proximidade capazes de antever distúrbios com a aplicação do filtro de Kalman, e por esse motivo foi escolhido esse método para o tratamento dos sinais provenientes do acelerômetro e giroscópio.

Foram definidas as variáveis linguísticas de entrada e de saída e seus respectivos graus de pertinência, conforme pode ser observado na figura 8.

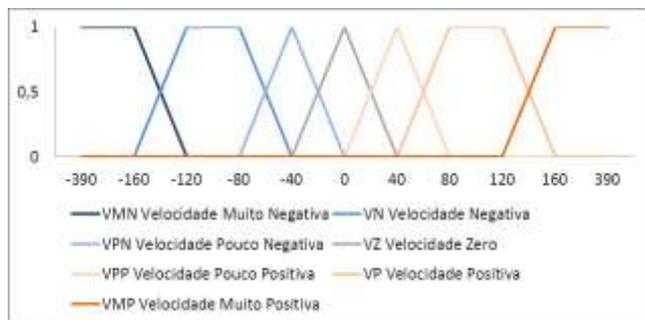
Figura 8 - Variáveis Linguísticas e funções de pertinência das entradas



Fonte: Autores.

A saída velocidade é apresentada na figura 9, e corresponde ao valor PWM a ser enviado aos motores, que varia de 0 a 255. As maiores variáveis linguísticas passam do limite de 255 porque durante a defuzzificação os cálculos se baseiam em centro de gravidade da figura, ou seja, apresentará como saída máxima o valor correspondente do centro de gravidade do trapézio de VMP, por exemplo.

Figura 9 - Variáveis linguísticas e funções de pertinência da saída



Fonte: Autores

Com a definição das variáveis linguísticas foi possível definir o conjunto de regras do sistema de controle, baseado em observações do sistema físico e na intuição do autor após experimentos com o hardware desenvolvido, resultando na tabela 1.

Tabela 1 - Regras do sistema Fuzzy

Delta / Erro	EMN	EN	EZ	EP	EMP
DMN	VMP	VMP	VP	VZ	VN
DN	VMP	VP	VPP	VPN	VN
DZ	VMP	VP	VZ	VN	VMN
DP	VP	VPP	VPN	VN	VMN
DMP	VP	VZ	VN	VMN	VMN

Fonte: Autores.

Com a definição do conjunto de regras “se – então” obteve-se um conjunto de 25 combinações possíveis entre as entradas, com sete diferentes saídas. As definições foram transformadas em código de programação utilizando a biblioteca multi-plataforma eFLL.

A primeira tentativa de utilização da biblioteca eFLL para inserir o controlador Fuzzy no microcontrolador considerando 25 regras distintas não apresentou erro de compilação, mas o sistema permaneceu inoperante.

Concluiu-se que a memória do microcontrolador foi insuficiente para processar as 25 regras. Assim foram empregados operadores E e OU para agrupar regras, reduzindo a sete, sendo uma para cada possível saída.

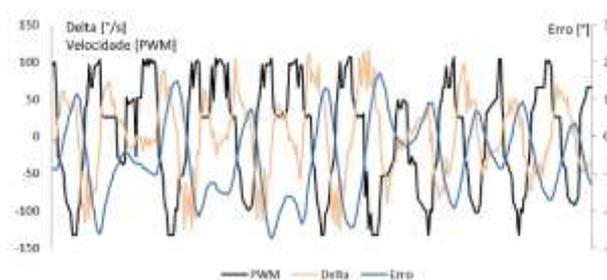
Depois que o número de regras foi reduzido e o programa foi recompilado, o sistema respondeu com variações na saída, e após ajustes do ângulo de equilíbrio (*offset*) o robô foi capaz de se equilibrar, atuando os motores para movimentar o robô na direção de inclinação, buscando o equilíbrio, como observado na figura 9. A figura 10 apresenta a leitura dinâmica dos sensores e a saída PWM obtida através da porta de comunicação serial do robô.

Figura 9 - Controlador Difuso em funcionamento



Fonte: Autores

Figura 10 - Resposta do sistema em equilíbrio dinâmico



Fonte: Autores.

## VI. CONCLUSÃO

O desenvolvimento do sistema de controle por Lógica Difusa permitiu o controle do equilíbrio dinâmico do robô de

duas rodas e baixo custo, que emprega motores de corrente contínua e um microcontrolador de oito bits programado em plataforma Arduino®. O uso da biblioteca eFLL facilitou a implementação, embora possa ter limitado o número de regras possíveis.

Em continuidade, futuros estudos podem comparar os valores e o comportamento do sistema obtidos neste experimento aplicando-se novo conjunto de regras, ou ainda formulando-se o próprio mecanismo de inferência sem a utilização da biblioteca eFLL. Outra comparação pertinente seria entre os resultados dos métodos de Tsukamoto, Takagi-Sugeno e Mamdani.

É possível também implantar a funcionalidade de comunicação remota com o robô para controlar seu deslocamento através de um dispositivo Bluetooth.

## VII. REFERÊNCIAS

- BLOMSTEDT, J.; HARALDSSON, J.; NORDIN, J. Expressive Arduino Controlled Self-Balancing Robot. UPPSALA Universitet, 2016.
- GONZALEZ, C.; ALVARADO, I.; MUÑOZ LA PEÑA, D. Low cost two-wheels self-balancing robot for control education. Universidade de Sevilla, 2017.
- KĘDZERSKI, J.; TCHOŃ, K. Feedback Control of a Balancing Robot. **Wroctaw University of Technology**, ul. Janiszewskiego 11/17, p. 50-317, Poland, 2017.
- RAM, S. S.; KUMAR, D. D. Designing of Optimization Techniques based PID controller for Self-Balancing Bicycle. **International Journal of Advances in Computer and Electronics Engineering**, Vol. 2, Issue 6, p. 21-25, June 2017.
- PRASETIO, B. H.; KURNIAWAN, W. Disturbance rejection using feed-forward control system on self balancing robot?. **MATEC Web of Conferences 154, University of Brawijaya, Indonesia**, 2018.
- KRIDI, D. S.; ALVES, A. J. O.; LEMOS, M. V. S.; RABÊLO, R. A. L. **Desenvolvimento de uma biblioteca Fuzzy para o controle autônomo de um robô móvel em ambiente desconhecido**. Universidade Estadual do Piauí, Teresina, PI, 2012.
- PRADO, L. A.; MASSELLI, Y. M. C. **Fuzzy Logic and Arduino Application on process control**. SAISEE – Industrial Automation and Electric-Electronics Systems Seminar, INATEL, 2017.
- ESMAEILI, N.; ALFI, A.; KHOSRAVI, H. **Balancing and Trajectory Tracking of Two-Wheeled Mobile Robot Using Backstepping Sliding Mode Control: Design and Experiments**. Springer Science + Business Media Dordrecht, 2017.
- CHOUINARD, Ugo; ACHICHE, Sofiane; SANTOS, Ilmar; BARON, Luc. Robust Design Support using Fuzzy Simulation of Uncertain Dynamic System: A Self-Balancing Robot Case Study. **DINAME 2019 - Proceedings of the XV International Symposium on Dynamic Problems of Mechanics**, M.A. Savi, T.G. Ritto and W.M. Bessa (Editors), ABCM, Buzios, RJ, Brazil, March 10th to 15th, 2019.
- MUHAMMAD, Mustapha; BATURE, Amir A., ZANGINA, Umar; BUYAMIN, Salinda; AHMAD, Anita; SHAMSUDIN, Mohamad A. Velocity control of a two-wheeled inverted pendulum mobile robot: a fuzzy model-based approach. **Bulletin of Electrical Engineering and Informatics**, Vol. 8, No. 3, September 2019, pp. 808-817 ISSN: 2302-9285, DOI: 10.11591/eei.v8i3.1594, 2019.
- CHIA, Kim Seng. Ziegler-Nichols Based Proportional-Integral-Derivative Controller for a Line Tracking Robot. **Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science**, Vol. 9, No. 1, January 2018, pp. 221~226, ISSN: 2502-4752, DOI: 10.11591/ijeecs.v9.i1.pp221-226, 2017.
- HARLIANAL, Putri; RAHIM, Robbi. Comparative Analysis of Membership Function on Mamdani Fuzzy Inference System for Decision Making. **International Conference on Information and Communication Technology (IconICT)**, IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 930 (2017) 012029, doi: 10.1088/1742-6596/930/1/012029, 2017.
- WULANDARI, D.; PRIHATIN, T.; MERLINA, Nita. A Comparison Tsukamoto and Mamdani Methods in Fuzzy Inference System for Determining Nutritional Toddlers. **2018 6th International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM)**, 2018.
- HASAN, Mohd Hilmi; AZIZ, Izzatdin Abdul; JAAFAR, Jafreezal; RAHIM, Lukman AB; MANYIEL, Joseph Mabor Agany. A Comparative Study of Mamdani and Sugeno Fuzzy Models for Quality of Web Services Monitoring. **(IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications**, Vol. 8, No. 9, 2017.

## VIII. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.