
REVISTA

PESQUISA NAVAL

NÚMERO 32 - 2020

REVISTA
**PESQUISA
NAVAL**

A Revista Pesquisa Naval tem como missão proporcionar à comunidade científica um canal formal de comunicação e de disseminação da produção técnico-científica nacional, por meio da publicação de artigos originais que sejam resultados de pesquisas científicas e que contribuam para o avanço do conhecimento nas áreas de interesse da MB. Os artigos aqui publicados não refletem a posição ou a doutrina da Marinha e são da responsabilidade dos seus autores.

PATROCÍNIO

Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha - DGDNTM

EDITOR-CHEFE

Almirante de Esquadra Marcos Sampaio Olsen

Diretor-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha

EDITORES ADJUNTOS

Vice-Almirante Paulo César Colmenero Lopes

Diretor do Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo - CTMSP

Contra-Almirante Marcelo Gurgel de Souza

Diretor do Centro Tecnológico da Marinha no Rio de Janeiro - CTMRJ

Contra-Almirante (RM1-EN) Humberto Moraes Ruivo

Diretor da Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade - AgNSNQ

Contra-Almirante (RM1) Paulo Cesar Demby Corrêa

Assessor-Chefe de Relações Institucionais e Comunicação Social da DGDNTM

CONSELHO EDITORIAL

CC Gustavo Machado Rocha

1Ten (RM2-T) Tatiane Guimarães dos Santos Antonioli

2Ten (AA) Ana Cristina dos Santos Dutra

SCNS Janice Romaguera Trotte Duha

EDIÇÃO

Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha - DGDNTM

www.marinha.mil.br/dgdntm/revista

PRODUÇÃO EDITORIAL



Revista Pesquisa Naval / Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha
v. 1, n. 1, 1988 - Rio de Janeiro - RJ - Brasil - Marinha do Brasil

Anual

Título abreviado: Pesq. Nav.

ISSN Impresso 1414-8595 /

ISSN Eletrônico 2179-0655

1. Marinha - Periódico - Pesquisa Científica. Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha.

CDU 001.891.623/.9
CDD 623.807.2

APRESENTAÇÃO

1 DIRETOR-GERAL DE DESENVOLVIMENTO NUCLEAR E TECNOLÓGICO DA MARINHA

Almirante de Esquadra Marcos Sampaio Olsen

DESEMPENHO HUMANO E SAÚDE

3 BIOPROSPECÇÃO MARINHA: DAS CIÊNCIAS DO MAR ÀS CIÊNCIAS DA SAÚDE EM BUSCA DE NOVOS COMPOSTOS BIOATIVOS COM POTENCIAL ANTINEOPLÁSICO

Marine Bio-prospection: from marine biology to health searching for new potential antineoplastic bio-active components

Giselle Pinto de Faria Lopes, Isabel Virgínia Gomes e Silva, Karina Lani Silva, Raquel Ciurvalski Maia, Ricardo Coutinho, Angelica Ribeiro Soares, Maria Helena Campos Baeta Neves

SENSORES, GUERRA ELETRÔNICA E GUERRA ACÚSTICA

10 DESENVOLVIMENTO DE UM VEÍCULO SUBMARINO AUTÔNOMO DE BAIXO CUSTO UTILIZANDO MANUFATURA ADITIVA

Development of a low-cost autonomous underwater vehicle using additive manufacturing

Emerson Coelho Mendonça, Adams Soares Teles, Vilson Berilli Mendes

DESEMPENHO HUMANO E SAÚDE

18 IMPLEMENTAÇÃO DO NÚCLEO DE APOIO À DETECÇÃO E PESQUISA CLÍNICA DA COVID-19 NO HOSPITAL NAVAL MARCÍLIO DIAS

Implementation of the Support Center for COVID-19 Detection and Clinical Research in the Hospital Naval Marcílio Dias

Thaís Chrispim de Souza Carvalho Giangiarulo, Jéssica da Silva Oliveira, Raissa Mirella dos Santos Cunha da Costa, Sâmila Natiane Ferreira, Juliana Aparecida Souza da Paz, Eduardo Siqueira, Marlon Daniel Lima Tonin, Tailah Bernardo de Almeida, Marcelo Leal Gregório, Shana Priscila Coutinho Barroso

NUCLEAR

26 SUBSÍDIOS PARA ELABORAÇÃO DE PLANO DE EMERGÊNCIA EXTERNO: UM ESTUDO PARA ATENDER AO COMPLEXO NAVAL DE ITAGUAÍ

Subsidies for formulation of External Emergency Plan: a study to assist the Naval Complex of Itaguaí

Kellen Stephany Batista Marques

AMBIENTE OPERACIONAL

34 IDENTIFICAÇÃO FORENSE DE DERRAMAMENTOS DE ÓLEO: UM ESTUDO SOBRE A INFLUÊNCIA DO INTEMPERISMO NA IDENTIFICAÇÃO DE FONTES

Forensic fingerprinting of oil spills: a study on the influence of weathering on source identification

Márcio Martins Lobão, Tanise Klein Ramos, Fernanda Freyesleben Thomazelli

PROCESSOS DECISÓRIOS

42 DESENVOLVIMENTO DE UMA TECNOLOGIA COMPUTACIONAL PARA TOMADA DE DECISÃO DE ALTO NÍVEL: UMA CONTRIBUIÇÃO DA MARINHA DO BRASIL PARA SELEÇÃO DE AUTOCLAVES NO COMBATE À COVID-19

Developing a computational technology for high-level making decision: a contribution of the Brazilian Navy to selecting autoclaves in the fight against COVID-19

Natália Oliveira Barbosa de Paula, Igor Pinheiro de Araújo Costa, Marcos Alexandre Pinto de Castro Junior, Luiz Frederico Horácio de Souza de Barros Teixeira, Carlos Francisco Simões Gomes, Marcos dos Santos

TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E DE COMUNICAÇÕES

51 INCUBADORAS DE EMPRESAS DE BASE TECNOLÓGICA: ANÁLISE COMPARATIVA E DISSEMINAÇÃO DE PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS

Technology-Based Business Incubators: comparative analysis and dissemination of sustainable practices

Renato Santiago Quintal

NUCLEAR

59 LEVANTAMENTO DE REQUISITOS DE SISTEMAS DE GESTÃO INTEGRADO PARA SUBMARINOS NUCLEARES

Requirements gathering of integrated management system requirements for nuclear submarines

Antonelly Assis Gregorio de Sousa, José Gilberto Fernandes Junior, Eduardo Henrique Damasceno da Gama, Luciano Carlos Belezia, Ricardo Kropf Santos FERMAM

69 ESTUDO DA TRANSFORMAÇÃO DE FASES INDUZIDA POR DEFORMAÇÃO EM AÇOS INOXIDÁVEIS AUSTENÍTICOS APLICADOS A COMPONENTES DE COMBUSTÍVEIS NUCLEARES

Study of strain-induced phase transformation in austenitic stainless steels applied to nuclear fuel components

Jamil Martins Guimarães Junior



DIRETOR-GERAL DE DESENVOLVIMENTO NUCLEAR E TECNOLÓGICO DA MARINHA

ALMIRANTE DE ESQUADRA MARCOS SAMPAIO OLSEN

A enigmática conjuntura política, social e econômica pela qual o Brasil atravessa, tendo a persistente pandemia da COVID-19 a impor insólitos desafios e restrições orçamentárias, compulsa a formação de uma consciência coletiva por ajustes que o ensejo requer. Faz-se imperativo aperfeiçoar a entrega de serviços e processos à sociedade, mediante uma austera otimização, sem comprometer a eficácia.

Em consonância com a conjuntura em destaque, a Marinha do Brasil, por meio da Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico, órgão central de Ciência, Tecnologia e Inovação da Marinha, envida esforços para pesquisar, desenvolver e adotar produtos e serviços com tecnologias autóctones, devidamente validadas e adaptadas à sua cultura organizacional.

Nesse contexto, a Marinha do Brasil, em parceria com universidades, indústria, institutos e fundações de renome que laboram no campo da Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I), orgulha-se por contribuir para multiplicar conhecimento inovador que incrementa a aplicação dual, inobstantes as paulatinas exigências inerentes ao robustecimento do Poder Naval, mas que também possam materializar-se em préstimos para a Sociedade.

É com fulcro em tais pressupostos que a presente edição da *Revista Pesquisa Naval* apresenta as mais recentes contribuições de caráter científico, elencadas como de amplitude e vulto por abalizadas autoridades acadêmicas, cingindo temas nas áreas de Sensores, Guerra Eletrônica, Guerra Acústica, Desempenho Humano e Saúde, Nuclear, Ambiente Operacional, Processos Decisórios e Tecnologia da Informação e de Comunicações. Em concomitância com importantes avanços tecnológicos alcançados, por um preito de justiça, julga-se oportuno reverenciar os autores dos trabalhos aqui apresentados, reiterando a necessidade conjuntural de perseverarem nos esforços intelectuais em busca do avanço ininterrupto pelo aperfeiçoamento tecnológico.

Boa leitura!



Figura 1

TRANSDUTOR DE COMUNICAÇÃO SUBMARINA

BIOPROSPECÇÃO MARINHA: DAS CIÊNCIAS DO MAR ÀS CIÊNCIAS DA SAÚDE EM BUSCA DE NOVOS COMPOSTOS BIOATIVOS COM POTENCIAL ANTINEOPLÁSICO

Marine Bio-prospection: from marine biology to health searching for new potential antineoplastic bio-active components

Giselle Pinto de Faria Lopes¹, Isabel Virgínia Gomes e Silva², Karina Lani Silva³, Raquel Ciuvalschi Maia⁴, Ricardo Coutinho⁵, Angelica Ribeiro Soares⁶, Maria Helena Campos Baeta Neves⁷

Resumo: A mortalidade por tipo de câncer entre os militares da Marinha difere da população geral de referência e se associa a certas ocupações, evidenciando-se o tumor cerebral em associação com as funções do grupo saúde. Por outro lado, o potencial biotecnológico dos metabólitos secundários de cianobactérias revelou o grande potencial dessas substâncias para uso, principalmente, como fármacos antineoplásicos. Logo, o presente estudo de Pesquisa & Desenvolvimento em Biotecnologia Marinha buscou utilizar de forma sustentável os recursos naturais marinhos, juntando esforços intra e extra-MB para contribuir com soluções de problemas crônicos como o câncer, o qual afeta a qualidade de vida do pessoal militar e civil bem como da sociedade, contemplando diversas subáreas e linhas de pesquisa da Estratégia de Ciência, Tecnologia & Inovação da Marinha do Brasil. Observamos que extratos brutos, principalmente das cianobactérias *Oscillatoria sp.* e *Phormidium sp.*, mostraram efeitos citotóxico e citostático significativos em tumores cerebrais com características moleculares diferentes testados *in vitro*. Também foi demonstrado que os extratos apresentam diferentes classes químicas em sua composição, mas sugerem a presença de alcaloides,

Abstract: Mortality by type of cancer among Navy military members differs from the general reference population and is associated with certain occupations. Out of these associations, we highlight that of brain tumors with the health team. On the other hand, the biotechnological potential of cyanobacterial secondary metabolites has been revealed, particularly as antineoplastic drugs. Therefore, the present Marine Biotechnology Research & Development (R&D) study sought to sustainably use marine natural resources, joining efforts inside and outside the Brazilian Navy to contribute to solving chronic problems such as cancer, which affects the quality of life of military and civilian personnel as well as that of society, contemplating several sub-areas and lines of research of the Brazilian Navy Strategy for Science, Technology & Innovation. We found that crude extracts, particularly from *Oscillatoria sp.* and *Phormidium sp.* cyanobacteria, showed significant cytotoxic and cytostatic effects on brain tumors, with different molecular characteristics when tested *in vitro*. The extracts also showed different chemical classes in their composition, but with the suggested presence of alkaloids, important bioactive compounds with reported

1. Pesquisadora da Divisão de Bioprodutos, Departamento de Biotecnologia Marinha, do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira – Arraial do Cabo, RJ – Brasil. E-mail: giselle.lopes@marinha.mil.br

2. Biotecnologista doutoranda do Programa Associado de Pós-Graduação em Biotecnologia Marinha, Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira / Universidade Federal Fluminense, Arraial do Cabo, RJ – Brasil. E-mail: isabel.virginia.1995@gmail.com

3. Tecnologista da Plataforma de Citometria de Fluxo, Coordenação de Pesquisa, Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva, Rio de Janeiro, RJ – Brasil. E-mail: karinalani@inca.gov.br

4. Chefe do Laboratório de Hemato-oncologia Celular e Molecular, Coordenação de Pesquisa, Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva, Rio de Janeiro, RJ – Brasil. E-mail: raquel.maia@inca.gov.br

5. Chefe do Departamento de Biotecnologia Marinha, Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira, Arraial do Cabo, RJ – Brasil. E-mail: ricardo.coutinho@marinha.mil.br

6. Chefe do Grupo de Produtos Naturais de Organismos Aquáticos, Núcleo em Ecologia e Desenvolvimento Socioambiental de Macaé, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ – Brasil. E-mail: angelica.r.soares@gmail.com

7. Superintendente de Pós-Graduação, Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira, Arraial do Cabo, RJ – Brasil. E-mail: maria.helena@marinha.mil.br

compostos bioativos importantes com ação antineoplásica já descrita. Este estudo apresentou-se extremamente promissor para novas estratégias na área da saúde, principalmente em oncologia, constituindo no avanço de Pesquisa & Desenvolvimento (P&D) com todo o incremento biotecnológico necessário para o desenvolvimento de produtos e serviços interdisciplinares em um futuro próximo.

Palavras-chave: Bioprospecção marinha. Cianobactéria. Tumor cerebral. Potencial antineoplásico.

antineoplastic action. This study is extremely promising for new health strategies, especially in oncology, representing an R&D advancement with all the biotechnological increment necessary to develop interdisciplinary products and services in the near future.

Keywords: Marine bioprospecting. Cyanobacteria. Brain tumor. Antineoplastic potential.

1. INTRODUÇÃO

A atual Política Naval (MARINHA DO BRASIL, 2019) apresenta um Mapa Estratégico da Marinha composto pelos Objetivos Navais, que estão distribuídos em perspectivas interligadas para o período de 2020 a 2039. Entre esses objetivos encontram-se a valorização do pessoal e o apoio à saúde, fatores que contribuem para ampliar ações que promovem a qualidade de vida do pessoal militar e civil. Estudos de Silva, Santana e Dana (2000) e Silva e Santana (2004) demonstraram que a mortalidade por tipo de câncer entre os militares da Marinha difere da população geral de referência e se associa a certas ocupações, evidenciando-se os tumores cerebral e hepático em associação com as funções do grupo saúde; cólon-retos, com funções dos oficiais da Armada e da administração; e câncer de laringe, com o grupo de manutenção e reparos.

O presente estudo de Pesquisa & Desenvolvimento (P&D) em Biotecnologia Marinha buscou utilizar de forma sustentável os recursos naturais marinhos, juntando esforços intra e extra-MB para contribuir com soluções de problemas crônicos como o câncer, o qual afeta a qualidade de vida do pessoal militar e civil bem como da sociedade. Com isso, o trabalho contemplou diversas subáreas e linhas de pesquisa da Estratégia de CT&I da MB, tais como: Banco de Tecidos Biológicos, Desempenho Humano e Saúde, Farmacologia Bioquímica e Molecular, Biomedicamentos e Produtos para a Saúde (MARINHA DO BRASIL, 2017).

No Brasil, o câncer é a segunda maior causa de morte. Segundo dado epidemiológico atual do Instituto Nacional de Câncer, estimou-se para o biênio 2018–2019 a ocorrência de cerca de 600 mil casos novos de câncer (INCA, 2018). De todos os tumores cerebrais, o glioblastoma é o subtipo com maior taxa de incidência e mortalidade, sendo o tumor cerebral maligno mais frequente, pois apresenta significativa

resistência à quimioterapia e à radioterapia (46,1%), com sobrevivência de, no máximo, 1 ano (LOUIS et al., 2016).

Com o avanço da Biotecnologia e da Bioprospecção Marinha, notou-se que os organismos marinhos têm propriedades peculiares não encontradas no ambiente terrestre. Essas propriedades têm demonstrado diversas aplicações, valorizando potencialmente os 70% de ambiente marinho presentes na superfície do planeta (MALVE, 2016). Atualmente, o grande potencial da biodiversidade dos ambientes marinhos como fonte de substâncias de interesse biotecnológico é indiscutível. A diversidade química e o elevado potencial bioativo desses metabólitos, muitos dos quais revelam novos mecanismos de ação, têm incentivado os esforços de pesquisadores na academia para a busca e o desenvolvimento de novos agentes terapêuticos, principalmente como antineoplásicos (JASPARS et al., 2016). A Bioprospecção de Fármacos Marinhos teve seu grande marco inicial com a descoberta e o isolamento de nucleosídeos com propriedades anticâncer derivados da esponja *Tethya crypta* (antiga *Cryptotethya crypta*), que se tornaram a base para análogos sintéticos do fármaco Ara-C (Citarabina), utilizado no tratamento de leucemia mieloide aguda (COSTA-LOTUFO et al., 2009). Dessa forma, as cianobactérias marinhas são, no mundo todo, uma importante fonte de metabólitos secundários com interesse altamente biotecnológico. Entretanto, apesar da rica flora marinha do estado do Rio de Janeiro, estudos com cianobactérias são raros no Brasil. Cianobactérias são organismos procariotos fotossintetizantes considerados uma das formas mais antigas de vida sob a Terra e, que ao longo da evolução, se adaptaram à maioria dos ambientes terrestres e a ambientes aquáticos marinhos e de água doce (PAERL; PAUL, 2012). O interesse biotecnológico pelos metabólitos secundários de cianobactérias tem revelado o grande potencial dessas substâncias para uso, principalmente, como fármacos antineoplásicos, dos quais alguns encontram-se atualmente em fase avançada de testes clínicos (DIXIT; SUSEELA, 2013).

Diante disso, o presente estudo de âmbito multidisciplinar teve o objetivo de considerar o conhecimento na área de Biotecnologia Marinha e de novas drogas na descoberta de estratégias terapêuticas no combate ao câncer.

2. OBJETIVO

Avaliar o efeito antineoplásico dos extratos brutos de cianobactérias em células humanas de câncer cerebral, o glioblastoma, e investigar classes químicas responsáveis por esse efeito.

3. METODOLOGIA

3.1. COLETA, EXTRAÇÃO E ANÁLISE

As amostras de cianobactérias *Oscillatoria sp.* foram coletadas na Praia do Sol; as de *Phormidium sp.*, na Praia da Areia; as de *Lyngbya sp.*, na Praia Seca, RJ; e as de *Aphanothece sp.*, em Figueira, Arraial do Cabo, RJ. Para a obtenção de cultivos unialgais, foram utilizados azida sódica e fluoreto de sódio, favorecendo somente o crescimento fotoautotrófico (MELO et al., 2012) (Figura 1). As amostras biológicas

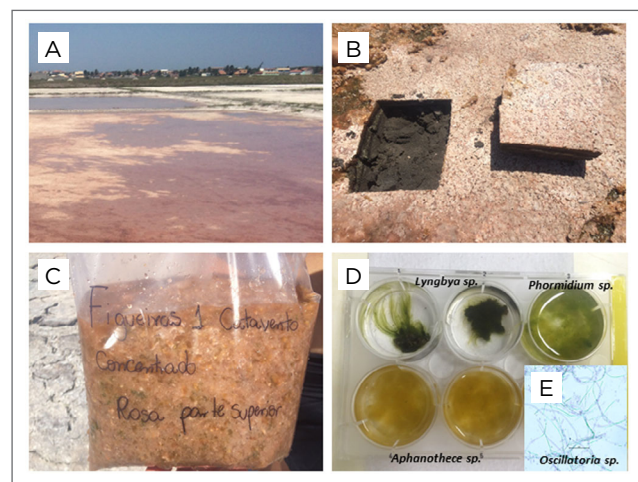


Figura 1. (A) As amostras de cianobactérias foram coletadas em Figueira, (B) em que foi feito um recorte do solo e (C) separada a camada superior, (D) contendo o homogenato de cianobactérias. Essas foram colocadas em cultivo unialgal, mostrando os tipos isolados macroscopicamente: *Phormidium sp.*, *Lyngbya sp.* e *Aphanothece sp.*, e (E) microscopicamente a cianobactéria *Oscillatoria sp.*

foram liofilizadas e extraídas com uma mistura de acetato de etila:metanol (1:1). Esses foram rotaevaporados e os perfis químicos dos extratos foram determinados por meio de cromatografia de coluna delgada (CCD). Os extratos brutos foram mantidos a -20°C até o momento dos testes antineoplásicos, em que foram reconstituídos com dimetil sulfóxido.

3.2. EFEITO CITOTÓXICO

As células humanas de tumores cerebrais do tipo glioblastoma, T98G e U251 (*American Type Culture Collection*), foram cultivadas com concentrações crescentes dos extratos brutos das 4 diferentes cianobactérias isoladas, sendo 62,5, 125, 250, 500 e 1.000 $\mu\text{g}/\text{mL}$. Após 72 horas, foi realizada a técnica espectrofotométrica de viabilidade celular por meio da conversão do sal MTT (5 mg/mL) em cristal de formazan (MOSMANN, 1983). Após a dissolução desses cristais por dimetil sulfóxido, a densidade ótica foi registrada em 570 nm (Beckman Coulter). O percentual de viabilidade foi convertido, considerando-se a densidade ótica das células controle não tratadas com os extratos como 100%.

3.3. EFEITO CITOSTÁTICO

As células tumorais T98G e U251 foram cultivadas com suas respectivas IC50, e após 72 horas foram fotografadas em contraste de fase e, em seguida, foram fixadas com tampão citrato (10 mM). Após a incorporação do intercalante de DNA, iodeto de propídeo (1 $\mu\text{g}/\text{mL}$), e a adição de RNase (20 $\mu\text{g}/\text{mL}$) por 30 minutos, a fluorescência (FL-3) foi analisada por citometria de fluxo (Cyan ADP, Becton & Dickinson). O percentual de células em cada fase do ciclo celular (G0/G1, S e G2/M) foi observado, além de também quantificarmos células com DNA fragmentado (subG0/G1).

3.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o *software GraphPadPrism 6.0* (Windows). Os dados foram avaliados quanto a sua normalidade e, em seguida, foi utilizado o teste paramétrico *two-way* ANOVA com pós-teste de Dunnett. Os resultados foram representados pela média e pelo desvio padrão, sendo considerados significativos quando $P < 0,05$.

4. RESULTADOS

Considerando-se as diferentes características moleculares dos dois tumores cerebrais testados, pode-se observar melhor perfil de resposta das células U251, sendo mais sensíveis aos tratamentos e apresentando IC₅₀ em 3/4 dos extratos de cianobactérias testados, quando comparada às células T98G, que demonstraram maior resistência, apresentando IC₅₀ apenas em 2/4 desses mesmos extratos (Tabela 1).

Dentre os quatro extratos brutos de cianobactérias, apenas a *Aphanothece sp.* não apresentou citotoxicidade para obtermos a IC₅₀ em nenhuma das linhagens testadas. Isso foi visto para *Lyngbya sp.* nas células T98G. Nas Figuras 2A e 2B observamos

os gráficos de dose-reposta do efeito citotóxico dos quatro extratos de ambas as linhagens, acompanhada da morfologia das células por contraste de fase. Demonstramos que o tratamento com a IC₅₀ resulta no descolamento das células, seguido de morte celular, principalmente na U251 (Figuras 2C–2J).

Tabela 1. Concentração inibitória (IC₅₀).

| Linhagem | T98G | U251 |
|-------------------------|--------------------------|-------|
| Extrato | IC ₅₀ (µg/mL) | |
| <i>Oscillatoria sp.</i> | 124,9 | 51,91 |
| <i>Phormidium sp.</i> | 261,8 | 197,5 |
| <i>Lyngbya sp.</i> | - | 299,2 |

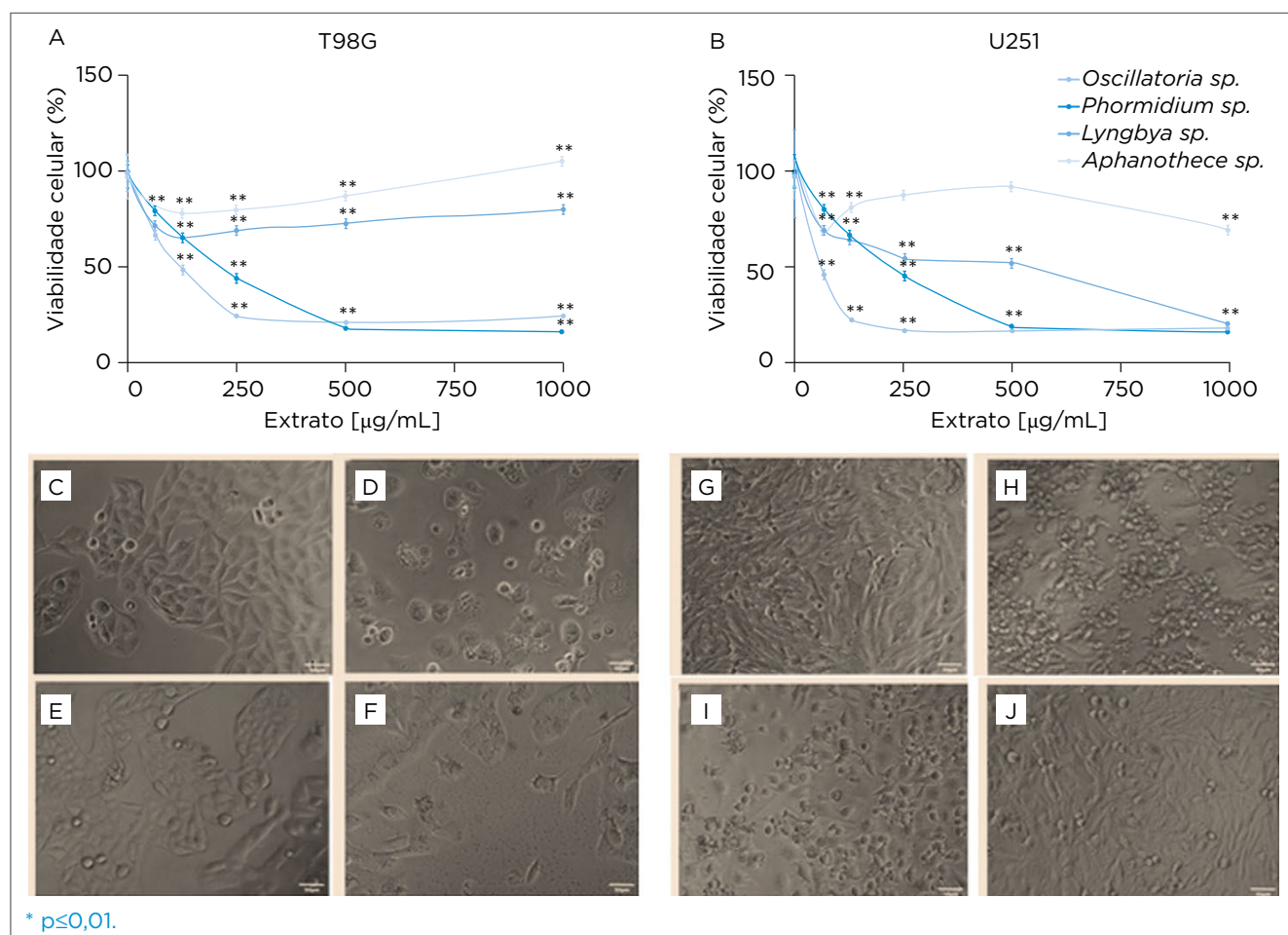


Figura 2. Viabilidade de células de glioblastoma humano (A) T98G e (B) U251 cultivadas com extratos brutos de cianobactérias após 72 horas, através do método MTT. Morfologia em contraste de fase das células (C) T98G controle, cultivadas com (D) *Oscillatoria sp.* 125 µg/mL, (E) *Phormidium sp.* 250 µg/mL, (F) *Lyngbya sp.* 1.000 µg/mL. Morfologia das células (G) U251 controle, (H) *Oscillatoria sp.* 62,5 µg/mL, (I) *Phormidium sp.* 250 µg/mL e (J) *Lyngbya sp.* 250 µg/mL. Resultado representativo de 2 experimentos independentes feitos em oito réplicas, sendo média ± desvio padrão. *Two-way* ANOVA com pós-teste de Dunnett em relação ao controle. Barra de escala = 50 µm.

Os resultados de fragmentação do DNA corroboraram a citotoxicidade observada no ensaio anterior de viabilidade, evidenciando fenômeno significativo de morte celular. As células tumorais T98G apenas tratadas com os extratos de *Oscillatoria sp.* e *Phormidium sp.* demonstraram significativo percentual de fragmentação do DNA, quando cultivadas com as IC50 correspondentes (Figura 3A). As células U251 novamente demonstraram ser mais sensíveis, mostrando maior percentual significativo de células mortas em relação aos mesmos extratos; entretanto, em relação ao tratamento com o extrato de *Lyngbya sp.* não foi significativo (Figura 3B).

Na avaliação do ciclo celular dos glioblastomas humanos tratados com os diferentes extratos de cianobactérias, verificamos efeito citostático semelhante, independentemente do tipo de cianobactérias. Os extratos de *Oscillatoria sp.*, *Phormidium sp.* e *Lyngbya sp.* resultaram na parada do ciclo das células tumorais nas fases S e G2/M, verificada pelo aumento significativo do percentual, quando comparado ao controle em ambas as linhagens (Figuras 4A e 4B).

Após verificar os efeitos citotóxico e citostático dos extratos, observamos que cada extrato bruto é constituído de moléculas bioativas de diferentes classes químicas por meio da cromatografia de camada delgada (Tabela 2). O extrato

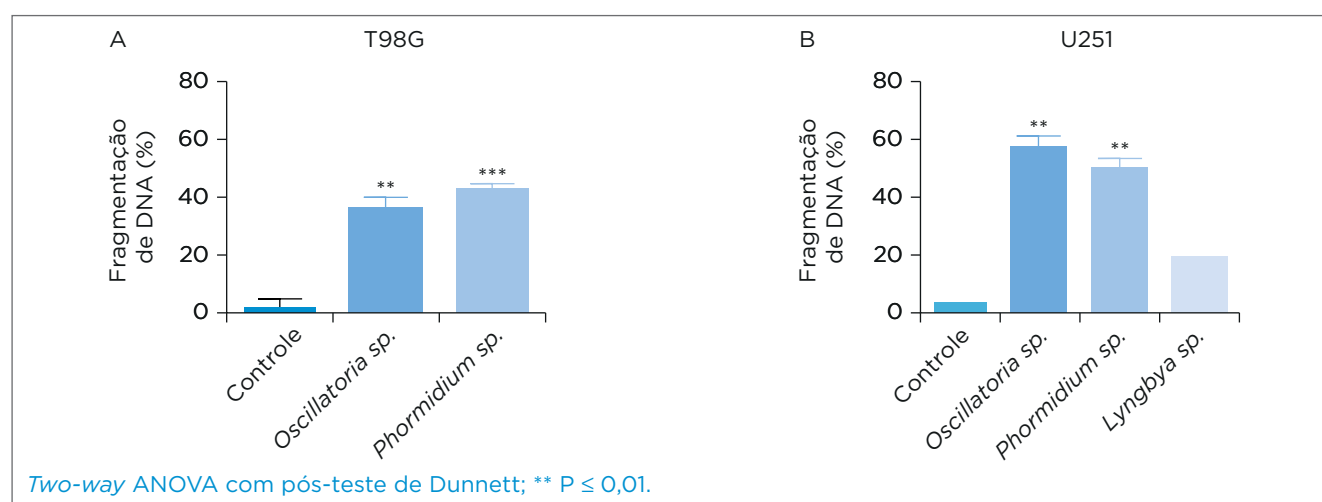


Figura 3. Fragmentação de DNA em células de glioblastoma humano (A) T98G e (B) U251 cultivadas com extratos brutos das cianobactérias após 72 horas com suas IC50. Resultado representativo de experimento de citometria fluxo considerando entre 10.000 e 30.000 células, sendo média ± desvio padrão.

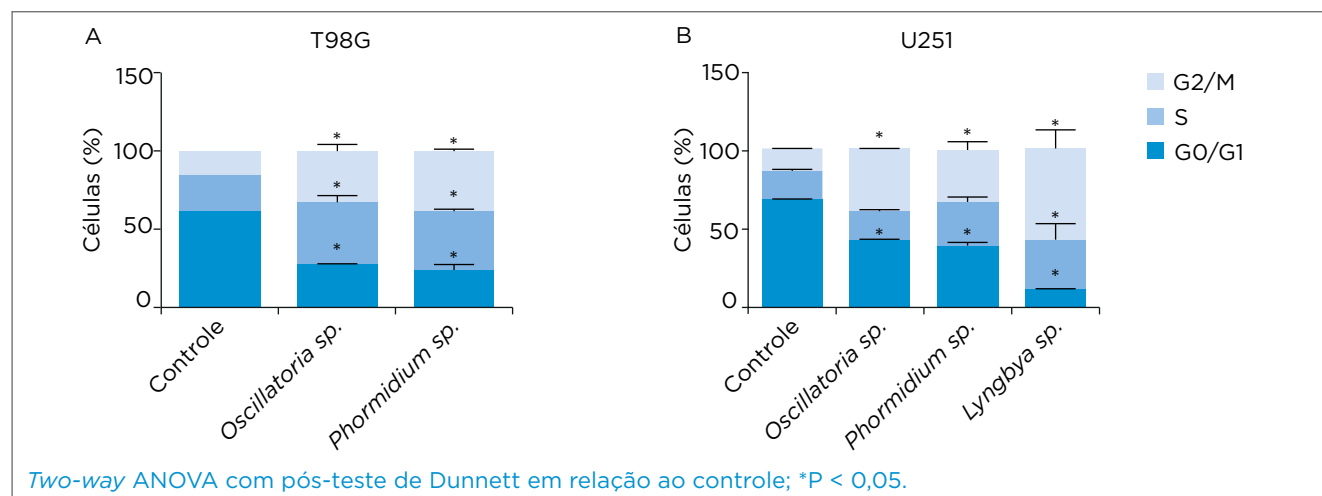


Figura 4. Ciclo celular de glioblastoma humano (A) T98G e (B) U251 cultivadas com extratos brutos de cianobactérias por 72 horas com suas IC50. Resultado representativo de experimento de citometria de fluxo considerando entre 10.000 e 30.000 células, sendo média ± desvio padrão.

Tabela 2. Identificação de classes químicas através de cromatografia de camada delgada.

| Amostras | Reagentes | | | | |
|-------------------------|--|-------------------|-------------------|-----------|-------------|
| | EtOH 5% H ₂ SO ₄ | FeCl ₃ | KMnO ₄ | Ninidrina | Dragendorff |
| <i>Oscillatoria sp.</i> | + | + | + | + | + |
| <i>Phormidium sp.</i> | + | + | + | - | + |
| <i>Lyngbya sp.</i> | + | + | + | - | - |
| <i>Aphanothece sp.</i> | + | + | + | - | - |

de *Oscillatoria sp.* mostrou presença de aminoácidos, revelados pela Ninidrina, o que difere de todos os outros extratos e pode estar conferindo maior efeito *in vitro*, em menores concentrações. Podemos sugerir ainda que os extratos brutos, principalmente de *Oscillatoria sp.* e *Phormidium sp.*, que tiveram efeitos relevantes em ambos os tumores testados, apresentam compostos importantes, como a família dos alcaloides, revelado pelo reagente Dragendorff, já descritos na literatura com efeito antineoplásico para esse e outros tipos de tumor (SILVA et al., 2018).

CONCLUSÕES

Considerando-se todas essas estratégias nos modelos pré-clínicos utilizadas e as diversas características químicas da biodiversidade marinha das cianobactérias, este estudo apresentou-se extremamente promissor para novas estratégias na área da saúde, principalmente em oncologia, constituindo no avanço de P&D com todo o incremento biotecnológico necessário para o desenvolvimento de produtos e serviços interdisciplinares em um futuro próximo.

REFERÊNCIAS

- COSTA-LOTUFO, L.V. et al. Organismos marinhos como fonte de novos fármacos: histórico & perspectivas. *Química Nova*, v. 32, n. 3, p. 703-716, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000300014>
- DIXIT, R.B.; SUSEELA, M.R. Cyanobacteria: potential candidates for drug discovery. *Antonie van Leeuwenhoek*, v. 103, n. 5, p. 947-961, 2013. <https://doi.org/10.1007/s10482-013-9898-0>
- INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER JOSÉ DE ALENCAR GOMES DA SILVA (INCA). *Números de Câncer*. Incidência de casos entre 2018/2019. Rio de Janeiro: INCA, 2018.
- JASPARS, M. et al. The marine biodiscovery pipeline and ocean medicines of tomorrow. *Journal of Marine Biological Association of the United Kingdom*, v. 96, n. 1, p. 151-158, 2016. <https://doi.org/10.1017/S0025315415002106>
- LOUIS, D.N. et al. The 2016 WHO Classification of Tumors of the Central Nervous System: a summary. *Acta Neuropathologica*, v. 131, n. 6, p. 803-820, 2016. <https://doi.org/10.1007/s00401-016-1545-1>
- MALVE, H. Exploring the ocean for new drug developments: Marine pharmacology. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, v. 8, n. 2, p. 83-91, 2016. <https://doi.org/10.4103/0975-7406.171700>
- MARINHA DO BRASIL. *Estratégia de Ciência, Tecnologia e Inovação da Marinha do Brasil Estado-Maior da Armada*. Marinha do Brasil, 2017. 108 p.
- MARINHA DO BRASIL. *Política Naval*. Centro de Comunicação Social da Marinha, 2019. 47 p.
- MELO, L. F. de A. et al. Toxicity against *Artemia salina* of the zoanthid *Palythoa caribaeorum* (Cnidaria: Anthozoa) used in folk medicine on the coast of Pernambuco, Brazil. *Biotemas*, v. 25, n. 3, p. 145-151, 2012. <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2012v25n3p145>
- MOSMANN, T. Rapid colorimetric assay for cellular growth and survival: application to proliferation and cytotoxicity assays. *Journal of Immunological Methods*, v. 65, n. 1-2, p. 55-63, 1983. [https://doi.org/10.1016/0022-1759\(83\)90303-4](https://doi.org/10.1016/0022-1759(83)90303-4)
- PAERL, H.W.; PAUL, V.J. Climate change: Links to global expansion of harmful cyanobacteria. *Water Research*, v. 46, n. 5, p. 1349-1363, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.08.020>
- SILVA, M.; SANTANA, V. Fatores de risco ocupacionais para câncer de cólon e reto entre militares da Marinha do Brasil. *Revista Brasileira de Medicina do Trabalho*, v. 2, n. 1, p. 22-29, 2004.
- SILVA, M.; SANTANA, V. S.; DANA, L. Mortalidade por câncer em militares da Marinha do Brasil. *Revista de Saúde Pública*, v. 34, n. 4, p. 373-379, 2000. <https://doi.org/10.1590/S0034-89102000000400010>
- SILVA, T.C.C. et al. Specific Cytostatic and Cytotoxic Effect of Dihydrochelerythrine in Glioblastoma Cells: Role of NF- κ B/ β -catenin and STAT3/IL-6 Pathways. *Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry*, v. 18, n. 10, p. 1386-1393, 2018. <https://doi.org/10.2174/1871520618666180412122101>



Figura 2

LANÇADOR DE FOGUETES CHAFF EM OPERAÇÃO

DESENVOLVIMENTO DE UM VEÍCULO SUBMARINO AUTÔNOMO DE BAIXO CUSTO UTILIZANDO MANUFATURA ADITIVA

Development of a low-cost autonomous underwater vehicle using additive manufacturing

Emerson Coelho Mendonça¹, Adams Soares Teles², Vilson Berilli Mendes³

Resumo: Este artigo apresenta uma proposta de construção de um veículo submarino autônomo em formato de torpedo, a partir de materiais de baixo custo e de fácil aquisição. A arquitetura de *hardware* é distribuída em módulos que se comunicam por meio de uma rede CAN. Os dispositivos eletrônicos de controle e acionamento dos lemes horizontal e vertical foram acomodados em um casco fabricado por manufatura aditiva (impressão 3D). Os componentes eletrônicos utilizados são comerciais e podem ser facilmente adquiridos no mercado. Os testes preliminares mostram a viabilidade de se obter um veículo com estanqueidade, estabilidade a um custo bem abaixo dos oferecidos no mercado.

Palavras-chave: Manufatura aditiva. Veículo submarino autônomo. Baixo custo.

Abstract: This article presents a proposal to build an autonomous underwater vehicle in torpedo shape, from low cost and easy to acquire materials. The hardware architecture is distributed in modules that communicate through a CAN network. The electronic control and drive devices for the horizontal and vertical rudders have been accommodated in a hull manufactured by additive manufacturing (3D printing). The electronic components used are commercial and can be easily purchased on the market. Preliminary tests have shown the feasibility of obtaining a vehicle that is watertight, stable at a cost well below those offered on the market.

Keywords: Additive manufacturing. Autonomous underwater vehicle. Low cost.

1. Encarregado da Divisão de Sistemas Inerciais - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: emerson.coelho@marinha.mil.br

2. Ajudante da Divisão de Sistemas Inerciais - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: adams@marinha.mil.br

3. Ajudante da Divisão de Mecânica Aplicada - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: vilson.mendes@marinha.mil.br

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, cresce a importância de projetos de desenvolvimento e produção de itens de emprego dual (aplicação civil e militar) (BRASIL, 2017). Nesse contexto, incluem-se os Veículos Submarinos Autônomos (VSA), que possuem diversas aplicações, tais como monitoramento ambiental, coleta de dados oceanográficos, teste de sensores, inspeção de dutos submarinos, levantamento hidrográfico/geológico de recursos submarinos/fluviais, desenvolvimento e validação de projeto e análise do hélice submarino, obtenção de dados hidrodinâmicos e de manobras típicas de embarcações, entre outras.

Em aplicações militares navais, o uso de *Unmanned Surface Vehicle* (USV) e de *Unmanned Underwater Vehicle* (UUV) denota forte vantagem tática, uma vez que representam uma extensão do navio de guerra e podem ser componentes essenciais para o sucesso das missões da força naval, permitindo aumentar a capacidade operacional da frota, estendendo o potencial de vigilância e intervenção (BRASIL, 2015).

Com o avanço da tecnologia, os veículos autônomos têm se tornado capazes de desempenhar atividades cada vez mais diversas, reduzindo a exposição da vida humana às situações de risco e permitindo ampliar o conhecimento acerca do ambiente marinho (DUNBABIN; MARQUES, 2012).

Desde o final da década de 1980, com o surgimento da manufatura aditiva (MA), diversas empresas aeroespaciais têm utilizado sistemas cujas peças são confeccionadas utilizando essa tecnologia. Nos últimos anos, os rápidos avanços da MA levaram à popularização dessa tecnologia, tornando-a acessível não apenas a grandes empresas.

A MA, também conhecida como impressão 3D, consiste na criação de um objeto físico por impressão, camada sobre camada, a partir de um modelo ou desenho digital 3D. Essa tecnologia possui ampla gama de utilizações e é capaz de criar produtos complexos com rapidez e baixo custo, proporcionando desenvolvimento acelerado e reduzindo o ciclo protótipo-produto. A MA oferece flexibilidade aos projetistas na construção de estruturas complexas, cuja fabricação por métodos convencionais é mais difícil e com custos mais elevados.

Embora as impressoras 3D sejam mais utilizadas na fase de prototipagem de produtos, em muitos casos, também é

possível se obter produtos impressos por MA com acabamento e estruturas confiáveis, de modo que possam ser utilizados como produto final.

Khaleed et al. (2019) analisaram o desempenho de uma hélice produzida por impressão 3D em plástico ABS. Ao submeter o produto a uma análise de tensão-deformação utilizando o método dos elementos finitos, concluíram que esse material é viável para a construção da hélice, uma vez que ela se comportou dentro do limite de escoamento durante os ensaios da carga aplicada, equivalente à ação dos esforços gerada pela água atuando sobre o corpo.

Champion, Jamshidi e Joordens (2016) utilizaram peças impressas por MA dentro de uma montagem embarcada em um *Autonomous Underwater Vehicle* (AUV) — em português, VSA — na construção de uma caixa para fixar e armazenar sensores, em que o principal desafio proposto foi assegurar a estanqueidade da caixa de junção durante a execução das manobras pelo veículo.

Entretanto, nota-se que a literatura carece de trabalhos que contemplem a construção de um VSA com peças estruturais confeccionadas integralmente por impressão 3D. Nesse contexto, levando em consideração o surgimento de novas tecnologias, este trabalho apresenta uma proposta inovadora na produção de um VSA com fabricação acelerada e de baixo custo, agregando o conhecimento científico em uma aplicação tecnológica, em área de interesse da Defesa e do Poder Marítimo, sem excluir a possibilidade de aplicação dual em benefício da sociedade.

2. OBJETIVOS

A impressão completa de um casco submarino resistente, estanque e estável utilizando a tecnologia de MA impõe alguns desafios e restrições, sobretudo quanto ao tamanho do casco a ser construído.

Este trabalho teve como objetivo apresentar uma proposta de construção, por meio da MA, de um VSA de modo a ser uma plataforma de teste submarina confiável, de baixo custo, fácil operação e logística de transporte, podendo ser operado por uma única pessoa. A proposta visou ainda subsidiar o desenvolvimento de sistemas inerciais de navegação, sistemas acústicos submarinos, sistemas de transmissão de dados e sistemas de controle e de guiagem.

3. METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho, foram utilizadas técnicas de modelagem, *softwares* de programação, sensores, equipamentos, impressora 3D e diversos materiais. Os projetos mecânico e eletrônico foram elaborados pela observação de veículos submarinos comerciais e trabalhos publicados na comunidade científica.

4. CONCEPÇÃO MECÂNICA

Este veículo foi inspirado em artefatos existentes no mercado, por exemplo, o VSA REMUS 100, fabricado pela empresa *Hydroid*, uma subsidiária da *Kongsberg Maritime*, conforme pode ser observado na Figura 1.

O protótipo possui casco estanque, sem partes inundadas e é dividido em quatro seções.

A primeira seção possui formato hemisférico, com diâmetro menor de 62 mm e diâmetro maior de 150 mm. Internamente, há uma superfície plana formada pelo tronco,



Figura 1. REMUS 100.

em que está alocado o módulo de navegação e que, futuramente, também facilitará a fixação dos instrumentos e dos sensores. Essa seção possui ainda um orifício que conduz a pressão externa até o sensor de pressão.

Na segunda seção, acomodam-se os módulos de controle de energia e de motores, além das baterias de alimentação.

Na terceira seção, estão localizados quatro servo-motores para controle das superfícies hidrodinâmicas. Cada eixo desses motores possui um selo mecânico estanque.

Por fim, na quarta seção, está localizado o motor de propulsão.

O formato desse protótipo, bastante semelhante a um torpedo moderno, se faz útil para estudos sobre hidrodinâmica e controle de artefatos bélicos com essas características. Nesse sentido, ele pode ser empregado tanto como modelo reduzido para levantamento dos parâmetros hidrodinâmicos desse tipo de armamento quanto como alvo submerso em exercícios navais de guerra submarina, tendo em vista que, em função do seu baixo custo, as perdas seriam minimizadas. As principais medidas do casco montado podem ser observadas na Figura 2.

O projeto mecânico foi modelado utilizando-se o *software* *ONSHAPE*, um *Computer-Aided Design* (CAD) focado principalmente em modelagem tridimensional mecânica. Apesar de ser um *software* livre, ele é usualmente utilizado para *design* de produtos e máquinas em muitas indústrias, incluindo eletrônicos de consumo, dispositivos mecânicos, dispositivos médicos, peças de máquinas e equipamentos



Figura 2. Representação das principais dimensões.

industriais fabricados por impressão 3D. O *software* faz uso extensivo da computação em nuvem.

Todas as seções do casco são unidas por parafusos não corrosivos e anéis de vedação formando um casco inteiramente estanque, coeso e resistente, com comprimento aproximado de 1.400 mm e 160 mm de diâmetro. Na atual configuração, para navegação em meio não salino, o protótipo possui peso total de cerca de 24 kg e fluatibilidade levemente positiva. Os eixos de rotação das superfícies de controle e da hélice de propulsão possuem selos mecânicos de cerâmica que contribuem com a estanqueidade. Para o ajuste de trim, as baterias são manualmente deslocadas no sentido longitudinal do veículo.

5. CONCEPÇÃO DE SOFTWARE E HARDWARE ELETRÔNICO

O veículo é constituído de uma arquitetura distribuída em três módulos: navegação, comunicação e motores. Esses módulos estão interligados por uma rede CAN, na qual trafega dados e comandos para o VSA. Cada módulo tem como núcleo microcontroladores ARM.

No módulo de navegação, foi instalado um *Raspberry*, computador de placa única (*Single Board Computer*) que se conecta por meio de uma interface serial ao microcontrolador, recebendo

sinais dos sensores de GPS, aceleração, giroscópio, bússola magnética e de pressão. Esse computador também possui ligação direta ao barramento CAN, possibilitando o envio e a recepção de comando e dados provenientes dos outros módulos. Por meio do protocolo de administração remota *Secure Socket Shell* (SSH), é feita a programação desse computador. Mais detalhes técnicos a respeito do *hardware* utilizado podem ser encontrados em Ebyte (2018), Raspberry Pi Foundation (2020) e Silva Junior (2020).

O módulo de energia recebe a alimentação das baterias chumbo-ácidas e faz o controle e a distribuição aos demais módulos. Um *link* rádio possibilita a comunicação com o exterior, podendo enviar e receber comando e dados das missões pré-programadas.

Por fim, os motores das superfícies de controle e propulsão estão ligados ao microcontrolador por acionadores de potência, constituindo o módulo de motores. Esse módulo possui um tacômetro magnético acoplado ao eixo de propulsão.

No diagrama da Figura 3, é possível observar a composição e a arquitetura dos três módulos descritos.

A Figura 4 mostra o veículo parcialmente desmontado, em que é possível observar as quatro seções e os três módulos: navegação, comunicação e acionamento de motores.

Os componentes utilizados na fabricação do veículo são de fácil obtenção no mercado e possuem baixo custo. A estrutura estanque do casco foi construída, em sua maior

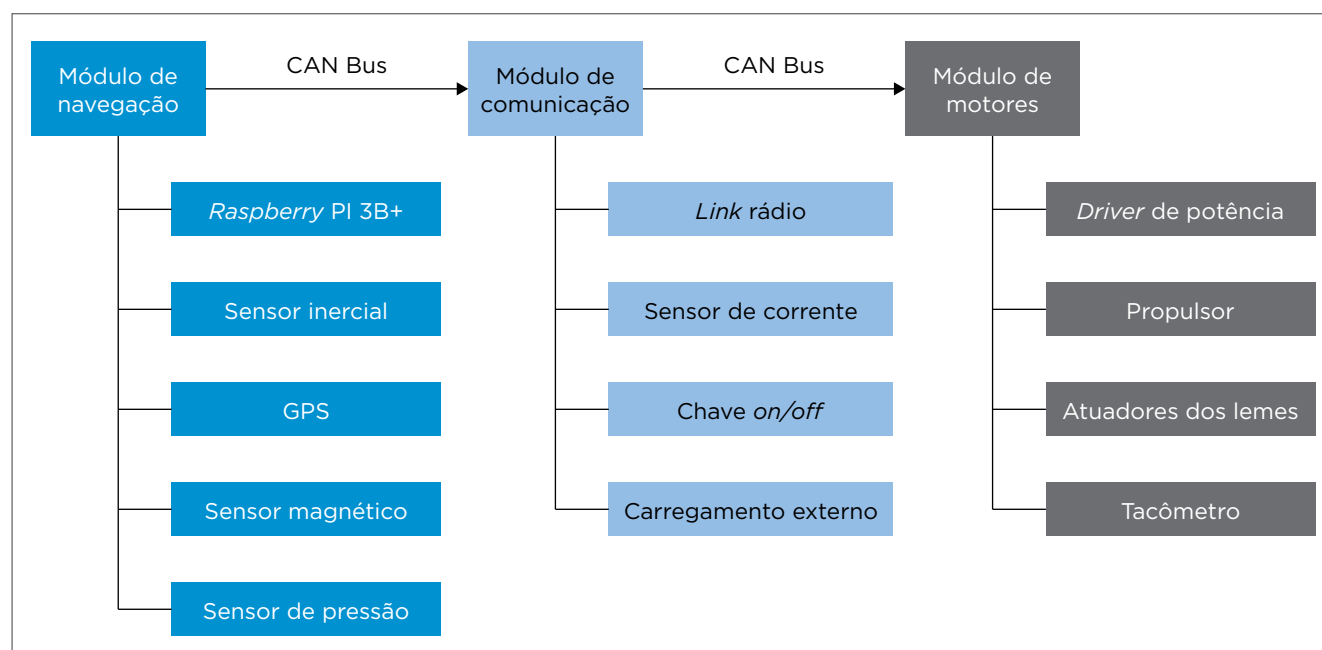


Figura 3. Diagrama de blocos dos módulos de navegação, comunicação e acionamento de motores do veículo.

parte, por meio da MA, na qual foram utilizados filamentos plásticos de *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS) e *Polylactic Acid* (PLA).

O sistema de alimentação possui um conjunto de quatro baterias chumbo-ácidas, seladas e recarregáveis com tensão nominal de 12 volts. Esse conjunto de baterias proporciona autonomia de até 3 horas de uso contínuo ao veículo. O carregamento é realizado de forma externa ao casco.

Os comandos e a programação do veículo são realizados por meio de conexão SSH e *link* rádio utilizando a tecnologia LoRa, que permite comunicação a longas distâncias, com consumo mínimo de energia. Esse módulo fornece comunicação *wireless* serial no padrão UART baseado em um chip dedicado.

Na Figura 5, é possível observar tanto a vista externa quanto a vista interna do casco montado, bem como os módulos de navegação, comunicação e acionamento dos motores.

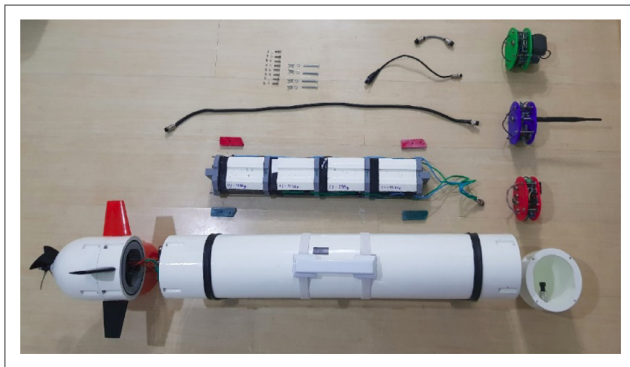


Figura 4. Veículo parcialmente desmontado.

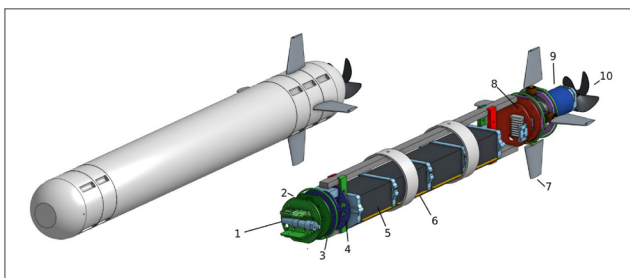


Figura 5. Visões externa e interna ao casco resistente: (1) sensor de pressão; (2) módulo de navegação; (3) anel o'ring; (4) módulo de energia; (5) unidade de bateria; (6) lastro fixo; (7) leme; (8) módulo motores; (9) motor de propulsão; (10) hélice.

6. CONSTRUÇÃO

Para a materialização das seções, foi utilizada a impressora 3D Creality Ender 3, ilustrada na Figura 6, a qual apresenta baixo custo e boa qualidade de impressão. Como essa impressora possui volume útil de $220 \times 220 \times 250$ mm, foi necessário que a concepção mecânica do protótipo fosse constituída de peças cujo volume máximo estivesse dentro do limite útil.

Essa impressora utiliza a tecnologia *Fused Deposition Modeling* (FDM), que se popularizou a partir de 2009 por meio da facilidade na aquisição dos componentes eletrônicos de baixo custo e das licenças *opensource*, viabilizando diversas soluções mecânicas.

Basicamente, essa tecnologia funciona por extrusão do material fundido por meio de um bico aquecido que é montado em uma cabeça móvel. A cabeça extrusora move-se sobre uma placa plana (dimensões x e y), depositando o seu material em um leito de fabricação. Após a conclusão da camada, o bocal aquecido move-se em relação à placa plana (eixo z), formando gradualmente diversas camadas transversais do material.

Em função de o material utilizado apresentar uma temperatura de transição vítrea de aproximadamente 60°C , foi necessário aplicar tinta de cor branca, visando à redução da absorção térmica por radiação.



Figura 6. Creality Ender 3.

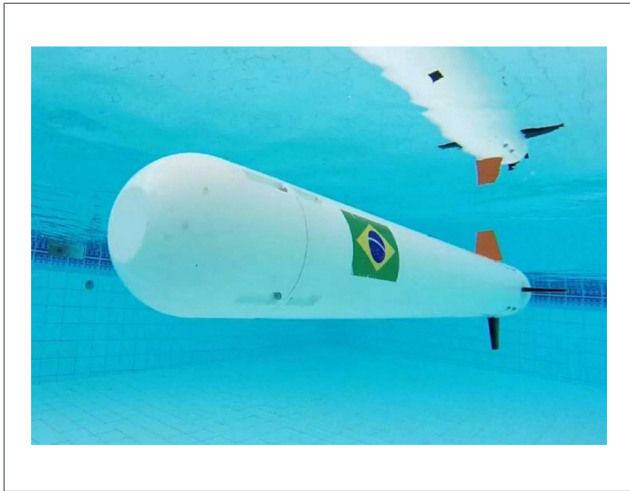


Figura 7. Testes de piscina.

7. ENSAIOS

Os primeiros ensaios foram realizados em uma piscina para testes, conforme ilustrado na Figura 7, para a verificação e a comprovação da estanqueidade do casco. O veículo foi posto manualmente, submerso na água, por um período de uma hora. Decorrido esse tempo, verificou-se que não houve infiltração de água nas juntas, nos eixos rotativos e nas seções do casco, comprovando assim sua estanqueidade.

No segundo momento, o veículo foi submetido a testes para verificar a necessidade de ajustes quanto ao lastro. Uma vez que sua flutuabilidade positiva o impedia de submergir, placas de chumbo foram adicionadas na parte inferior interna do casco de modo a equilibrar e conferir flutuabilidade neutra.

Após a correção na trimagem, diversas manobras foram realizadas e o veículo foi capaz de executá-las tanto no plano vertical quanto no plano horizontal. Os dados coletados durante a execução de uma manobra circular são apresentados na Figura 8.

Observando o primeiro gráfico da Figura 8, é possível constatar que o veículo mantém estabilidade no movimento de rolagem, uma vez que, posteriormente à fase transitória, o ângulo de *Roll* se manteve em torno de 2 a 3°.

Durante a manobra, o veículo iniciou a submersão a partir de $t = 20$ s e, em seguida, retomou a profundidade inicial, conforme pode ser observado no segundo gráfico.

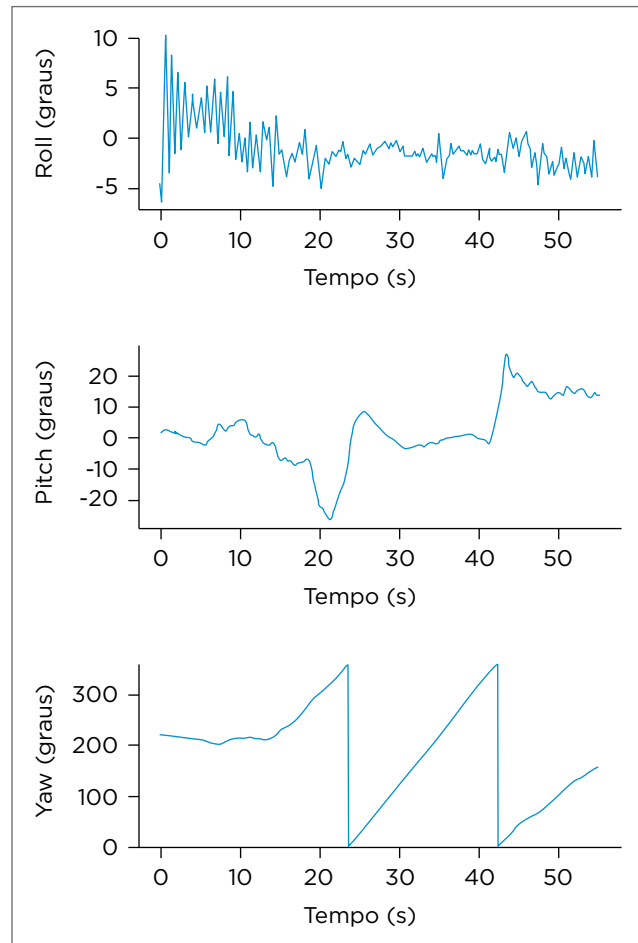


Figura 8. Variação no tempo dos ângulos de *Roll*, *Pitch* e *Yaw* durante teste de trajetória circular.

Por fim, no terceiro gráfico, no qual é ilustrado o ângulo de direção, é possível observar a variação de *Yaw*, bem como a saturação na transição do ângulo 360°/0°.

8. CONCLUSÃO

A partir dos resultados apresentados nos testes em laboratório e em piscina, é possível ratificar que o funcionamento do sistema embarcado proposto atende ao propósito do projeto. Os testes também comprovam que o veículo é capaz de executar manobras nos planos vertical e horizontal, ratificando a proposta inicial deste trabalho.

A garantia de se obter um casco estanque e resistente fabricado por MA aponta um futuro promissor e com grandes

possibilidades de diversas aplicações dessa tecnologia, tendo em vista que, por meio de MA, é possível produzir peças com geometrias complexas e custo bem abaixo em relação ao da fabricação mecânica tradicional.

Com um esforço concentrado no desenvolvimento de materiais, *design*, estrutura e tecnologia de impressão, a utilização da MA terá aplicação crescente na produção de componentes

de VSA. Por conseguinte, não há dúvida de que a MA esculpuiu efetivamente o seu nicho nessa área da aplicação e continuará a crescer no futuro.

Portanto, a partir dessa plataforma, será possível impulsionar e subsidiar o desenvolvimento de novos subsistemas de aplicação naval, bem como o aperfeiçoamento da robótica submarina.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Marinha do Brasil. *Estratégia de Ciência, Tecnologia e Inovação da Marinha do Brasil*. Brasil: Marinha do Brasil, 2017.

BRASIL. Ministério da Defesa. *MD41-M-01*. Doutrina de Mobilização Militar. Brasil: Ministério da Defesa, 2015.

CHAMPION, B.T.; JAMSHIDI, M.O.; JOORDENS, M.A. 3D Printed Underwater Housing. *2016 World Automation Congress*, p. 1-6, 2016. <https://doi.org/10.1109/WAC.2016.7582993>

DUNBABIN, M.; MARQUES, L. Robotics for Environmental Monitoring. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, v. 19, n. 1, p. 20-23, 2012.

EBYTE. E32-433T30D-user manual. SX1278 433MHz 1W DIP Wireless Module. Datasheet. EBYTE, 2018.

KHALEED, H.M.T. et al. Novel Approach to Manufacture an AUV Propeller by Additive Manufacturing and Error Analysis. *Applied Sciences*, v. 9, n. 20, p. 4413, 2019. <https://doi.org/10.3390/app9204413>

RASPBERRY PI FOUNDATION. SSH - Raspberry Pi Documentation. Raspberry Pi Foundation. Disponível em: <https://www.raspberrypi.org/documentation/remote-access/ssh/>. Acesso em: 11 ago. 2020.

SILVA JUNIOR, Vidal Pereira da. Conheça a tecnologia LoRa e o protocolo LoRaWAN. *Embarcados*, 2020. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/conheca-tecnologia-lora-e-o-protocolo-lorawan/>. Acesso em: 22 jul. 2020.

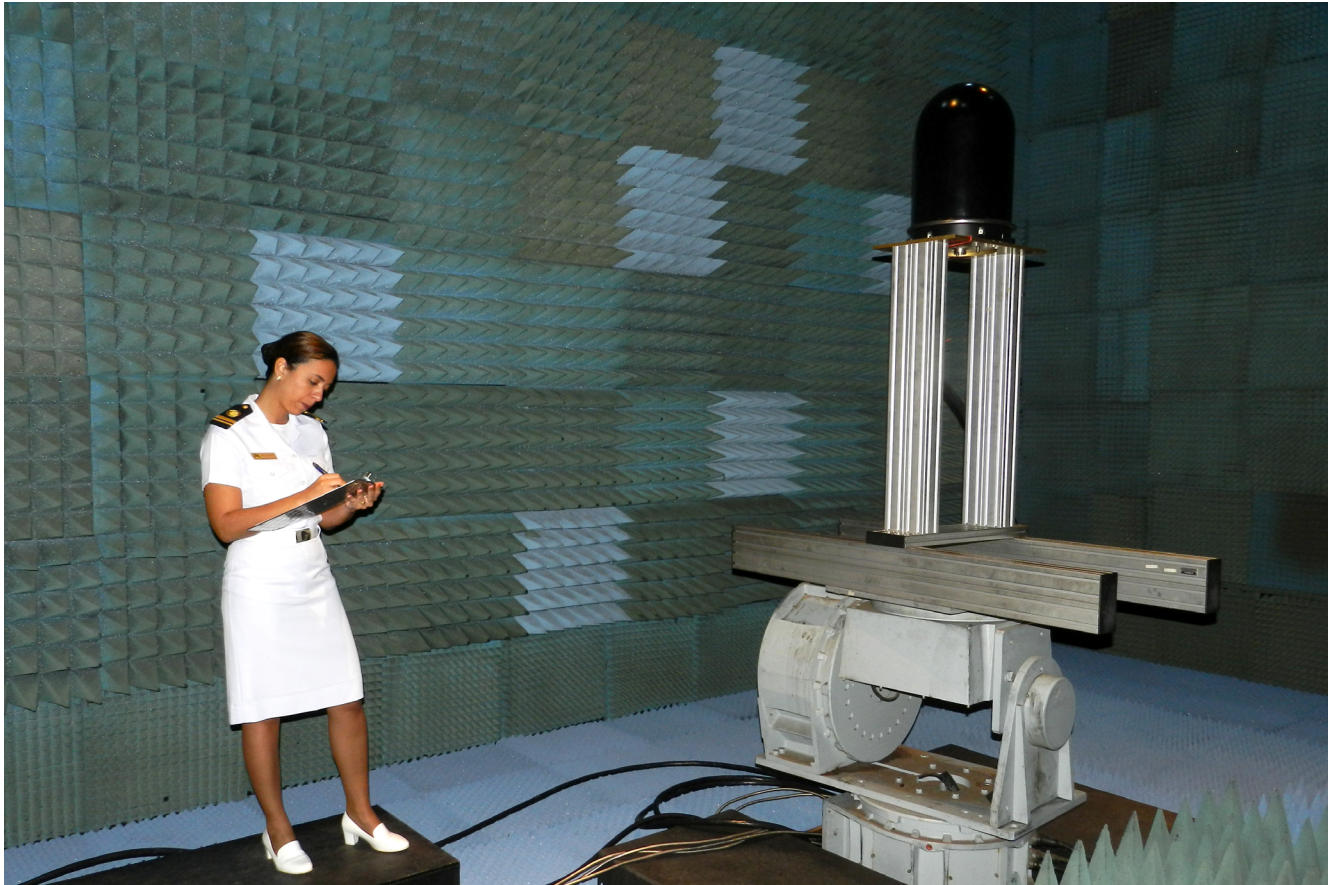


Figura 3

CÂMARA ANECOICA DO INSTITUTO DE PESQUISAS DA MARINHA - IPQM

IMPLEMENTAÇÃO DO NÚCLEO DE APOIO À DETECÇÃO E PESQUISA CLÍNICA DA COVID-19 NO HOSPITAL NAVAL MARCÍLIO DIAS

Implementation of the Support Center for COVID-19 Detection and Clinical Research in the Hospital Naval Marcílio Dias

Thaís Chrispim de Souza Carvalho Giangiarulo¹, Jéssica da Silva Oliveira², Raissa Mirella dos Santos Cunha da Costa³, Sâmila Natiane Ferreira⁴, Juliana Aparecida Souza da Paz⁵, Eduardo Siqueira⁶, Marlon Daniel Lima Tonin⁷, Tailah Bernardo de Almeida⁸, Marcelo Leal Gregório⁹, Shana Priscila Coutinho Barroso¹⁰

Resumo: A Organização Mundial da Saúde decretou a pandemia de COVID-19 em março de 2020. O primeiro caso registrado da doença no Brasil ocorreu em 26 de fevereiro; posteriormente, o Laboratório de Biologia Molecular (LBM) do Instituto de Pesquisas Biomédicas (IPB) do Hospital Naval Marcílio Dias (HNMD) iniciou a realização de seus primeiros exames moleculares para detecção do novo vírus. Este trabalho apresenta um panorama dos resultados da implementação do Núcleo de Apoio à Detecção e Pesquisa Clínica da COVID-19 (NADPC-COVID-19) no IPB/HNMD, com propósito de munir a Marinha

Abstract: The World Health Organization declared coronavirus disease 2019 (COVID-19) a pandemic in March 2020. The first documented case of the disease in Brazil occurred on February 26; later, the Molecular Biological Laboratory (*Laboratório de Biologia Molecular* — LBM) of the Biomedical Research Institute (*Instituto de Pesquisas Biomédicas* — IPB)/Hospital Naval Marcílio Dias (HNMD) carried out its first molecular tests to detect the new virus. This paper presents an overview of the implementation of the Support Center for COVID-19 Detection and Clinical Research (*Núcleo de Apoio à Detecção e Pesquisa Clínica da*

1. Técnica em Biotecnologia do Laboratório de Biologia Molecular, Instituto de Pesquisas Biomédicas, Hospital Naval Marcílio Dias – Rio de Janeiro, RJ – Brasil. E-mail: thaigiangiarulo@gmail.com

2. Bióloga do Laboratório de Biologia Molecular, Instituto de Pesquisas Biomédicas, Hospital Naval Marcílio Dias – Rio de Janeiro, RJ – Brasil. E-mail: jessica.oliveira.bio@gmail.com

3. Bióloga do Laboratório de Biologia Molecular, Instituto de Pesquisas Biomédicas, Hospital Naval Marcílio Dias – Rio de Janeiro, RJ – Brasil. E-mail: raissam.bio@gmail.com

4. Biomédica do Laboratório de Biologia Molecular, Instituto de Pesquisas Biomédicas, Hospital Naval Marcílio Dias – Rio de Janeiro, RJ – Brasil. E-mail: samilanatianeferreira@gmail.com

5. Bióloga do Laboratório de Biologia Molecular, Instituto de Pesquisas Biomédicas, Hospital Naval Marcílio Dias – Rio de Janeiro, RJ – Brasil. E-mail: jupazz@gmail.com

6. Engenheiro de Produção do Laboratório de Bioanálises, Instituto de Pesquisas Biomédicas, Hospital Naval Marcílio Dias – Rio de Janeiro, RJ – Brasil. E-mail: eduardo.siqueira@marinha.mil.br

7. Farmacêutico e Bioquímico do Laboratório de Bioanálises, Instituto de Pesquisas Biomédicas, Hospital Naval Marcílio Dias – Rio de Janeiro, RJ – Brasil. E-mail: marlon.tonin@marinha.mil.br

8. Bióloga do Departamento de Biotecnologia Marinha, Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira – Arraial do Cabo, RJ – Brasil. E-mail: tailah.almeida@marinha.mil.br

9. Médico, Esp. Encarregado do Instituto de Pesquisas Biomédicas, Hospital Naval Marcílio Dias – Rio de Janeiro, RJ – Brasil. E-mail: leal.gregorio@marinha.mil.br

10. Bióloga, Encarregada do Laboratório de Biologia Molecular, Instituto de Pesquisas Biomédicas, Hospital Naval Marcílio Dias – Rio de Janeiro, RJ – Brasil. E-mail: shana.barroso@marinha.mil.br

do Brasil (MB) com capital humano e infraestrutura para apoio ao diagnóstico e promoção de descobertas científicas geradoras de novos conhecimentos e tecnologias. Os desafios enfrentados nesta pesquisa englobaram o remodelamento do espaço existente, a aquisição de novos conhecimentos, insumos e equipamentos, a incorporação e o adestramento de militares e civis, de acordo com as normas de biossegurança. Durante esse período, foram processadas em torno de 6 mil amostras e os resultados foram liberados em prazo máximo de 24 h. Além de terem sido desenvolvidas pesquisas em parceria com renomadas instituições científicas. A implementação do NADPC representou a independência do HNMD no padrão ouro de diagnóstico para COVID-19 em tempos duros. A estrutura atual do LBM deixa um legado à MB, que agora possui um robusto espaço de saber em biologia molecular e virologia. Alinhada à missão da Força, foi construída uma estrutura ágil com capacidade de minimizar possíveis danos decorrentes de ameaças biológicas. Visto isso, este trabalho objetivou contribuir com diagnóstico, pesquisa de alto nível e defesa da Pátria.

Palavras-chave: SARS-CoV-2. PCR. Novo coronavírus. Pandemia.

COVID-19 — NADPC-COVID-19) in the IPB/HNMD, aimed at supplying the Brazilian Navy (*Marinha do Brasil* — MB) with human capital and infrastructure to support the diagnostic process and promote scientific discoveries that can generate new knowledge and technologies. The challenges faced in this research included remodeling the existing space; acquiring new knowledge, materials, and equipment; and recruiting and training military and civilian personnel, according to biosafety standards. Over this period, approximately 6 thousand samples were processed, and results were delivered within 24 h. In addition, studies have been developed in partnership with renowned scientific institutions. The implementation of the NADPC represented the HNMD independence as to the gold standard for COVID-19 diagnosis in difficult times. The current LBM structure leaves a legacy to MB, which now has a robust knowledge space in molecular biology and virology. In line with the mission of the Navy Force, an efficient structure was built to minimize possible damage from biological threats. Thus, this study aimed to contribute to the diagnostic process, high-level research, and defense of our homeland.

Keywords: SARS-CoV-2. PCR. Novel coronavirus. Pandemic.

1. INTRODUÇÃO

“O Brasil espera que cada um cumpra o seu dever.”
(Almirante Barroso)

A atual pandemia foi inicialmente reportada na cidade chinesa de Wuhan (província de Hubei) (WANG et al., 2020), e sua rápida disseminação para 25 outros países (CDC, 2020) resultou na declaração de Emergência de Saúde Pública de Importância Internacional, em 30 de janeiro de 2020, pela Organização Mundial da Saúde (OMS) (WHO, 2020c). Isso ocorreu apenas um mês após o primeiro caso relatado em 31 de dezembro de 2019. Em 11 de março de 2020, a OMS declarou a COVID-19 como uma pandemia (WHO, 2020b).

O agente causador da COVID-19 é o SARS-CoV-2 (*severe acute respiratory syndrome coronavirus 2*), que pertence à família *Coronaviridae*, caracterizada por agrupar vírus envelopados de RNA fita simples. Outros vírus da mesma família já haviam revelado a capacidade de gerar alta mortalidade em razão de mutações em seu material genético (CONTINI et al., 2020).

Os coronavírus apresentam ampla distribuição, podendo ser encontrados em seres humanos, outros mamíferos e aves,

causando doenças respiratórias, digestivas, hepáticas e distúrbios do sistema nervoso (SU et al., 2020). No início de fevereiro de 2020, o Laboratório de Biologia Molecular (LBM) do Instituto de Pesquisas Biomédicas (IPB) do Hospital Naval Marcílio Dias (HNMD), diante da iminência da chegada do vírus ao Brasil, adotou um conjunto de ações para tornar-se capaz de receber amostras de pacientes e atuar na área de diagnóstico pela primeira vez na história do IPB.

Logo após o primeiro caso registrado de COVID-19 no Brasil, no dia 26 de fevereiro de 2020, o LBM começou a realizar seus primeiros diagnósticos. Dessa forma, foi executada uma rápida e efetiva transformação de um jovem laboratório de pesquisa em um laboratório de diagnóstico, pesquisa translacional e divulgação científica, possibilitando a implementação do plano de ação contra COVID-19 delineado em fevereiro.

O RT-qPCR é o recurso mais acurado para o diagnóstico do novo coronavírus. Os outros testes disponíveis no mercado são testes indicativos, não sendo recomendados para a confirmação da doença (XAVIER et al., 2020; WHO, 2020a).

Decerto a dedicação na resolução de todas as dificuldades oriundas da pandemia colocou a Família Naval em local

privilegiado quanto à agilidade e à precisão nos diagnósticos da COVID-19.

Este trabalho apresenta um panorama da implementação do Núcleo de Apoio à Detecção e Pesquisa Clínica da COVID-19 (NADPC-COVID-19) durante o maior desafio da saúde pública mundial no século XXI.

2. OBJETIVO

Implementar o NADPC-COVID-19 no HNMD visando munir o LBM/IPB de uma estrutura ágil, com capital humano e infraestrutura, para a detecção do novo coronavírus e a promoção de descobertas científicas geradoras de novos conhecimentos e tecnologias, com a finalidade maior de minimizar os danos decorrentes da atual pandemia na Família Naval.

3. METODOLOGIA

A adequação do espaço já existente e a implementação do NADPC foram realizadas de forma gradativa e sistêmica, com a participação dos militares e das civis do LBM, além do apoio do Laboratório de Biologia Celular (LBC), confeccionando os *kits* para coleta para secreções respiratórias, e das praças do IPB, auxiliando com as atividades administrativas. Além disso, dois militares do Laboratório de Bioanálises foram deslocados para o LBM e uma militar geneticista foi destacada por quatro meses do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM).

As etapas foram desenvolvidas de acordo com o exposto no Quadro 1.

3.1. APRESENTAÇÃO, APROVAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DO PLANO DO NÚCLEO DE APOIO À DETECÇÃO E PESQUISA CLÍNICA

Diante da emergência em relação ao SARS-CoV-2, o HNMD se deparou com a necessidade de se preparar para a demanda de diagnósticos. A apresentação do plano foi realizada em uma reunião entre as autoridades competentes, em que os itens necessários para a implementação do NADPC foram expostos e aprovados.

Quadro 1. Etapas de implementação do Núcleo de Apoio à Detecção e Pesquisa Clínica da COVID-19 no Hospital Naval Marcílio Dias.

| Etapas | Descrição |
|--------|---|
| 1 | Apresentação e aprovação do plano de implementação do NADPC |
| 2 | Adaptação da infraestrutura laboratorial para recebimento de amostras |
| 3 | Capacitação da equipe inicial (duas militares e uma civil) |
| 4 | Padronização dos procedimentos laboratoriais |
| 5 | Captação e treinamento da nova equipe (dois militares e três civis) |
| 6 | Formação de uma rede colaborativa de pesquisadores* |
| 7 | Criação de um ambiente multiusuário para pesquisa clínica* |

NADPC: Núcleo de Apoio à Detecção e Pesquisa Clínica; *em andamento.

3.2. ADAPTAÇÃO DA INFRAESTRUTURA LABORATORIAL PARA RECEBIMENTO DE AMOSTRAS

Para o início da rotina em diagnóstico, o laboratório realizou a aquisição de alguns equipamentos adequados à manipulação de vírus: uma cabine de segurança biológica, um novo termociclador e insumos necessários para a realização das etapas do teste. Para crescimento da produtividade, também se passou a utilizar dois extratores automáticos de RNA viral. Ademais, a estrutura física do laboratório foi alterada para se adequar às novas regras de biossegurança que foram impostas pela situação.

3.3. CAPACITAÇÃO DE EQUIPE

Toda a equipe do LBM foi adestrada durante a implementação da nova rotina de diagnósticos do setor. Os treinamentos foram realizados em parceria com as empresas fabricantes dos novos equipamentos, com o Laboratório de Virologia Molecular da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), que tem como responsável o Prof. Dr. Almicar Tanuri, e com o Dr. Thiago Moreno, da Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz). Durante os adestramentos, os tópicos de biologia molecular relacionados ao diagnóstico do SARS-CoV-2 foram

abordados, desde conceitos, detalhes técnicos até a capacitação para interpretação dos resultados.

3.4. PADRONIZAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS

O diagnóstico molecular (RT-qPCR) da COVID é baseado na detecção do ácido nucleico viral. Para tal, são necessárias etapas de coleta de secreções respiratórias, extração do material genético, amplificação dos alvos virais via RT-qPCR, e interpretação e liberação dos resultados. Esse teste é considerado o padrão ouro para diagnóstico do vírus SARS-CoV-2 e o recomendado pela OMS (TAHAMTAN; ARDEBILI, 2020; WHO, 2020a).

Os procedimentos operacionais do laboratório foram elaborados de acordo com o preconizado nacional e internacionalmente, adequando-se como roteiro de trabalho para garantir que as tarefas fossem executadas a contento. Os protocolos técnicos foram padronizados de acordo com o Centro de Controle e Prevenção de Doenças dos Estados Unidos da América (CDC, 2020b).

Na Figura 1, é possível observar o fluxo de trabalho estabelecido a fim de otimizar a rotina, desde a coleta até a liberação dos resultados.

O material é coletado pela equipe de enfermagem do HNMD. As amostras são trazidas em lotes ao IPB, que faz o cadastro do material. O material é direcionado ao LBM codificado para que não ocorra identificação direta do paciente. A amostra é processada, tendo início a extração do RNA viral. Durante a extração automática, os reagentes para a realização do RT-qPCR começam a ser preparados a fim de otimizar o processo. Ao término da extração, o RNAv é adicionado a

um conjunto de reagentes e levado ao termociclador, onde ocorre a reação que identificará o material genético viral. Os espectros gerados são analisados e o resultado é liberado.

3.5. ESTRUTURAÇÃO DA NOVA EQUIPE

Para suprir a grande demanda, três civis com qualificação técnica na área de biologia molecular foram incorporadas à equipe. Além disso, dois militares do Laboratório de Bioanálises/IPB e uma militar do IEAPM foram destacados.

A equipe original do LBM era composta de duas militares (uma bióloga virologista e uma técnica em análises clínicas, também bióloga) e uma civil técnica em biotecnologia.

4. RESULTADOS

Uma pandemia viral oferece grandes questões em todos os setores, com destaque para as áreas da saúde, diagnóstico e produção de insumos hospitalares e laboratoriais. O desafio do LBM englobou remodelar um laboratório, ocupar outras áreas do instituto, adquirir novos insumos e equipamentos, incorporar e adestrar mão de obra, treinar outros militares para receber e cadastrar e amostrar, além de agir devidamente de acordo com os manuais nacionais e internacionais de biossegurança, em curtíssimo período.

O teste molecular foi realizado inicialmente em pacientes com suspeita de COVID-19 que foram internados ou atendidos na emergência do HNMD. Nos últimos três meses, a realização do teste foi ampliada para recém-natos, gestantes, pacientes de pré-operatório e militares que irão realizar missões nacionais e internacionais.

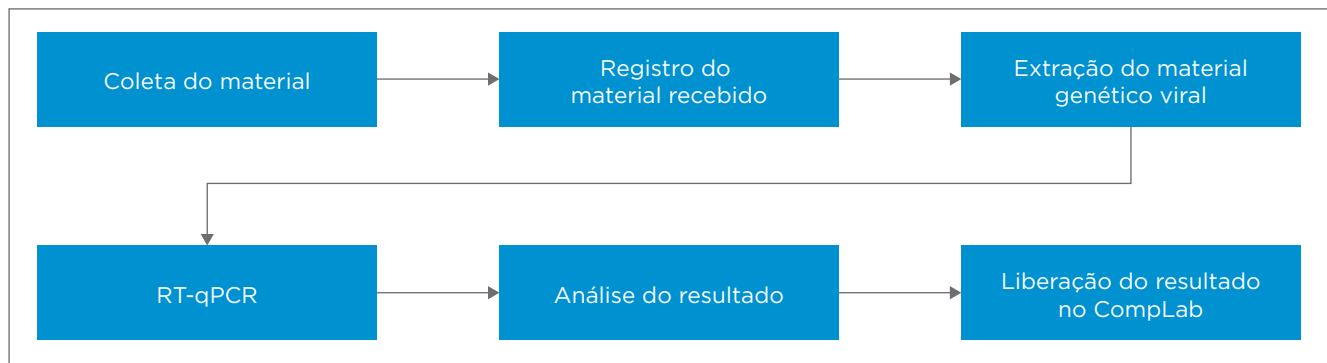


Figura 1. Fluxo de trabalho para a detecção do SARS-CoV-2.

Toda a equipe do IPB foi mobilizada para contribuir com a nova atividade de diagnóstico. O LBM foi o responsável pelo adestramento dos militares do instituto e do LBC, que colabora com a confecção dos *kits* para coleta no HNMD até o presente momento.

De março até o mês corrente, foram realizados aproximadamente 6 mil exames para detecção do material genético viral. Desses, 5.533 tiveram finalidade de diagnóstico para pacientes internados e ambulatoriais; 364 foram de amostras exclusivamente destinadas a pesquisas; 251, de pacientes de pré-operatório; 99, de militares com embarque previsto para missões pela Marinha do Brasil (MB); e 92, de recém-nascidos. A Figura 2 mostra o número de exames e resultados obtidos em 29 semanas de trabalho.

A semana 1 no gráfico refere-se à segunda semana de março de 2020 (equivalente à 11ª semana epidemiológica desse mesmo ano), e a semana 29, à segunda semana de setembro (39ª semana epidemiológica).

O LBM atingiu uma média de 193 exames realizados por semana, chegando ao número máximo de 318 amostras, das quais 228 apresentaram resultado positivo. Os resultados são liberados majoritariamente em um período mínimo de 6 horas e máximo de 24 horas, o que demonstra a presteza

alcançada na liberação dos exames. Os laboratórios nacionais de grande porte possuíam prazo médio de quatro dias úteis (A+ MEDICINA DIAGNÓSTICA, 2020). O curto tempo no diagnóstico de pacientes com viroses respiratórias é essencial para o controle da disseminação da doença.

Do total de 99 militares com previsão de embarque em missão, 4 apresentaram resultado positivo. Assim como os militares em missão, os pacientes de pré-operatório submetidos ao exame de RT-qPCR não apresentavam nenhum tipo de sintoma. No entanto, entre os 251 pacientes testados, 10 apresentaram resultado positivo. Essas detecções possibilitaram a diminuição da transmissão da doença dentro do HNMD, uma vez que as medidas de segurança e isolamento puderam ser adotadas para esses pacientes assintomáticos.

No pico da pandemia no Rio de Janeiro, o laboratório particular que apoia o HNMD em exames laboratoriais suspendeu o recebimento de amostras para detecção do novo vírus, o que evidencia a importância estratégica da independência do HNMD em técnicas que são o “estado da arte” para detecção de vírus e outros patógenos.

Atualmente, o HNMD conta com capital humano, conhecimento e infraestrutura — em franco desenvolvimento

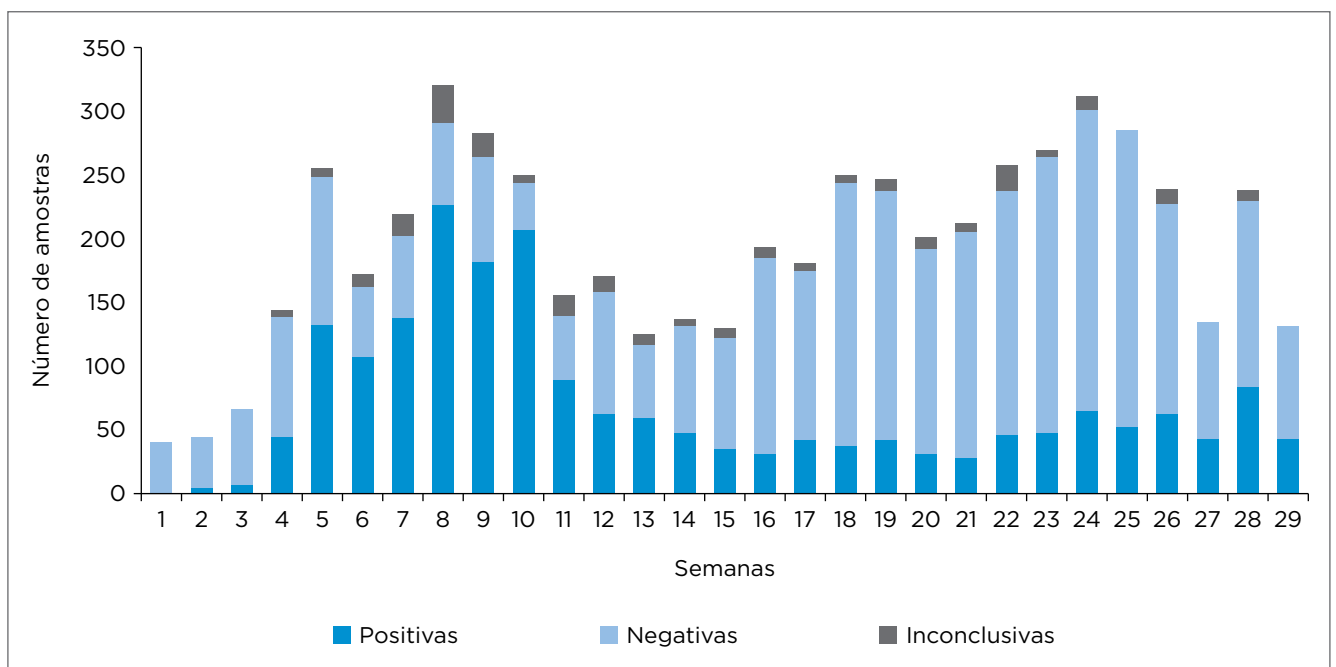


Figura 2. RT-qPCRs realizados e seus respectivos resultados.

— para a detecção de agentes virais em diferentes amostras biológicas em algumas horas.

As expectativas quanto ao sucesso da missão foram superadas. A equipe envolvida não só cooperou com a operação “Grande Muralha”, na missão de prover a mais moderna técnica de diagnóstico molecular para o SARS-CoV-2, como está colaborando ativamente na geração de novos conhecimentos e tecnologia no que tange à COVID-19.

Com coesão e capacidade técnica, chegou-se à margem de 6 mil testes realizados no período de 6 meses e foram estabelecidas parcerias ativas com setores do próprio hospital (clínica de anestesia, clínica de pediatria/UTI Neonatal, divisão de doenças infectoparasitárias) e com 8 laboratórios de centros de excelência em pesquisa, diagnóstico, divulgação científica e metrologia, localizados no Instituto de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), na UFRJ, na Fiocruz, na Universidade Federal Fluminense (UFF) e no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ).

Submetemos e tivemos aprovação de cinco projetos ao sistema CEP/CONEP (Comitês de Ética em Pesquisa da Comissão Nacional de Ética em Pesquisa). Recursos externos foram captados para a realização de pesquisas (emenda parlamentar e FAPERJ) e, atualmente, a equipe envolvida participa de 12 projetos relacionados à COVID, que envolvem pesquisa básica, pesquisa clínica, epidemiologia e geração de novo produto para laboratórios de diagnóstico. Algumas dessas linhas de pesquisa estão ligadas a dissertações e teses de três militares e três civis do HNMD, que, por incentivo do LBM, estão fazendo seleção ou realizando mestrado e doutorado em instituições públicas renomadas do Rio de Janeiro.

O LBM também atuou na linha da prevenção da doença produzindo conteúdo de divulgação científica. Visando compartilhar informações seguras a respeito do SARS-CoV-2 e esclarecer militares e civis sobre como se proteger do novo vírus, foram realizadas duas palestras, três entrevistas para sítios especializados em informação em saúde, e escritas duas notas para o sítio do Saúde Naval e um artigo para a *Revista do Clube Militar*. Além disso, foi prestada consultoria a um laboratório da UFRJ que também precisou se adaptar e adquirir insumos para diagnóstico.

Como resultado das pesquisas e colaborações, quatro artigos foram publicados em revistas científicas internacionais, dois em revistas nacionais, quatro estão em processo de submissão e seis em fase de manuscrito. Outrossim, depositamos

em bancos de genoma duas sequências virais isoladas em nossos pacientes.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou um panorama da implementação do NADPC-COVID-19 no LBM/IPB/HNMD diante do cenário da pandemia. A missão da equipe integrou a ampla mobilização do HNMD em resposta à pandemia do novo coronavírus.

A implementação do NADPC-COVID-19 no HNMD representou a independência do hospital no padrão ouro de diagnóstico para COVID-19 em tempos duros. Em menos de um mês, foram realizadas a adaptação do espaço laboratorial, a compra de equipamentos, a captação e o treinamento de pessoal, para que as necessidades da Família Naval fossem atendidas.

A soma de esforços e saberes foi fundamental para que este trabalho pudesse ser realizado com sucesso. A despeito da tormenta que se apresentou na saúde pública mundial, o grupo se manteve forte e coeso, sempre pronto para o cumprimento das missões.

A estrutura atual do LBM deixa um legado à MB, que agora possui um robusto espaço de saber em biologia molecular e virologia. Alinhado à missão da Força, construiu-se uma estrutura ágil com capacidade de minimizar possíveis danos decorrentes de ameaças biológicas. Assim, todos os envolvidos neste projeto estão preparados para contribuir com o diagnóstico, a pesquisa de alto nível e a defesa da Pátria.

AGRADECIMENTOS

O LBM/IPB agradece ao Diretor de Saúde da Marinha, Contra-Almirante (Md) Luiz Cláudio Barbedo Fróes; ao Diretor do HNMD, Contra-Almirante (Md) Humberto Giovanni Canfora Mies; ao Encarregado do IPB, CMG (Md) Marcelo Leal Gregório; à equipe do IPB, especialmente ao 2ºSG-EF Reginaldo Silva de Oliveira, ao 2ºSG-EF Bruno de Lima Miranda, ao 2ºSG-EF Klibson Vital Kruta; ao Prof. Dr. Almicar Tanuri e à Dra. Diana Mariani, do Laboratório de Virologia Molecular do Instituto de Biologia da UFRJ; e aos usuários do Sistema de Saúde da Marinha, o suporte e a confiança em nossa equipe para o desempenho dessa valorosa missão.

REFERÊNCIAS

- A+MEDICINA DIAGNÓSTICA. *Exames para diagnóstico da Covid-19 estão disponíveis na a+.* Disponível em: <https://www.amaissaude.com.br/pr/noticias/exames-para-diagnostico-da-covid-19-estao-disponiveis-na-amais/>. Acesso em: 29 set. 2020.
- CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION (CDC). *Coronavirus Disease 2019: COVID-19 World Map Global COVID-19.* Centers for Disease Control and Prevention; 2020a. Disponível em: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/global-covid-19/index.html>. Acesso em: 11 ago. 2020.
- CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION (CDC). *Novel Coronavirus (2019-nCoV) Real-Time RT-PCR Diagnostic Panel.* Centers for Disease Control and Prevention, 2020b. Disponível em: <https://www.fda.gov/media/134922/download>. Acesso em: 4 mar. 2020.
- CONTINI, C.; NUZZO, M.; BARP, N.; BONAZZA, A.; GIORGIO, R.; TOGNON, M.; RUBINO, S. The novel zoonotic COVID-19 pandemic: An expected global health concern. *Journal of Infection in Developing Countries*, v. 14, n. 3, p. 254-264, 2020. <https://doi.org/10.3855/jidc.12671>
- SU, L.; MA, X.; YU, H.; ZHANG, Z.; BIAN, P.; HAN, Y.; SUN, J.; LIU, Y.; YANG, C.; GENG, J.; ZHANG, Z.; GAI, Z. The different clinical characteristics of corona virus disease cases between children and their families in China - the character of children with COVID-19. *Emerging Microbes & Infections*, v. 9, n. 1, p. 707-713, 2020. <https://doi.org/10.1080/22221751.2020.1744483>
- TAHAMTAN, A.L.; ARDEBILI, A. Real-time RT-PCR in COVID-19 detection: issues affecting the results. *Expert Review of Molecular Diagnostics*, v. 20, p. 1-2, 2020. <https://dx.doi.org/10.1080/2F14737159.2020.1757437>
- WANG, C.; HORBY, P.W.; HAYDEN, F.G.; GAO, G.F. A novel coronavirus outbreak of global health concern. *Lancet*, v. 395, n. 10223, p. 470-473, 2020. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30185-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30185-9)
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). *Advice on the use of point-of-care immunodiagnostic tests for COVID-1.* Genebra: WHO, 2020a. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/commentaries/detail/advice-on-the-use-of-point-of-care-immunodiagnostic-tests-for-covid-19>. Acesso em: 29 set. 2020.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). *Coronavirus disease 2019 situation report 51.* Genebra: WHO, 11 março 2020b. Disponível em: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019>. Acesso em: 10 ago. 2020.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). *Statement on the second meeting of the International Health Regulations (2005) Emergency Committee regarding the outbreak of novel coronavirus (2019-nCoV).* Genebra: WHO, 2020c. Disponível em: [https://www.who.int/news-room/detail/30-01-2020-statement-on-the-second-meeting-of-the-international-health-regulations-\(2005\)-emergency-committee-regarding-the-outbreak-of-novel-coronavirus-\(2019-ncov\)](https://www.who.int/news-room/detail/30-01-2020-statement-on-the-second-meeting-of-the-international-health-regulations-(2005)-emergency-committee-regarding-the-outbreak-of-novel-coronavirus-(2019-ncov)). Acesso em: 22 set. 2020.
- XAVIER, A.R.; SILVA, J.S.; ALMEIDA, J.P.F.; CONCEIÇÃO, J.F.F.; LACERDA, G.S.; KANAAN, S. COVID-19: manifestações clínicas e laboratoriais na infecção pelo novo coronavírus. *Jornal Brasileiro de Patologia e Medicina Laboratorial*, v. 56, p. 1-9, 2020. <https://doi.org/10.5935/1676-2444.20200049>

CASNAV

Centro de Análises de Sistemas Navais



Figura 4

CENTRO DE ANÁLISE DE SISTEMAS NAVAIS

SUBSÍDIOS PARA ELABORAÇÃO DE PLANO DE EMERGÊNCIA EXTERNO: UM ESTUDO PARA ATENDER AO COMPLEXO NAVAL DE ITAGUAÍ

Subsidies for formulation of External Emergency Plan:
a study to assist the Naval Complex of Itaguaí

Kellen Stephany Batista Marques¹

Resumo: As Águas Jurisdicionais Brasileiras possuem uma área de aproximadamente 5,7 milhões de quilômetros quadrados repletos de riquezas naturais, além de concentrar cerca de 95% (noventa e cinco por cento) do comércio exterior do Brasil. Para patrulhar e defender essa região, a Marinha do Brasil está desenvolvendo e construindo um submarino com propulsão nuclear e uma base naval com uma área radiológica para sua operação e manutenção no município de Itaguaí no Estado do Rio de Janeiro. Com esse avanço tecnológico, a Marinha do Brasil, os governos municipal, estadual e federal, e a Defesa Civil deverão estar preparados em termos de segurança, já que a área passará a sofrer riscos tecnológicos como o de um acidente radiológico e nuclear. Uma boa preparação pode melhorar substancialmente a resposta para uma possível emergência, que, por sua vez, envolve muitas organizações que devem ter responsabilidades e arranjos bem definidos. Dessa forma, este trabalho busca fornecer subsídios para a elaboração do Plano de Emergência Externo para a região do Complexo Naval de Itaguaí, uma demanda inédita no Brasil.

Palavras-chave: Emergências radiológicas e nucleares. Plano de emergência. Complexo Naval de Itaguaí. Submarino com propulsão nuclear.

Abstract: The Brazilian Juridical Sea has an area of approximately 5.7 million square kilometers full of natural resources, and about 95% of its foreign trade has been done by the sea. To patrol and defend this region, the Brazilian Navy has been developing and constructing a submarine with nuclear propulsion and a naval base with a radiological area for its operation and maintenance in the city of Itaguaí placed in Rio de Janeiro's State. However, for this technological improvement, the Brazilian Navy, the municipal, state and federal governments and Civil Defense must be prepared in terms of safety. The region of Itaguaí will become vulnerable to technological risks such as radiological and nuclear issues. A good plan can improve the emergency response, which involves many organizations that must have clear responsibilities and arrangements. Thus, this study aims to offer subsidies to the construction of the External Emergency Plan for the Itaguaí Naval Complex, an unprecedented demand.

Keywords: Radiological and nuclear emergencies. Emergency plan. Itaguaí Naval Complex. Nuclear power submarine.

¹ Mestre em Defesa e Segurança Civil pela Universidade Federal Fluminense - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: kellen.marques@marinha.mil.br

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Corrêa (2010), com o intuito de atender aos interesses do Estado de proteção do território nacional e garantir sua soberania no mar, desde a década de 1970, o Estado brasileiro tem interesse em construir um submarino com propulsão nuclear. Nesse sentido, em 2008, foi assinado o Decreto nº 6.703 oficializando a transferência de tecnologia entre Brasil e França, a fim de viabilizar a produção de quatro submarinos convencionais — classe *Scorpene* francesa modificados (S-BR), a fabricação do primeiro submarino brasileiro com propulsão nuclear (SN-BR) e a construção de uma base de submarinos e de um estaleiro em Itaguaí, no Estado do Rio de Janeiro, através do Programa de Desenvolvimento de Submarinos (PROSUB), gerenciado pela Marinha do Brasil (MARINHA DO BRASIL, 2018).

Embora o Brasil já domine o ciclo completo do combustível, do enriquecimento do urânio à transformação em pastilha para propulsão, os projetos do SN-BR e do Complexo Naval de Itaguaí (CNI) são inéditos e apresentam desafios consideráveis para os diversos atores envolvidos desde o projeto à sua futura operação. O maior desafio, contudo, é a segurança da tripulação, das pessoas e do meio ambiente do entorno de sua Base Naval (MARQUES, 2019).

A aplicação de energia nuclear na propulsão de submarinos deve atender a princípios básicos de proteção e segurança estabelecidos por órgãos especializados como a Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA — *International Atomic Energy Agency*), e os órgãos responsáveis de cada país, como a Comissão de Energia Nuclear (CNEN) no Brasil.

O CNI será composto por uma área onde serão realizadas as etapas de montagem, lançamento, operação e manutenção dos submarinos, e, de acordo com Guimarães (1999), para atender ao projeto, o Estaleiro e Base Naval (EBN) deverá ser dotado de uma área radiológica com instalações especializadas para manutenção da instalação nuclear (sala limpa, oficina mecânica quente, células quentes, piscina de armazenagem de elementos combustíveis). Esse complexo contará também com duas docas secas nas quais serão realizadas as trocas de combustível nuclear, que acontecerão através de um móvel, unidade móvel e totalmente blindada para acesso ao reator nuclear do SN-BR (BOTELHO, 2016).

O desenvolvimento desse empreendimento sociotecnológico, que, conforme Linhares (2016), é um sistema no qual

em sua operação ocorre interação complexa entre homem e máquina num contexto social, acarretará, invariavelmente, mudanças na região escolhida. Carvalho (2015) afirma que esse tipo de desenvolvimento tecnológico demanda ações integradas das instalações, do poder público e da própria população visando à mitigação dos efeitos causados pela possibilidade de desastres tecnológicos.

Dessa forma, conforme Carvalho (2015), cabe aos órgãos de proteção e defesa civil e aos demais órgãos de apoio elaborarem planos de emergência integrados para a resposta e proteção aos trabalhadores e à população do entorno, bem como ao meio ambiente nos casos de acidentes que possam liberar produtos nocivos além dos limites de suas instalações. A carência de trabalhos específicos sobre elaboração de Planos de Emergências para bases navais aparelhadas com áreas radiológicas, sobretudo no Brasil, justifica este estudo.

2. OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo geral fornecer subsídios para a elaboração do Plano de Emergência Externo (PEE) que contemple resposta às emergências oriundas da operação do submarino brasileiro de propulsão nuclear no CNI.

3. METODOLOGIA

Este trabalho pode ser classificado como um estudo comparativo entre o Plano de Emergências Externo do condado de San Diego nos Estados Unidos (EOP San Diego), o Plano de Emergência do Estado do Rio de Janeiro (PEM-RJ) e o Plano de Emergência Externo do Estado do Rio de Janeiro para caso de emergência nuclear nas instalações da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (PEE-CNAAA).

A escolha do Condado de San Diego para a comparação documental desse trabalho deve-se ao fato de a região conter uma usina de geração nuclear, em fase de descomissionamento desde 2013, *San Onofre Nuclear Generating Station*, e uma base naval para navios com propulsão nuclear constante do Programa de Propulsão Nuclear Naval (*Naval Nuclear Propulsion Program* — NNPP) da Marinha dos Estados Unidos.

4. RESULTADOS

Nas emergências radiológicas e nucleares externas no Brasil, a Defesa Civil desempenha o papel de coordenadora das ações de resposta, com o apoio da CNEN e do Sistema de Proteção ao Programa Nuclear Brasileiro (SIPRON). As três instituições, com a organização operadora da instalação radiológica ou nuclear, no caso a Marinha do Brasil para o CNI, devem ser capazes de assegurar os objetivos práticos das respostas a emergência de forma eficaz e eficiente (MARQUES, 2019).

O PEE deve contemplar as fases de “Prevenção”, “Mitigação e Preparação”, “Resposta” e “Reconstrução”, contemplando a Lei nº 12.608 de 2010 (BRASIL, 2012). Os resultados da comparação dos Planos estudados neste trabalho contêm aspectos que devem ser considerados na elaboração do PEE do CNI conforme a seguir.

4.1. FASE DE PREVENÇÃO

O PEE para a CNAAA não apresenta os gatilhos de falha no reator devido a característica de sigilo inerente à área nuclear, estando presentes no Plano de Emergência Local (PEL) da Eletronuclear. A CNAAA é responsável por acionar o PEE caso o dano ultrapasse a área interna da instalação e da mesma forma ocorrerá com a Marinha do Brasil, que será, além de Operadora, a primeira respondedora em caso de emergência e acionará a situação de emergência externa de acordo com sua análise e após o acionamento de seu PEL.

No que diz respeito à classificação do desastre, o PEE para a CNAAA não traz nenhum detalhamento pois se encontra em documentação reservada do PEL da Eletronuclear. Para o PEE para o CNI, sugere-se que fique claro onde se pode encontrar essa informação, mesmo ela sendo de caráter reservado ou sigiloso da Marinha do Brasil.

Com relação à atenção aos serviços de inteligência, tanto o PEM do Estado do Rio de Janeiro quanto o PEE para a CNAAA não são específicos quanto ao papel da Inteligência, apenas citando a necessidade de representante nos Centros de Resposta. Embora o Brasil não seja comumente alvo de ações terroristas, é interessante especificar o papel da Inteligência para prevenir outros riscos durante a operação de resposta.

Quanto à articulação com o sistema de monitoramento dos riscos, os três Planos estudados apresentam uma explanação do sistema de alerta e alarme. Isso deve ser seguido no

PEE para o CNI, que terá a Marinha do Brasil como responsável pelo monitoramento de suas instalações radiológicas e nucleares, mesmo que não expostas no Plano as técnicas utilizadas, tendo em vista o sigilo da atividade militar e nuclear.

4.2. FASE DE MITIGAÇÃO E PREPARAÇÃO

Conforme a comparação das informações para a fase de “mitigação e preparação”, compreende-se que, no geral, tanto os planos brasileiros quanto o americano apresentam os dados geográficos e demográficos suficientes para a análise do cenário do risco identificado na fase de prevenção. Contudo, sugere-se que o PEE para o CNI apresente também os dados meteorológicos e hidrológicos da região, o que não há no PEE para a CNAAA, pois esses dados se correlacionam com o fato de os rejeitos radiológicos poderem ser carreados pela chuva ou, ainda, transportados pelo ar.

Na comparação entre os Planos, observa-se que os três apresentam uma identificação dos cenários de risco de maneira geral, porém satisfatória. Para o PEE do CNI, deve-se adotar a análise de risco realizada por especialistas de áreas diversas como a Nuclear, Geológica, Meio Ambiente, entre outras, considerando-se os acidentes possíveis e os já ocorridos em bases navais.

Com relação à informação ao público, sugere-se que para o CNI sejam realizadas campanhas de esclarecimento sobre procedimentos a serem adotados em caso de emergência na instalação. Para isso o SIPRON, que é responsável por assegurar o planejamento integrado do Programa Nuclear Brasileiro (PNB), pode auxiliar a Marinha do Brasil numa ação conjunta para a execução continuada de providências que visem a atender às necessidades de segurança e de seu pessoal, tão logo da população e do meio ambiente com ele relacionados.

Para o CNI, deve-se estudar o grau de vulnerabilidade dos cenários da região e delimitar as Zonas de Planejamento de Emergência (ZPE), para o qual se sugere que um trabalho similar ao do PEE para a CNAAA seja realizado para o CNI. As áreas de emergências devem observar os riscos proporcionais à potência do reator do submarino com propulsão nuclear, 48 MW, quando atracado no CNI.

No que diz respeito à organização de exercícios simulados, o EOP de San Diego possui uma abordagem específica — o Plano de Treinamento e Exercício —, e o PEE para a CNAAA prevê que a realização anual de simulados para dotar a população do senso de risco é imprescindível para fomentar uma

cultura de segurança. Também devem ser realizados, periodicamente, exercícios simulados, parciais e gerais, que possibilitem o treinamento das instituições envolvidas, bem como a melhoria contínua do Plano. Os exercícios podem ser de vários tipos: de comunicação, de mesa, individual, simulado e de acionamento de sirenes.

Com relação aos arranjos dos meios, recursos humanos e materiais e procedimentos, o EOP de San Diego se apoia num modelo nacional que estabelece a interação das diferentes esferas do governo com as demais organizações privadas e não governamentais. O PEM do Estado do Rio de Janeiro não estabelece tais arranjos, o que, para a CNAAA, é complementado pelas ações do PEE específico. Para o PEE do CNI, sugere-se que o escopo e a extensão dos arranjos em preparação à resposta de emergências contenham critérios previamente estabelecidos para determinar a adoção das diferentes ações de proteção e a capacidade de tomar ações para proteger e informar o pessoal no cenário e, se necessário, o público, durante a emergência.

A infraestrutura de transporte, equipamentos de atendimento médico e outros de cunho social também devem ser detalhados. O Condado de San Diego o faz no Plano geral enquanto o Estado do Rio de Janeiro coloca seus recursos nos Planos específicos, a exemplo do PEE para o CNAAA. Para o PEE do CNI, sugere-se que, além de detalhar a infraestrutura de atendimento, haja uma condição de verificação periódica de sua disponibilidade.

Uma informação importante no EOP de San Diego é a atenção à acessibilidade para portadores de necessidades especiais, bem como a estrangeiros. Os Planos do Estado do Rio de Janeiro não registram isso. É importante que o PEE para o CNI aborde a questão dos recursos para atendimento dessas necessidades.

O PEE deve ter o detalhamento da montagem da Sala de Crise, devidamente equipada, conforme apresentado pelos três Planos analisados. Um local alternativo para essa Sala deve também estar previsto, como no Plano de San Diego.

Na fase de preparação, é necessário também se atentar aos modelos de comunicação durante a emergência. Tanto o EOP de San Diego quanto o Plano do Estado do Rio de Janeiro apresentam modelos, o que não se pode observar no PEE para o CNAAA. O PEE para o CNI deve apresentar tal informação.

Um critério interessante, apontado somente pelo PEM do Estado do Rio de Janeiro, é o estabelecimento do tempo desejado para atuação do respondedor em caso de emergência. Isso pode ser importante para o PEE para o CNI, uma vez que ajudará na mitigação dos impactos do acidente e do risco, diminuindo o tempo de exposição dos possíveis afetados à radiação.

Por fim, é importante que na fase de preparação estejam previstos no PEE os critérios para desmobilização da Emergência, conforme explicitado no Plano de San Diego. Os Planos do Estado do Rio de Janeiro não contêm tal detalhamento.

4.3. FASE DE RESPOSTA

Para as ações de resposta, aos agentes envolvidos devem ser atribuídas e distribuídas as responsabilidades de forma clara e ampla, como todos os Planos analisados. O PEE para o CNI deve conter uma matriz de ações x responsabilidades o mais completa possível.

Uma informação imprescindível que deve acompanhar os dados sobre os responsáveis por cada ação é a linha de sucessão das autoridades, o que pode ser observado no EOP de San Diego e no PEM do Estado do Rio de Janeiro. Para o CNI, sugere-se que tais informações sejam apresentadas para que o substituto também esteja preparado, a fim de não haver surpresas durante a fase de resposta, bem como todos os contatos telefônicos sejam atualizados, podendo essa informação ficar ser reservada às autoridades.

O EOP de San Diego informa que o órgão de Saúde Pública do Condado é o encarregado de identificar os agentes de risco biológicos, químicos, nucleares e radiológicos. No Estado do Rio de Janeiro, o PEE para o CNAAA, que é específico para emergências radiológicas e nucleares, atende a essa demanda, o que deve ser seguido da mesma forma na elaboração do futuro PEE para o CNI.

Quando detectado o agente de risco, devem ser iniciados os procedimentos de evacuação. O EOP de San Diego detalha as operações de evacuação e cita estabelecimento de pontos de encontro para cada situação de desastre específico. O PEM do Estado do Rio de Janeiro não apresenta nenhum detalhamento quanto a isso, mas, para o caso da CNAAA, seu PEE estabelece a evacuação preventiva da população como medida de proteção eficaz até um raio de 5 km em torno da usina e detalha os pontos de reunião e embarque para cada

ZPE, assim como as equipes responsáveis. Sugere-se que o PEE para o CNI siga o modelo especificado pelo PEE para a CNAAAA.

Para o PEE para o CNI, a evacuação através de meios navais também deve ser pensada, seja de pessoas ou veículos, por meio de desembarque anfíbio, por se tratar de uma região cercada pelo mar.

Após a evacuação, deve-se iniciar a fase de abrigar os desabrigados, que serão levados para os abrigos temporários. Os três Planos analisados detalham as operações de abrigamento, que devem ser seguidas pelo PEE do CNI, apresentando o máximo de detalhes possíveis.

Depois de evacuado o local, deve-se iniciar a descontaminação. O EOP de San Diego prevê a descontaminação de áreas atingidas, pessoas e animais. Já os Planos do Estado do Rio de Janeiro, PEM e PEE para o CNAAAA não fazem menção a essas operações. Sugere-se que o PEE para o CNI se atente a isso para limitar a contaminação.

No que diz respeito ao atendimento das vítimas, tanto o EOP de San Diego quanto o PEE para o CNAAAA, em complemento ao PEM do Estado do Rio de Janeiro, estabelecem protocolos das operações, designando os locais para direcionamento das vítimas. Para o Estado do Rio de Janeiro, essas ações serão realizadas pelas equipes do Serviço de Atendimento Móvel às Urgências (SAMU 192) e pelos hospitais de referência, como o Hospital Naval Marcílio Dias na cidade do Rio de Janeiro, se necessário, que deve estar permanentemente preparado, estrutura que também servirá para o PEE do CNI.

Além disso, deve-se atentar para o fato de que há possibilidade de as pessoas sofrerem um grande estresse durante a emergência, o que gera uma demanda adicional de atendimento médico e psicológico, uma previsão que consta no EOP de San Diego, mas não é observada pelo PEM do Estado do Rio de Janeiro e pelo PEE para o CNAAAA. Isso deverá constar no PEE para o CNI.

O serviço de apoio aos animais, que está presente somente no Plano de San Diego, deve ser considerado para o CNI. É necessário se atentar para o fato de que os donos dos animais podem tentar recuperá-los, mesmo sem autorização dos responsáveis pela emergência, e recontaminarem-se caso eles não sejam tratados também.

A gestão da comunicação deve ter alta relevância para a execução de um PEE, independentemente da fase. No EOP

de San Diego, a gestão da comunicação é executada pelo Escritório de Comunicações do Condado de San Diego. Tanto o PEM do Estado do Rio de Janeiro quanto o PEE para o CNAAAA não delimitam bem as ações de comunicação durante o desastre. Sugere-se que, a exemplo do Plano de San Diego, o PEE para o CNI detalhe a execução das comunicações ao longo do desastre. A divulgação deve ser realizada através de várias formas de dispositivos de comunicação, canais e métodos. Deve-se informar a responsabilidade durante uma emergência ou desastre de fornecer ao público informações e instruções precisas.

Além dos aspectos apresentados para a fase de resposta, outros importantes foram observados no EOP de San Diego e merecem ser mais desenvolvidos para o PEE do CNI:

- » Recebimento de doações e suprimentos.
- » Atenção ao terrorismo por se tratar de áreas estratégicas militares e com instalações nucleares.
- » Atenção ao manejo de vítimas fatais e equipe de médicos legistas, para não contaminarem pessoas e meio ambiente.
- » Atenção ao controle de documentos durante a resposta à emergência.
- » Registro das lições aprendidas.

4.4. FASE DE RECONSTRUÇÃO

As medidas de reconstrução após um acidente devem estar detalhadas num plano que estabelece responsabilidades, organização da reconstrução, bem como linhas de comunicação. A premissa básica do plano de reconstrução é que, se o planejamento for realizado antes de um desastre, a região pode mais rapidamente voltar à normalidade. As metas de recuperação contidas neste Plano devem incluir avaliação de danos; informação de avaliação; estimativa do valor financeiro das perdas e dos custos de recuperação; aplicação rápida para fundos estaduais e federais de auxílio a desastres; restauração oportuna da comunidade, serviços e infraestrutura para a condição de normalidade; e medidas de mitigação viáveis.

Tanto o EOP de San Diego quanto o PEE para o CNAAAA, que é complementar ao PEM do Estado do Rio de Janeiro, citam a avaliação de danos como premissa para o plano de reconstrução. Isso também deve ser feito para o PEE do CNI.

O EOP de San Diego contém uma sessão de engenharia e construção para cuidar da reconstrução pós-desastre. O PEE para o CNAAAA e o PEM do Estado do Rio de Janeiro, apenas cita, sem prover muitos detalhes, o

Programa de Reconstrução Brasileiro. Uma sugestão é que o Plano para o CNI detalhe o Programa, já que as ações de reconstrução devem começar logo após o a ocorrência do acidente. Quanto à estrutura de engenharia e reconstrução, o EOP de San Diego expressa atividades bem definidas dentro de seu escopo, que incluem a realização de avaliações pré e pós-incidentes de obras públicas e infraestrutura; apoio a contratos de emergência para serviços essenciais; gerenciamento de construção e contratação de serviços imobiliários; e fornecimento de reparação de emergência a infraestruturas danificadas e instalações críticas, sendo um exemplo para o Brasil.

As ações de reconstrução geralmente são divididas em duas fases: curto e longo prazos. O PEE para o CNAAA, em complemento ao PEM do Estado do Rio de Janeiro, está incompleto quanto a isso, dividindo as ações apenas quanto ao reassentamento de pessoas. Para o PEE do CNI, sugere-se uma abordagem mais ampla de acordo com os objetivos de cada uma.

Uma informação que deve conter no PEE é a preocupação com a segurança pública da área de emergência. As pessoas podem ignorar os riscos e tentar voltar para o local para recuperar bens, por exemplo. O PEE para o CNI deve englobar essa ressalva, tal como o EOP de San Diego e o PEE para o CNAAA.

Nesse processo de reconstrução, deve-se destacar também o controle de alimentos, que, embora não seja considerada uma medida urgente, deve ser implementada a tempo em caso de contaminação por radiação. Sugere-se que PEE para o CNI dê mais atenção a essa questão a exemplo do EOP de San Diego.

Por fim, é importante que esteja previsto no PEE do CNI, a exemplo dos três Planos analisados, os recursos de financiamento para a reconstrução da região afetada. Durante a fase de recuperação, essa avaliação é refinada para um nível mais detalhado, sendo necessária para solicitar assistência financeira aos órgãos responsáveis. O plano também deve identificar as fontes de apoio externo que podem ser fornecidas, através de ajuda mútua, por outros órgãos estaduais e federais, bem como o setor privado.

A reconstituição dos serviços pode ser realizada por meio de assistência coletiva ou individual por meio de programas que identifiquem as necessidades e definam recursos, forneçam alojamento e promovam o tratamento das pessoas afetadas.

5. CONCLUSÃO

Para o sucesso do PROSUB, é necessário que o Brasil esteja preparado em termos tecnológicos e sociais, sobretudo na questão que envolve a segurança e a região escolhida para sediar a Base Naval, que deve estar preparada adequadamente para garantir uma resposta para emergências nucleares e radiológicas eficaz. As funções dos muitos atores envolvidos devem ser as mesmas de uma emergência convencional, envolvendo agências e especialistas técnicos de forma integrada com uma emergência nuclear ou radiológica.

Ao aprimorar seus regulamentos e guias para atender ao PROSUB, o SIPRON e a CNEN devem considerar os comentários das partes interessadas e seus retornos de experiência, além das normas e recomendações internacionalmente reconhecidas, como os guias de segurança da AIEA. A classificação brasileira dos desastres, a COBRADE, deve ser revisada para atender ao projeto do CNI, abrangendo meios e instalações navais com conteúdo nuclear.

Uma questão importante que deverá ser abordada pela CNEN é que a construção do CNI e do SN-BR vai, de certa forma, trazer à tona uma questão ainda não resolvida no Brasil: a delimitação e a construção de um depósito final de rejeitos radioativos. Os rejeitos das usinas eletrônicas de Angra dos Reis, Rio de Janeiro são, até o momento, guardados em depósitos temporários na própria usina ou no Centro de Gerenciamento de Rejeitos em Angra dos Reis. O Depósito de Abadia de Goiás foi uma solução específica para rejeitos gerados do acidente com Cs-137 em Goiânia em 1987.

A preparação para as ações dos diversos órgãos envolvidos, Marinha do Brasil, Defesa Civil, Prefeitura de Itaguaí e Estado do Rio de Janeiro, entre outros, deve sempre ter um caráter antecipatório. Deve-se assegurar que os órgãos destinados à resposta tenham os recursos necessários para lidar com quaisquer consequências de emergência radiológica ou nuclear no domínio público, determinando antecipadamente a alocação de responsabilidades pela gestão de intervenções em situações de emergência entre os órgãos reguladores nacionais e locais.

Um fato importante que deve ser levantado é a disponibilidade da rede dos serviços de saúde no Estado do Rio de Janeiro para atendimento de vítimas de um possível desastre radiológico ou nuclear no CNI, uma vez que em condições normais — sem nenhum desastre — já não se mostra suficiente, sendo uma fragilidade nacional. O local de referência para acidentes

radioativos e nucleares é o Hospital Naval Marcílio Dias, que não possui leitos de Unidade de Tratamento Intensivo (UTI) suficientes para um evento de grande magnitude. Mesmo considerando-se o apoio da Fundação Eletronuclear de Assistência Médica (FEAM), que é referência na área, a rede pode não ser suficiente em caso de acidente.

A comparação entre os Planos de Emergência aqui apresentados mostrou caminhos pertinentes a serem seguidos para a elaboração do PEE para o CNI, contendo inicialmente uma breve descrição da base naval com características técnicas em nível ostensivo com área, população, equipe interna de resposta a emergência, entre outras.

REFERÊNCIAS

BOTELHO, M.H.D.S. *Estrutura Conceitual para o Licenciamento Nuclear do Complexo Radiológico do Submarino Brasileiro Com Propulsão Nuclear*. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-Graduação Lato Sensu em Proteção Radiológica e Segurança de Fontes Radioativas) – Instituto de Radioproteção e Dosimetria, Comissão Nacional de Energia Nuclear, Rio de Janeiro, 2016.

BRASIL. *Lei nº 12.608, de 11 de abril de 2012*. Política Nacional de Proteção e Defesa Civil. Brasil, 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm. Acesso em: ago. 2018.

CARVALHO, P.R.W. *Plano de contingência para instalações industriais que processam e estocam produtos perigosos: uma abordagem a partir do modelo para instalações nucleares de geração de energia elétrica*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2015.

CORRÊA, F.G. *O projeto do submarino nuclear brasileiro*. Rio de Janeiro: Capax Dei, 2010.

GUIMARÃES, L.S. *Síntese de doutrina de segurança para projeto e operação de submarinos nucleares*. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

LINHARES, T.Q. *Uma proposta de modelo de gerenciamento da cultura de segurança para o submarino brasileiro com propulsão nuclear*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

MARINHA DO BRASIL. *Benefícios Tecnológicos do PROSUB*. Marinha do Brasil. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/prosub/beneficios-tecnologico>. Acesso em: nov. 2018.

MARQUES, K.S.B. *Subsídios para Elaboração de Plano de Emergência Externo: Um estudo para o Complexo Naval de Itaguaí*. Dissertação (Mestrado) – Mestrado Profissional em Defesa e Segurança Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2019.

CTMRJ

Centro Tecnológico da Marinha
no Rio de Janeiro



Figura 5

CENTRO TECNOLÓGICO DA MARINHA NO RIO DE JANEIRO

IDENTIFICAÇÃO FORENSE DE DERRAMAMENTOS DE ÓLEO: UM ESTUDO SOBRE A INFLUÊNCIA DO INTEMPERISMO NA IDENTIFICAÇÃO DE FONTES

Forensic fingerprinting of oil spills: a study on the influence of weathering on source identification

Márcio Martins Lobão¹ , Tanise Klein Ramos² ,
Fernanda Freyesleben Thomazelli³ 

Resumo: As fontes dos grandes derramamentos de óleo são, geralmente, identificadas. No entanto, nem sempre é esse o caso nos incidentes de baixo impacto comumente observados. A determinação da impressão digital de um incidente de poluição por óleo fornece informações para as equipes de resposta, que avaliam a contaminação do local, e para fins legais, sendo usada como um importante mecanismo para resolver disputas relacionadas à definição de responsabilidades. Utilizando um protocolo padronizado para realização de análises forenses de derramamentos de óleo, este estudo — realizado ao longo de três meses, com amostras oleosas expostas ao intemperismo sob condições controladas — teve como objetivo avaliar se alterações na composição química de diferentes tipos de óleos e seus derivados poderiam levar à identificação incorreta da fonte ou a resultados inconclusivos. Óleos de sete diferentes especificações foram utilizados para simular, em tanques, derramamentos de óleo no mar, sendo periodicamente amostrados e analisados, para avaliação de hidrocarbonetos saturados, incluindo biomarcadores de óleo, por meio de análises cromatográficas (CG-DIC e CG-EM). Os perfis cromatográficos obtidos da triagem das amostras por CG-DIC se modificaram ao longo do tempo, indicando o avanço do intemperismo sobre as amostras expostas. Já as características dos biomarcadores de petróleo presentes nesses diferentes óleos não mudaram ao longo do experimento. Foi possível identificar, tanto com base na alta capacidade de correlação dos parâmetros geoquímicos considerados quanto

Abstract: Sources of large oil spills are usually identified. However, this is not always the case in common low-impact incidents. Fingerprinting an oil pollution incident provides information to response teams assessing site contamination. This information is also used for legal purposes as an important mechanism for settling disputes related to liability. Using a standardized protocol for forensic analysis of oil spills, this study — carried out over three months, with oily samples exposed to weathering under controlled conditions — aimed to evaluate whether changes in the chemical composition of different types of oils and their products could lead to source misidentification or inconclusive results. Seven different oils were used to simulate, in tanks, oil spills at sea. They were periodically sampled and examined to assess saturated hydrocarbons, including oil biomarkers, by chromatographic analyses (gas chromatography-flame ionization detection [GC-FID] and gas chromatography-mass spectrometry [GC-MS]). The chromatographic profiles obtained from GC-FID sample screening changed over time, indicating the increasing weathering of the exposed samples. In contrast, the petroleum biomarker characteristics present in the different oils remained the same during the experiment. We could identify, both based on the high correlation capacity of the geochemical parameters investigated and on the multivariate analysis of the established diagnostic ratios, that different oils could be associated with their original sample for at least

1. Chefe do Departamento de Oceanografia do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM) - Arraial do Cabo, RJ - Brasil. E-mail: marcio.lobao@marinha.mil.br

2. Técnica de Projeto Monitoramento da Fundação Universidade do Vale do Itajaí - Itajaí, SC - Brasil. E-mail: tanisekr@hotmail.com

3. Assessora técnica em Oceanografia na Fundação de Estudos do Mar (FEMAR) a serviço do IEAPM - Arraial do Cabo, RJ - Brasil. E-mail: fernanda.thomazelli@marinha.mil.br

na análise multivariada das razões de diagnóstico estabelecidas, que os diferentes óleos puderam ser correlacionados à sua amostra original por, pelo menos, três meses após os derramamentos simulados, mesmo em uma região tropical, onde este estudo foi realizado.

Palavras-chave: Marcadores moleculares. Biomarcadores. Ciência forense. Derramamento de óleo. Intemperismo.

three months after the simulated spills, even in a tropical region, as where this study was conducted.

Keywords: Molecular markers. Biomarkers. Forensic science. Oil spill. Weathering.

1. INTRODUÇÃO

Métodos para a determinação da origem de derramamentos de óleo, popularmente conhecidos como determinação do “DNA” de óleos, têm sido usados há décadas, em resposta a incidentes envolvendo quantidades significativas de petróleo e seus derivados (ALBAIGÉS; KIENHUIS; DAHLMANN, 2015). Nesse ínterim, várias publicações abordaram o tema (DALING et al., 2002; PETERS; WALTERS; MOLDOWAN, 2005; WANG; STOUT; FINGAS, 2006; LOBÃO et al., 2010; CEN, 2012b; FINGAS, 2015; SHIRNESHAN; BAKHTIARI; MEMARIANI, 2016; ASTM, 2013a; 2013b; OLIVEIRA et al., 2020). No Brasil, a utilização desses métodos cresceu em importância com a aprovação da Lei Federal nº 9.966/2000 (LOBÃO et al., 2010). A legislação estabelece que a competência de investigar incidentes de poluição por óleo no mar cabe à Autoridade Marítima Brasileira (BRASIL, 2000).

Os protocolos atualmente utilizados na investigação de tais incidentes são baseados em uma abordagem sequencial que utiliza técnicas analíticas reconhecidas internacionalmente (CEN, 2012b; ASTM, 2013a; 2013b). Os dados produzidos a partir desses métodos analíticos são usados para comparar amostras coletadas no local do incidente com amostras retiradas de fontes suspeitas (DALING et al., 2002; KIENHUIS et al., 2016). Distribuições e razões características de compostos selecionados geram uma “impressão digital” que pode ser usada para identificar a origem do óleo derramado (WANG; STOUT; FINGAS, 2006; CEN, 2012b).

Amostras coletadas para investigar a origem de um derramamento devem ser transportadas ao laboratório o mais rápido possível (CEN, 2012a; BRASIL, 2020). No entanto, o Brasil é um país de dimensões continentais. Amostras coletadas em localidades afastadas dos grandes centros, como na região amazônica, podem levar mais de uma semana para chegarem a um laboratório capacitado para conduzir análises visando à identificação de sua origem.

Como forma de garantir a integridade dos procedimentos de investigação, é importante avaliar se o transporte de amostras fora das condições ideais de preservação ou eventuais demoras no seu envio, problemas observados em alguns incidentes, podem prejudicar a preservação a ponto de inviabilizar a utilização dos resultados obtidos. De modo a garantir a identificação inequívoca do autor de um dado incidente, os resultados obtidos precisam ser confiáveis, ao mesmo tempo em que precisam chegar a um laboratório capacitado a tratar e analisar as amostras coletadas sem que os efeitos do intemperismo prejudiquem a investigação. O intemperismo consiste em uma variedade de processos físicos, químicos e biológicos que modificam a composição do produto original e pode, com o passar do tempo, prejudicar a identificação da fonte (PETERS; WALTERS; MOLDOWAN, 2005). Desse modo, as técnicas analíticas adotadas têm foco em substâncias que não sejam facilmente degradadas ao longo do tempo, na interpretação dos diversos cromatogramas, na determinação de razões de diagnóstico (R_d) de biomarcadores de petróleo e no tratamento multivariado de dados (PETERS; WALTERS; MOLDOWAN, 2005; WANG; STOUT; FINGAS, 2006).

O derramamento de óleo observado na costa brasileira, sobretudo no Nordeste, em 2019 — em que cerca de 3.600 km da costa do país foram atingidos (IBAMA, 2019) —, demonstrou que o tema permanece relevante, em vista da impossibilidade de se determinar com precisão há quanto tempo esse óleo se encontrava no mar, informação que teria sido bastante útil para a investigação de sua origem. Como o grau de degradação do produto varia em função de diversos fatores, como a sua especificação original e as condições ambientais reinantes no local da descarga, as metodologias empregadas devem ser suficientemente robustas para que as análises apontem, de forma inequívoca, a origem do incidente, independentemente da região em que o mesmo ocorreu.

2. OBJETIVOS

Neste estudo, amostras de óleos de diferentes especificações foram analisadas ao longo de 90 dias de exposição ao ambiente, em região sujeita a temperaturas elevadas e ventos intensos, para determinar se alterações na sua composição química poderiam levar a resultados inconclusivos na determinação de sua origem com o avanço do intemperismo.

3. METODOLOGIA

Sete diferentes especificações de óleos, desde petróleos brutos brasileiros a produtos derivados comumente utilizados no Brasil, foram expostos ao intemperismo nas condições climáticas da cidade de Arraial do Cabo, Rio de Janeiro, com o uso de unidades experimentais para simular derramamentos de óleo no mar. Cada unidade experimental foi composta de um reservatório de vidro transparente (Figura 1), à qual foram adicionados 5 L de água do mar (sem tratamento posterior) e 30 mL de cada uma das especificações de óleo, formando um conjunto de sete experimentos distintos expostos às condições ambientais naturais, de modo a simular, tanto quanto possível, um derramamento de óleo real.

A amostragem foi realizada em diferentes intervalos de tempo partindo do produto original e obtendo amostras subsequentes. Cada unidade experimental foi exposta ao intemperismo por até 90 dias, gerando um conjunto de 8 amostras diferentes para cada produto estudado. A obtenção de amostras ocorreu no início do experimento (produto original) e

aos 7, 15, 30, 45, 60, 75 e 90 dias de exposição ao ambiente. Os diferentes óleos utilizados foram: petróleo bruto Bacia Potiguar (campo de Ubarana) (A); óleo diesel marítimo (B); óleo combustível pesado (HFO/Bunker) (C); óleo combustível MAR-C (D); óleo combustível MF40 (E); óleo lubrificante TR-86 (F); e petróleo bruto Bacia de Campos (campo desconhecido) (G). Com exceção da amostra D, que teve a coleta de amostras interrompida após 43 dias de exposição em virtude da exaustão de óleo na superfície da unidade experimental, as amostras permaneceram em exposição ao longo de todo o experimento.

As amostras obtidas foram tratadas logo após a sua amostragem, utilizando extração líquido-líquido. Após a extração, cada extrato foi concentrado e posteriormente analisado com o uso de um cromatógrafo a gás com detector de ionização em chama (CG-DIC) Shimadzu GC-17A, para obtenção do perfil cromatográfico “Whole Oil”. Uma parcela desse extrato foi fracionada em cromatografia líquida para a separação dos compostos saturados e encaminhada para a análise de biomarcadores de petróleo. A fração obtida foi injetada em cromatógrafo a gás acoplado a um espectrômetro de massa do tipo quadrupolo simples (CG-EM) Perkin Elmer – Clarus 600. Foram monitorados os íons 177, 191, 205, 217, 218, 231 e 259, conforme estudos de correlação de derramamentos de óleo (DALING et al., 2002; LOBÃO et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2020), visando determinar os perfis das diversas famílias de biomarcadores de petróleo.

Neste estudo, foi utilizada a análise de componentes principais — PCA (WANG; STOUT; FINGAS, 2006; LOBÃO et al., 2010) para avaliar a correlação das diversas R_d estabelecidas a partir das áreas dos picos identificados e integrados, com normalização dos dados brutos para um valor de variância comum. A análise multivariada dos dados foi realizada usando o *software* PAST (HAMMER; HARPER; RYAN, 2001).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. PERFIS “WHOLE OIL” POR CG-DIC

A distribuição de n-alcenos, isoprenoides e mistura complexa não resolvida (MCNR) de hidrocarbonetos apresentou alterações significativas nos perfis cromatográficos obtidos, indicando intemperismo crescente ao longo dos 90 dias do experimento. As mudanças mais significativas nos perfis



Figura 1. Unidade experimental utilizada para o intemperismo dos diferentes óleos (na imagem, petróleo bruto da Bacia Potiguar).

cromatográficos de n-alcenos ocorreram nos primeiros sete dias do experimento, sendo observada a perda significativa de n-alcenos inferiores a n-C₁₅ em todos os óleos estudados, com exceção do óleo lubrificante TR-86 (F), que já não continha n-alcenos e isoprenoides resolvidos desde o início do experimento. Além dessas alterações, no decorrer do experimento foi observado o deslocamento do tempo de retenção máximo em que foi observada a MCNR, de modo que, com o passar dos dias, houve um enriquecimento proporcional em compostos de maior massa molecular. A Figura 2 exemplifica, para 2 óleos diferentes, as variações dos perfis cromatográficos ao longo dos 90 dias de experimento. Desses perfis, o petróleo bruto Bacia Potiguar (Figuras 2A e 2B) teve perdas de n-alcenos leves significativas ao final do experimento, pelo menos até n-C₁₆. Já o perfil de óleo lubrificante (Figuras 2C

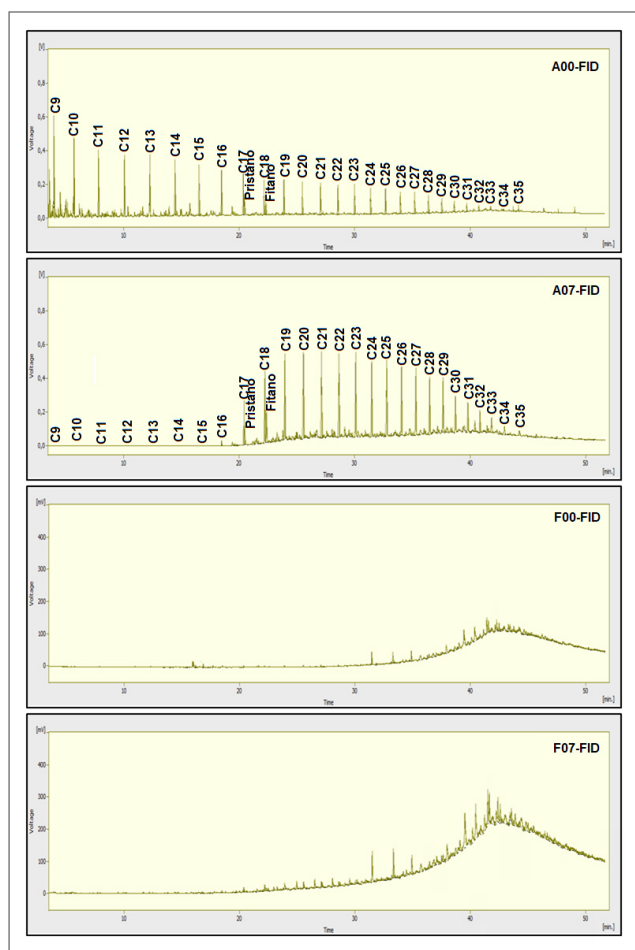


Figura 2. Variações nos perfis cromatográficos ao longo do experimento.

e 2D) não apresentou variações significativas em seu perfil cromatográfico à luz das análises por CG-DIC, tendo apresentado ligeiro enriquecimento proporcional na porção posterior do seu cromatograma, indicando preservação preferencial de compostos de maior resistência à degradação. Como esse óleo já não dispunha de hidrocarbonetos leves, as perdas não foram tão significativas quanto as observadas no petróleo bruto Bacia Potiguar. Esse padrão se repetiu em todas as amostras analisadas no decorrer do experimento, indicando que o intemperismo impõe limitações que prejudicam a interpretação dos resultados com o passar do tempo, com o uso dessa ferramenta, de modo que tais resultados devem ser considerados apenas para a triagem inicial por possibilitar a eliminação daquelas fontes suspeitas que obviamente não são coincidentes com o óleo derramado por consistirem de produtos diferentes, independentemente do grau de intemperismo a que o óleo derramado tenha sido submetido. Considerados isoladamente, tais resultados sugerem ainda que o transporte de amostras fora das condições ideais de preservação, no escuro e com temperaturas máximas entre 4 e 5°C (BRASIL, 2020), por períodos prolongados, pode prejudicar a interpretação dos resultados analíticos.

4.2. PERFIS DE BIOMARCADORES DE PETRÓLEO POR CG-EM

As diversas R_i, desenvolvidas a partir dos picos identificados pelo método, apresentaram estabilidade significativa nos seus resultados ao longo do tempo, indicando que, apesar do intemperismo, as proporções relativas entre os biomarcadores considerados foram mantidas no decorrer do experimento. Como é possível observar na Figura 3, que apresenta os perfis do íon *m/z* 191, característico das famílias de terpanos tricíclicos, tetracíclicos e pentacíclicos (PETERS; WALTERS; MOLDOVAN, 2005; LOBÃO et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2020), para ambos os petróleos estudados neste trabalho, não houve variação significativa nos perfis de biomarcadores de petróleo no decorrer do experimento. Tal característica indica que, apesar do intemperismo significativo que pôde ser observado com o passar do tempo, os perfis de biomarcadores de petróleo não sofreram alterações que levassem a interpretações equivocadas de seus perfis cromatográficos.

Os óleos brasileiros da Bacia Potiguar apresentam, tipicamente, picos bastante pronunciados do biomarcador Gamacerano (GAM) que, segundo Wang, Stout e Fingas

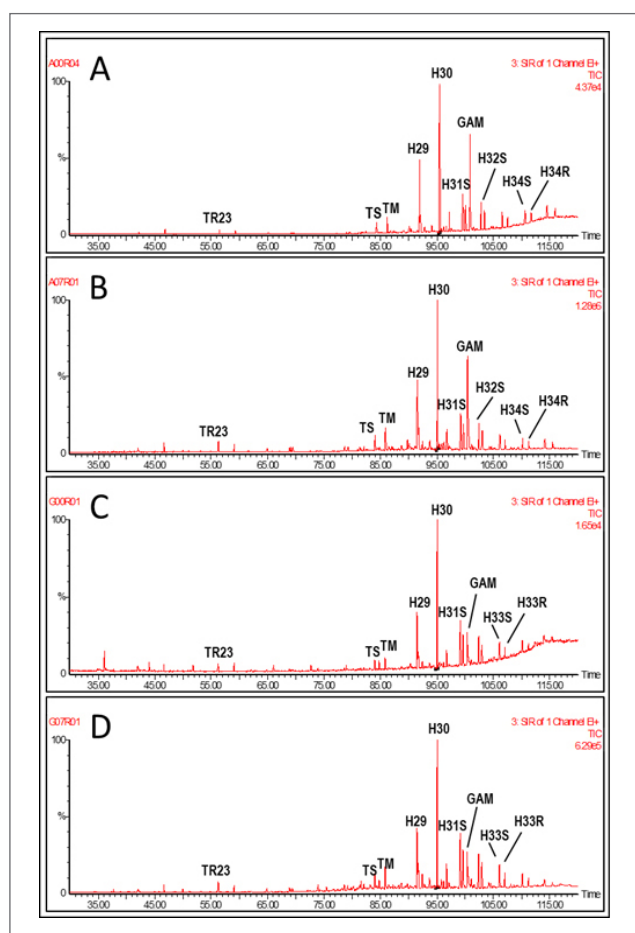


Figura 3. Comparação dos perfis cromatográficos ao longo do experimento (m/z 191).

(2006), é um dos chamados “biomarcadores únicos”, pois, dada a sua especificidade, sua presença e concentração relativa podem ser evidência suficiente para identificar a fonte causadora de um determinado incidente de poluição por óleo (Figuras 3A e 3B). As amostras obtidas do petróleo bruto da Bacia de Campos também se mostraram estáveis no decorrer do experimento (Figuras 3C e 3D), podendo ser diferenciadas das amostras de petróleo bruto da Bacia Potiguar pela menor abundância relativa do GAM.

Segundo Wang, Stout e Fingas (2006), correlações genéticas entre óleos são baseadas no conceito de que a composição dos biomarcadores em amostras de derramamentos de óleo não difere daquela observada nas amostras que os originaram. A maioria dos biomarcadores em amostras de derramamentos e suas fontes, particularmente aquelas séries homólogas de biomarcadores com estrutura similar, mostra pouca ou nenhuma mudança em suas R_d em decorrência do intemperismo sofrido pelo produto derramado. A análise por PCA de todos os óleos e R_d considerados demonstrou que, apesar da exposição das amostras ao intemperismo, não foi observada dispersão significativa, tampouco sobreposição entre os diferentes produtos estudados. A análise por PCA explicou 68,87% da variância total quando consideradas as duas primeiras componentes principais. Dessa análise, quanto mais próximas duas amostras estiverem entre si, maior a similaridade entre elas (Figura 4). Decorre que todas as amostras

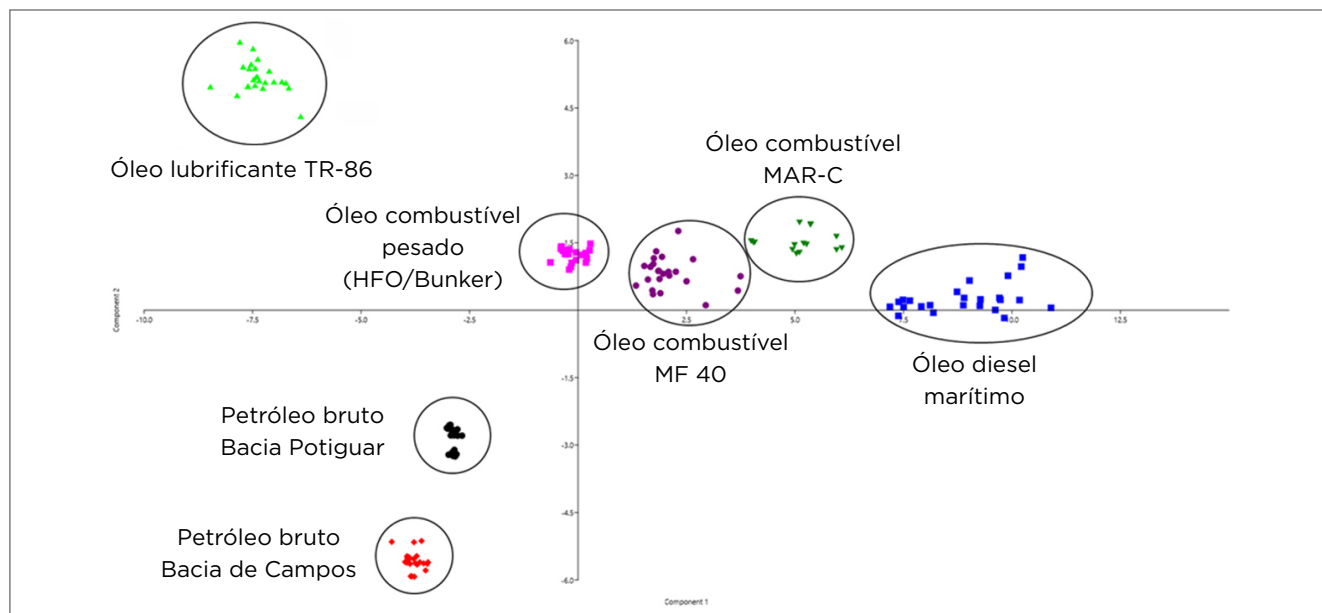


Figura 4. Correlação entre as amostras utilizando análise de componentes principais.

puderam ser diferenciadas entre si ao longo da duração do experimento sem que houvesse sobreposição de resultados, confirmando que, mesmo em uma região de clima tropical, como é o caso de Arraial do Cabo, Rio de Janeiro, o intemperismo não altera os perfis de biomarcadores de petróleo a ponto de prejudicar a identificação de sua origem. Diferentemente do observado com a determinação dos perfis “Whole Oil” obtidos por CG-DIC, tais resultados sugerem que o eventual transporte de amostras fora das condições ideais de preservação, no escuro e com temperaturas máximas entre 4 e 5°C (BRASIL, 2020) por curtos períodos, como aqueles observados durante o transporte de amostras do local do incidente até o laboratório, não exerce influência significativa na interpretação dos resultados analíticos.

5. CONCLUSÕES

Das análises realizadas foi possível concluir que, passados três meses de exposição, as amostras sofreram alterações composicionais significativas, com perda de hidrocarbonetos leves, decorrente da ação do intemperismo. A distribuição dos hidrocarbonetos alifáticos indicou perda significativa de

n-alcenos de baixo peso molecular (inferiores a $n-C_{16}$), consumidos após uma semana de exposição dos diferentes óleos. No entanto, os biomarcadores de petróleo saturados mostraram alta resistência ao intemperismo, demonstrando que, mesmo depois desse tempo de exposição (em uma região sujeita a ventos intensos e com temperaturas relativamente elevadas), as amostras estudadas puderam ser inequivocamente relacionadas aos seus óleos originais.

Da interpretação dos resultados deste estudo, foi possível concluir que pequenos períodos fora das condições ideais de armazenagem, como o transporte de amostras até o laboratório em temperatura ambiente, mesmo passados alguns dias após o incidente, não afetam de forma significativa as análises subsequentes que visam à identificação da fonte. Naturalmente, sempre que possível, a amostragem e o transporte de amostras de óleos devem estar de acordo com as melhores práticas disponíveis, considerando que amostras obtidas em locais afetados por derramamentos de óleo já sofreram intemperismo e podem ter sido contaminadas por outros produtos. Este estudo limitou-se a sete produtos diferentes, o que pode não ser suficiente para representar as inúmeras especificações de produtos de petróleo utilizadas no Brasil e no mundo.

REFERÊNCIAS

ALBAIGÉS, J.; KIENHUIS, P.G.M.; DAHLMANN, G. Oil Spill Identification. In: FINGAS, M. (org.). *Handbook of Oil Spill Science and Technology*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2015. p. 165-204.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). *Oil Spill Identification by Gas Chromatography and Positive Ion Electron Impact Low Resolution Mass Spectrometry*. ASTM D5739-06 (2013). West Conshohocken: ASTM International, 2013a. Disponível em: [http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?D5739-06\(2013\)](http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?D5739-06(2013)). Acesso em: 27 ago. 2020.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). *Standard Test Methods for Comparison of Waterborne Petroleum Oils by Gas Chromatography*. ASTM 3328D-06 (2013). West Conshohocken: ASTM International, 2013b. Disponível em: [http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?D3328-06\(2013\)](http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?D3328-06(2013)). Acesso em: 27 ago. 2020.

BRASIL. Diretoria de Portos e Costas. *Norma Técnica Ambiental para a Coleta e o Transporte de Amostras de Derramamento de Óleo e seus Derivados - NORTAM-01*. Brasil, 2020.

BRASIL. *Lei Federal nº 9.966*. Prevenção, controle e monitoramento da poluição causada pelo lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional e outras medidas. Senado Federal, 2000.

DALING, P.S.; FAKSNESS, L.G.; HANSEN, A.B.; STOUT, S.A. Improved and standardized methodology for oil-spill fingerprinting. *Environmental Forensics*, v. 3, n. 3-4, p. 263-278, 2002. <https://doi.org/10.1006/enfo.2002.0099>

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). *CEN/TR 15522-1/2012*. Oil spill identification: Waterborne petroleum and petroleum products. Part 1: Sampling. Bruxelas: Management Centre, 2012a.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). *CEN/TR 15522-2/2012*. Oil spill identification: Waterborne petroleum and petroleum products. Part 2: Analytical methodology and interpretation of results based on GC-FID and GC-MS low resolution analyses. Bruxelas: Management Centre, 2012b.

FINGAS, M. (org.). *Handbook of Oil Spill Science and Technology*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2015.

HAMMER, Ø.; HARPER, D.A.T.; RYAN, P.D. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Paleontologia Electronica*, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NACIONAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). *Manchas de óleo - Litoral do Nordeste*. 2019. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/manchasdeoleo>. Acesso em: 02 jun. 2021.

KIENHUIS, P.G.M.; HANSEN, A.B.; FAKSNESS, L.-G.; STOUT, S.A.; DAHLMANN, G. CEN methodology for oil spill identification. In: STOUT, S.A.; WANG, Z. (org.). *Standard Handbook Oil Spill Environmental Forensics*. 2. ed. Londres: Elsevier, 2016.

LOBÃO, M.M.; CARDOSO, J.N.; MELLO, M.R.; BROOKS, P.W.; LOPES, C.C.; LOPES, R.S.C. Identification of source of a marine oil-spill using geochemical and chemometric techniques. *Marine Pollution Bulletin*, v. 60, n. 12, p. 2263-2274, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.08.008>

OLIVEIRA, O.M.C.; QUEIROZ, A.F.S.; CERQUEIRA, A.F.S.; SOARES, S.A.R.; GARCIA, K.S.; PAVANI FILHO, A.; ROSA, M.L.S.; SUZART, C.M.; PINHEIRO, C.M.; MOREIRA, I.T.A. Environmental disaster in the northeast coast of Brazil: Forensic geochemistry in the identification of the source of the oily material. *Marine Pollution Bulletin*, v. 160, 111597, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111597>

PETERS, K.E.; WALTERS, C.C.; MOLDOWAN, J.M. *The Biomarker Guide*. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2005. v. 1.

SHIRNESHAN, G.; BAKHTIARI, A.R.; MEMARIANI, M. Identification of sources of tar balls deposited along the southwest Caspian Coast, Iran using fingerprinting techniques. *Science of the Total Environment*, v. 568, p. 979-989, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.203>

WANG, Z.; STOUT, S.A.; FINGAS, M. Forensic Fingerprinting of Biomarkers for Oil Spill Characterization and Source Identification. *Environmental Forensics*, v. 7, n. 2, p. 105-146, 2006. <https://doi.org/10.1080/15275920600667104>



Figura 6

PRAÇA DE MÁQUINAS DO SUBMARINO “RIACHUELO” (SBR)

DESENVOLVIMENTO DE UMA TECNOLOGIA COMPUTACIONAL PARA TOMADA DE DECISÃO DE ALTO NÍVEL: UMA CONTRIBUIÇÃO DA MARINHA DO BRASIL PARA SELEÇÃO DE AUTOCLAVES NO COMBATE À COVID-19

Developing a computational technology for high-level making decision: a contribution of the Brazilian Navy to selecting autoclaves in the fight against COVID-19

Natália Oliveira Barbosa de Paula¹, Igor Pinheiro de Araújo Costa², Marcos Alexandre Pinto de Castro Junior³, Luiz Frederico Horácio de Souza de Barros Teixeira⁴, Carlos Francisco Simões Gomes⁵, Marcos dos Santos⁶

Resumo: Este artigo teve por objetivo propor e apresentar à comunidade científica e à sociedade um novo método de Apoio Multicritério à Decisão (AMD) – o ELECTRE-MOR. O método consiste em uma proposta de classificação de múltiplos critérios com entrada de pesos ordinal, que inclui múltiplos tomadores de decisão e distribui as alternativas em categorias predefinidas. Visando facilitar a difusão e utilização pela sociedade em geral, a axiomática do ELECTRE-MOR foi implementada em uma ferramenta computacional *on-line* simples e intuitiva, a qual também é apresentada neste artigo. Para ilustrar a aplicação, foi realizado, com especialistas em saúde pública, um estudo de caso real para seleção de autoclaves a serem utilizadas na produção da vacina contra o novo coronavírus. Como resultado, foi selecionado o modelo Finnaqua como o que apresenta maior custo-benefício dentre as alternativas analisadas. Este artigo buscou solucionar um problema de extrema relevância para a academia e a sociedade, pois propõe a aplicação de um novo método de AMD para contribuir com a solução de um problema que afeta milhões de pessoas no Brasil e no mundo. Ressalta-se que o modelo apresentado pode ser expandido e aplicado a diversos tipos de problemas táticos, operacionais e estratégicos nos meios civil e militar, ou seja, possui forte característica dual. Portanto, consiste em um método de grande utilidade voltado para a contribuição da tomada de decisão de alto nível.

Palavras-chave: Marinha do Brasil. ELECTRE-MOR. COVID-19. Autoclave. Vacina.

Abstract: This paper aimed to propose and present to the scientific community and to society a new method of Multicriteria Decision Support (MDS) – ELECTRE-MOR. The method consists of a proposal for classification of multiple criteria with input of ordinal weights, which includes multiple alternative decision makers and distribution in predefined categories. In order to facilitate the dissemination and use by society in general, the axiomatics of ELECTRE-MOR was implemented in a simple and intuitive online computational tool, which is also presented in this article. To illustrate the application, a real case study was conducted with public health experts for the selection of autoclaves to be used in the production of the vaccine against the new coronavirus. As a result, the Finnaqua model was selected as the one with the highest cost-benefit among the analyzed alternatives. This article seeks to solve a problem of extreme relevance to academia and society, as it proposes the application of a new MDS method to contribute to the solution of a problem that affects millions of people in Brazil and worldwide. It is emphasized that the model presented can be expanded and applied in several types of tactical, operational and strategic problems in the civil and military environments, thus being a great method focused on the contribution of high-level decision-making.

Keywords: Brazilian Navy. ELECTRE-MOR. COVID-19. Autoclave. Vaccine.

1. Mestranda em Sistemas e Computação no Instituto Militar de Engenharia (IME) – Rio de Janeiro, RJ – Brasil. E-mail: nobarbosa@ime.eb.br

2. Mestrando em Engenharia de Produção pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Pesquisador do Centro de Análises de Sistemas Navais (CASNAV) – Rio de Janeiro, RJ – Brasil. E-mail: igor.pinheiro@marinha.mil.br

3. Pós-Graduado em Ciência de Dados pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio). Encarregado de Divisão do Centro de Controle Interno da Marinha (CCIMAR) – Rio de Janeiro, RJ – Brasil. E-mail: alexandre.castro@marinha.mil.br

4. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Gerente de Projeto do Centro de Análises de Sistemas Navais (CASNAV) – Rio de Janeiro, RJ – Brasil. E-mail: luiz.frederico@marinha.mil.br

5. Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal Fluminense (UFRJ). Professor Associado no Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal Fluminense (UFF). Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal Fluminense (TPP/UFF) – Niterói, RJ – Brasil. E-mail: cfsgl@bol.com.br

6. Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Gerente de Projetos e Analista de Estudos Complexos do Centro de Análises de Sistemas Navais (CASNAV). Professor do Programa de Pós-graduação em Sistemas e Computação do Instituto Militar de Engenharia (IME) – Rio de Janeiro, RJ – Brasil. E-mail: marcos.santos@marinha.mil.br

1. INTRODUÇÃO

O surto da doença causada pelo novo coronavírus (COVID-19) constitui uma Emergência de Saúde Pública de Importância Internacional — o mais alto nível de alerta da Organização Mundial da Saúde (OMS), conforme previsto no Regulamento Sanitário Internacional. Em 11 de março de 2020, a COVID-19 foi caracterizada pela OMS como uma pandemia (OPAS BRASIL, 2020).

Existe um grande número de laboratórios em estudos e testes para a criação da vacina que irá combater o avanço da pandemia. No entanto, esse processo requer, além de tempo, muitos recursos que, para alguns países, são bastante escassos. Existem os riscos atrelados aos resultados desses testes que podem levar a perdas significativas; portanto, faz-se mister a utilização de ferramentas eficientes tanto para a estruturação e modelagem do problema a ser analisado quanto para a definição e ordenação de estratégias (alternativas) de solução. Dentre os aparelhos necessários para a produção da vacina, pode-se destacar a autoclave, um equipamento para laboratório indispensável, pois garante a esterilização de todos os produtos que serão utilizados nos trabalhos, garantindo eficácia contra qualquer contaminação microbiana (MAX LABOR, 2015), sobretudo na pesquisa e produção de vacinas. A escolha do equipamento ideal não é algo tão simples, visto que envolve uma grande quantidade de variáveis.

Nesse contexto, no processo para a tomada da decisão, a Engenharia de Produção se torna um mecanismo fundamental no assessoramento dos gestores (SANTOS *et al.*, 2019). Dentro dessa grande área da Engenharia, a Pesquisa Operacional (PO) é o campo abrangente e multidisciplinar que emprega modelos matemáticos e analíticos para a solução de problemas complexos do cotidiano (TEIXEIRA *et al.*, 2019). No vasto campo da PO, o Apoio Multicritério à Decisão (AMD) apresenta relevância ímpar, proporcionando um embasamento técnico e científico, e apoiando o decisor na escolha pela alternativa que supra as necessidades e os anseios de forma a atender as preferências do decisor.

Os métodos de AMD vem sendo largamente utilizados para encontrar soluções no combate à pandemia, como em Albahri *et al.* (2020), no auxílio à tomada de decisão sobre estruturas para a transfusão do melhor plasma convalescente para os pacientes mais críticos; em metodologia de *benchmarking*, para seleção do modelo ideal de diagnóstico da COVID-19 (MOHAMMED *et al.*, 2020); em novas abordagens de

topografia, para identificar o fator de risco mais significativo e o monitoramento contínuo das mortes causadas pelo novo coronavírus (MAJUMDER; BISWAS; MAJUMDER, 2020); e na seleção de um Navio de Assistência Hospitalar da Marinha do Brasil a ser empregado no combate à pandemia em Manaus (COSTA *et al.*, 2020a).

Diante da situação extremamente grave que o país e o mundo enfrentam, visando reduzir custos e buscar uma solução mais assertiva, este artigo teve por objetivo selecionar o modelo de autoclave mais indicado a ser adquirido para auxiliar na produção da vacina contra o novo coronavírus. Para a análise das alternativas e apoio à tomada de decisão, foi proposto e utilizado o método ELECTRE-MO_r, por se tratar de um novo método de AMD ordinal não compensatório, para multidecisor, que facilita a expressão das relações de preferência pelos decisores. O artigo é dividido em cinco seções: “Introdução”, “Referencial teórico”, “Metodologia”, “Resultados” e “Conclusão”.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Os métodos da família ELECTRE baseiam-se na lógica não compensatória para estabelecer relações de sobreclassificação entre pares de alternativas (NEPOMUCENO; COSTA, 2015). Uma alternativa “a” supera uma alternativa “b” (aS_b) se a é pelo menos tão boa quanto b no critério em questão, e esta é a principal ideia expressa pelo conceito de sobreclassificação (ALMEIDA-DIAS; FIGUEIRA; ROY, 2012).

A modelagem das relações de preferência considera relações de indiferença (q), preferência estrita (p) e incompatibilidade (FIGUEIRA; MOUSSEAU; ROY, 2005), e a relação de sobreclassificação é submetida a níveis de corte estabelecidos por níveis de concordância mínima e discordância máxima (GOMES; COSTA, 2015). A Tabela 1 apresenta um resumo das propriedades dos métodos ELECTRE.

Todos os métodos ELECTRE são cardinais e não compensatórios, e verificou-se a inexistência de métodos ELECTRE com entrada de dados de forma ordinal e para multiagentes de decisão; portanto, este artigo visa preencher essa lacuna, implementando o ELECTRE-MO_r. A proposta de elicitação ordinal permite a obtenção dos pesos por diversos decisores, mediante preferências não cardinais, que são posteriormente transformadas em números cardinais, tornando o processo decisório mais intuitivo e transparente.

2.1. O MÉTODO ELECTRE-MOR

O ELECTRE-MOR é uma proposta de classificação de múltiplos critérios com entrada de preferências ordinal, que inclui diversos tomadores de decisão e distribui as alternativas em categorias predefinidas. Os procedimentos do ELECTRE-MOR são desenvolvidos em duas etapas:

- » Transformar preferências ordinais de critérios em um vetor de pesos de critérios.
- » Integrar os critérios vetoriais de diferentes tomadores de decisão.

No procedimento de construção das relações de superação, o ELECTRE-MOR utiliza uma adaptação dos métodos *Simple Aggregation of Preferences Expressed by Ordinal Vectors* (SAPEVO) (GOMES; MURY; GOMES, 1997) e SAPEVO-M (GOMES *et al. et al.*, 2020), incrementada para gerar os pesos dos critérios. A diferença dessa adaptação é que o ELECTRE-MOR utiliza uma escala de cinco pontos, variando de -2 a +2, ao passo que os métodos originais utilizam uma escala de sete pontos (de -3 a +3).

A partir do estudo dos métodos da família ELECTRE, foram desenvolvidos os índices de concordância, discordância e credibilidade. Uma das principais diferenças do ELECTRE-MOR em relação aos demais métodos da família ELECTRE é o estabelecimento dos perfis de classes, que apresenta duas formas de obtenção — b_h e b_n (Equações 1 e 2):

$$b_h = g^- + h * k \quad (1)$$

Em que,

$$k = \frac{g^* - g^-}{h + 1}; g^* = \max_j g_{ij}; g^- = \min_j g_{ij}; h \text{ é o número de perfis ou classes.}$$

$$b_n = g[(h + 1 - n) * L] \quad (2)$$

Em que,

$$L = \frac{j}{h + 1}; n \text{ é o índice do perfil; } j \text{ é o número de alternativas; } h \text{ é o número de classes.}$$

A afirmação aSb_h significa que “a alternativa a não tem desempenho pior do que o perfil b_h ”. Na validação da afirmação aSb_h , calcula-se um índice de credibilidade $\sigma(a, b_h)$, o qual expressa o grau de confiança da declaração “a não é pior que b_h ”. Para definir a relação de sobreclassificação, é adotado o nível de corte λ (Equação 3).

$$aSb_h \leftrightarrow \sigma(a, b_h) \geq \lambda \quad (3)$$

A distribuição é realizada por meio de dois procedimentos:

- » Otimista: consiste em comparar a alternativa sucessivamente à alternativa b, a partir do último perfil (categoria, classe).
- » Pessimista: consiste em comparar a alternativa a sucessivamente à alternativa b, partindo do primeiro perfil (categoria, classe), sendo esta a classificação mais exigente.

Tabela 1. Principais propriedades dos métodos ELECTRE.

| Métodos | Tipo de problema | Critério | Pesos |
|--|------------------|------------|-------|
| Electre I | Escolha | Verdadeiro | Sim |
| Electre IS | Escolha | Pseudo | Sim |
| Electre II | Ranking | Verdadeiro | Sim |
| Electre III, ELECTRE-GD | Ranking | Pseudo | Sim |
| Electre IV e IV-H | Ranking | Pseudo | Não |
| Electre TRI, TRI-B, TRI-C, TRI-nB, TRI-nC, TRI-Rc, ME | Distribuição | Pseudo | Sim |
| Electre INTERCLASS | Distribuição | Pseudo | Sim |
| ELECTRE-SORT | Distribuição | Pseudo | Sim |
| Electre-CBR | Data mining* | Pseudo | Sim |
| ELECTRE ^{GKMS} , Hierarchical ELECTRE ^{GKMS} | Escolha/Ranking | Pseudo | Sim |

*O método ELECTRE-CBR é um modelo híbrido que utiliza as propriedades da família ELECTRE para resolver problemas de data mining.

Com a implementação das duas formas de obtenção dos limiares de classes predefinidas (b_h e b_n), o ELECTRE-MOR abrange diversos tipos de distribuições de valores das alternativas em determinado critério, uma vez que b_h divide o intervalo compreendido entre os valores máximo e mínimo em intervalos iguais, levando em consideração o número de classes definido pelo decisor, ao passo que a forma b_n aloca números iguais de alternativas em cada classe de determinado critério. Essas duas formas visam fornecer maior confiabilidade à distribuição das alternativas em classes predefinidas. Além disso, o resultado apresenta duas ordenações das alternativas nas distribuições pessimista e otimista, o que, segundo Souza, Gomes e Barros (2018), permite uma análise de sensibilidade do resultado, conferindo maior transparência e robustez ao processo decisório.

2.2. SOFTWARE ELECTRE-MOR

Para facilitar a utilização do método pela sociedade em geral, foi realizada a implementação computacional do método. O *software* ELECTRE-MOR (COSTA *et al.*, 2020b) foi desenvolvido a partir de uma parceria entre o corpo técnico do Centro de Análise de Sistemas Navais (CASNAV), um grupo de pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal Fluminense (UFF) e um grupo de pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas e Computação do Instituto Militar de Engenharia (IME). Será efetuado registro do *software* no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) via Núcleo de Inovação Tecnológica da Marinha, sediado na Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha (DGDNTM).

3. METODOLOGIA

Para viabilizar o presente estudo, foi realizada pesquisa de opinião e coleta de dados com três especialistas do Instituto de Tecnologia em Imunobiológicos (Bio-Manguinhos), unidade da Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ) responsável pelo desenvolvimento tecnológico de vacinas e fármacos, vinculada ao Ministério da Saúde, a respeito dos tipos de autoclaves utilizadas, sua utilização, importância e forma de aquisição, e manutenção dos equipamentos.

As autoclaves para esse tipo de atividade requerem um porte robusto e se diferem de equipamentos comuns de fácil acesso no mercado pela necessidade de personalização mediante

um projeto de construção que dura em média de dois a três anos. Foram levados em conta a capacidade-padrão para todas as alternativas apresentadas de 800 L e o tempo de garantia após o comissionamento de dois anos para todas as marcas. Os valores dos demais critérios tomaram por base equipamentos com características similares presentes na instituição para o propósito de desenvolvimento de vacinas dos laboratórios.

» Critérios quantitativos:

- I. Custo: Valor total para aquisição do projeto e instalação do equipamento.
- II. Tempo de secagem: Tempo médio para completar todo o ciclo de esterilização.
- III. Custo de manutenção: Custo médio anual com mão de obra técnica, compra de sobressalentes e materiais de consumo para as manutenções preventivas e corretivas.

» Critérios qualitativos:

- I. Assistência técnica: Avalia a facilidade de se conseguir peças de reposição, bem como localidade e custo avaliado por um viés de prazo, distância e quantidade de fornecedores.
- II. Integração de dados: Aplicabilidade do equipamento que permite a integração com computadores para registrar dados das atividades realizadas de forma digital e programada, visando cumprir requisito legal para fins de auditorias.
- III. Qualidade/durabilidade dos materiais: Pela percepção dos especialistas de manutenção e pesquisadores do laboratório, esse critério denota o melhor desempenho em relação à demora de desgaste dos materiais de composição e a quantidade de vezes que o equipamento apresentou falhas ou defeitos.

3.1. APLICAÇÃO DO MÉTODO ELECTRE-MOR

Para a aplicação do método, será ilustrada a utilização do *software* ELECTRE-MOR. Primeiramente, deve-se cadastrar o projeto, os decisores, os critérios e as alternativas que compõem o problema (Figura 1).

Em seguida, é feita a análise par a par dos critérios por cada decisor, mediante utilização da barra de rolagem ilustrada na Figura 2. A barra deve ser deslizada na direção do critério mais importante.

Em seguida, são inseridos limiares de preferência forte (p), preferência fraca (q) e veto (v), os quais foram obtidos mediante consenso entre os decisores (especialistas da FIOCRUZ) (Figura 3).

A Tabela 2 relaciona as alternativas de modelos, critérios, classes e pesos dos critérios. Ressalta-se que os pesos foram obtidos após análise paritária ilustrada na Figura 2, enquanto os limiares de classes b_h e b_n foram obtidos mediante aplicação das Equações 1 e 2, com os cálculos efetuados automaticamente pela ferramenta computacional. A Tabela 2 estabelece o relacionamento entre alternativas de modelos hoje utilizados na Instituição, critérios, classes e pesos dos critérios.

Os critérios “custo”, “tempo de secagem” e “custo de manutenção” foram considerados como monotônicos de prejuízo ou custo, ou seja, quanto menor, melhor. Por essa razão, são representados por valores negativos.

4. RESULTADOS

Após a aplicação de todas as etapas do ELECTRE-MOR, geram-se as ordenações pessimistas e otimistas nos dois cenários (utilizando b_h e b_n), com nível de corte $\lambda = 0,75$. (Tabela 3).

Analisando a Tabela 3, pode-se observar que a alternativa Finnaqua apresenta classificação A (melhor avaliação) em ambas as formas de obtenção de classes (b_h e b_n) e, ainda, em ambos os cenários — otimista e pessimista. Como uma opção secundária, a alternativa Hogner apresenta boa classificação em ambas as ordenações e formas de obtenção de limiares de classes. Da mesma forma, utilizando os critérios e dados coletados para essa avaliação, as opções Subtilcrepeux e Tutinauer apresentaram as piores classificações perante as demais alternativas.

Verificam-se os seguintes grupos de alternativas, e sua relação de preferências:

» Grupo 1 = Finnaqua.

» Grupo 2 = Hogner.

» Grupo 3 = Getinge, Getinge.

» Grupo 4 = Fedegari.

» Grupo 5 = Subtilcrepeux, Tutinauer.

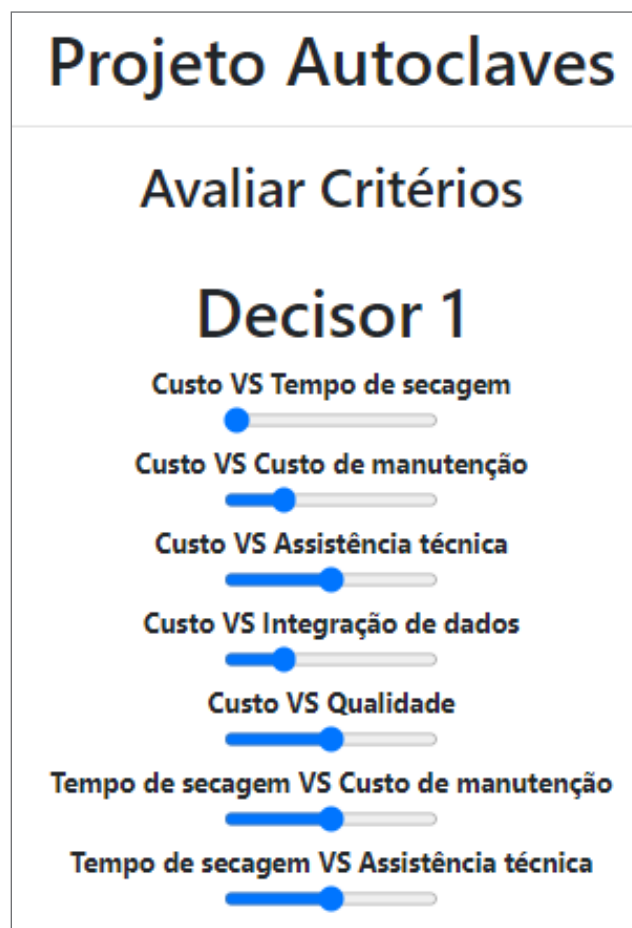


Figura 2. Avaliação paritária dos critérios.

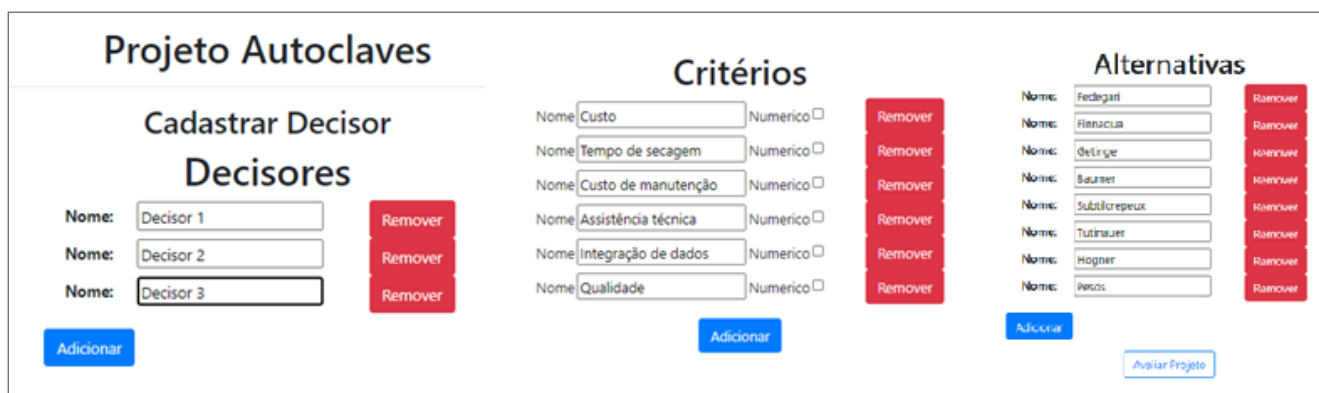


Figura 1. Interface do software ELECTRE-MOR.

Tomando por base os resultados apresentados, o modelo Finnaqua pode ser considerado o mais indicado a ser adquirido, pois foi a única autoclave que apresentou classificação A em todos os cenários avaliados. Os fatores que levam essa alternativa a ser classificada como a melhor dentre os modelos avaliados são os bons desempenhos nos critérios tempo de secagem, facilidade de integração de dados e qualidade. Esse modelo destacou-se também pela regularidade nos critérios, o que justifica sua escolha. Os outros modelos destacam-se em determinados critérios, porém não apresentam bons desempenhos nos demais atributos avaliados.

Uma característica importante do método é a possibilidade de efetuar uma análise de sensibilidade, para verificar a robustez da solução encontrada. Essa análise é recomendada para casos em que mais de uma alternativa

seja classificada na maior classe, visando aumentar o nível de exigência em busca de um número menor de alternativas indicadas.

5. CONCLUSÃO

O objetivo deste estudo foi atingido, uma vez que se conseguiu obter uma análise para a escolha de modelos de autoclaves embasada na avaliação qualitativa e quantitativa de dados realistas e coerentes com o cenário atual. Embora as alternativas que apresentaram melhor classificação não possuam melhor custo de compra, apresentam melhor avaliação em outros critérios importantes, que resultam em melhor eficiência, durabilidade e economia em custos de manutenção (custos indiretos).

Parâmetros do projeto

| Critério | P | Q | V |
|---------------------|-------|-------|--------|
| Custo | 20000 | 10000 | 500000 |
| Tempo de secagem | 5 | 3 | 30 |
| Custo de manutenção | 20000 | 10000 | 50000 |
| Assistência técnica | 2 | 1 | 5 |
| Integração de dados | 2 | 1 | 5 |
| Qualidade | 1 | 0,5 | 4 |

[Avaliar Projeto](#)



CASNAV IME UFF

Figura 3. Inserção dos parâmetros do projeto.

Tabela 2. Matriz de decisão.

| Autoclaves | Quantitativos | | | Qualitativos | | | |
|----------------------|----------------|------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----|
| | Custo (R\$ Mi) | Tempo de Secagem (min) | Custo de manutenção (R\$) | Facilidade de assistência técnica | Facilidade de integração de dados | Qualidade/durabilidade do material | |
| Fedegari | -960.000 | -30 | -50.000 | 1 | 4 | 4 | |
| Finnaqua | -1.080.000 | -35 | -30.000 | 2 | 3 | 4 | |
| Getinge | -1.320.000 | -30 | -40.000 | 3 | 2 | 2 | |
| Baumer | -864.000 | -30 | -40.000 | 3 | 3 | 2 | |
| Subtilcrepeux | -650.000 | -45 | -10.000 | 0 | 0 | 4 | |
| Tutinauer | -550.000 | -50 | -8.000 | 0 | 0 | 4 | |
| Hogner | -768.000 | -40 | -20.000 | 2 | 2 | 4 | |
| Pesos | 0,064935065 | 0,194805195 | 0,142857143 | 0,207792208 | 0,155844156 | 0,233766234 | |
| b_h | b_3 | -742.500 | -35,0 | -18.500 | 2,3 | 3,0 | 3,5 |
| | b_2 | -935.000 | -40,0 | -29.000 | 1,5 | 2,0 | 3,0 |
| | b_1 | -1.127.500 | -45,0 | -39.500 | 0,8 | 1,0 | 2,5 |
| b_n | b_3 | -650.000 | -30,0 | -10.000 | 3,0 | 3,0 | 4,0 |
| | b_2 | -864.000 | -35 | -30.000 | 2 | 2 | 4 |
| | b_1 | -960.000 | -40 | -40.000 | 1 | 2 | 4 |
| Decisores (Consenso) | q | 50 | 5 | 2000 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| | p | 200 | 10 | 10000 | 1 | 1 | 1 |
| | v | 1000 | 40 | 50000 | 4 | 4 | 4 |

Tabela 3. Matriz de resultados.

| Alternativas | $\lambda = 0,75$ | | | |
|---------------|------------------|----------|------------|----------|
| | b_h | | b_n | |
| | Pessimista | Otimista | Pessimista | Otimista |
| Fedegari | C | B | B | B |
| Finnaqua | A | A | A | A |
| Getinge | B | B | B | B |
| Baumer | B | B | B | B |
| Subtilcrepeux | D | C | D | D |
| Tutinauer | D | C | D | D |
| Hogner | A | A | B | B |

Dessa forma, é possível avaliar futuramente a substituição de equipamentos de marcas obsoletas no mercado por alternativas mais bem avaliadas, buscando a padronização de modelos, sendo possível a redução de desperdícios como estoque excessivo de sobressalentes variados, variabilidade de preço de peças, fornecedores absolutos, tempo de compra de multiplicidade de itens, entre outros.

Ressalta-se que o método ELECTRE-MOr se mostrou eficiente para a análise proposta, possibilitando entrada de pesos ordinais, levando em consideração a opinião de múltiplos decisores tanto na obtenção dos pesos quanto na eliciação dos limiares de preferência, veto e limites das classes predefinidas. A apresentação de duas ordenações permite verificar o comportamento das alternativas em cenários mais

exigentes, o que torna a análise muito mais rica, robusta e transparente, tornando o método extremamente útil para resolução de problemas reais dos mais diversos tipos — táticos, operacionais e estratégicos —, sendo assim um método de grande utilidade voltado para a contribuição da tomada de decisão de alto nível. Além disso, a implementação dos cálculos em um *software* torna a utilização mais fácil, flexível, confiável e rápida.

Por fim, sugere-se que esse modelo de distribuição em classes predefinidas de alternativas usando o ELECTRE-MOr pode ser expandido em outras aplicações duais, tanto no setor civil quanto militar, visando auxiliar o processo de tomada de decisão no combate à pandemia e em demais problemas enfrentados pela sociedade.

REFERÊNCIAS

ALBAHRI, O.S. *et al.* Helping doctors hasten COVID-19 treatment: Towards a rescue framework for the transfusion of best convalescent plasma to the most critical patients based on biological requirements via ml and novel MCDM methods. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, v. 196, 105617, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2020.105617>

ALMEIDA-DIAS, J.; FIGUEIRA, J.R.; ROY, B. A multiple criteria sorting method where each category is characterized by several reference actions: The Electre Tri-nC method. *European Journal of Operational Research*, v. 217, n. 3, p. 567-579, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.09.047>

COSTA, I.P.A. *et al.* Choosing a hospital assistance ship to fight the covid-19 pandemic. *Revista de Saúde Pública*, v. 54, p. 79, 2020a. <https://doi.org/10.11606/s1518-8787.2020054002792>

COSTA, I.P.A. *et al.* ELECTRE-MOr Software. Disponível em: <https://electre-mor.herokuapp.com/>. Acesso em: 14 set. 2020b.

FIGUEIRA, J.; MOUSSEAU, V.; ROY, B. ELECTRE methods. In: GRECO, S. (org.). *Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys*. [s.l.]: Springer, 2005. p. 133-153.

GOMES, C.F.S.; COSTA, H.G. Aplicação de métodos multicritério ao problema de escolha de modelos de pagamento eletrônico por cartão de crédito. *Production*, v. 25, n. 1, p. 54-68, 2015. <https://doi.org/10.1590/S0103-65132013005000068>

GOMES, C.F.S. *et al.* SAPEVO-M: a group multicriteria ordinal ranking method. *Pesquisa Operacional*, v. 40, 2020.

GOMES, L.; MURY, A.-R.; GOMES, C.F.S. Multicriteria ranking with ordinal data. *Systems Analysis-Modelling-Simulation*, v. 27, n. 2, p. 139-146, 1997.

MAJUMDER, P.; BISWAS, P.; MAJUMDER, S. Application of new topsis approach to identify the most significant risk factor and continuous monitoring of death of COVID-19. *Electronic Journal of General Medicine*, v. 17, n. 6, 2020. <https://doi.org/10.29333/ejgm/7904>

MAX LABOR. *Autoclave e sua importância em laboratórios*. Max Labor, 2015. Disponível em: [https://www.maxlabor.com.br/blog/autoclave-e-sua-importancia-em-laboratorios/#:~:text=Por esse motivo%2C a autoclave,cotidianamente%2C garantindo qualquer contaminação microbiana](https://www.maxlabor.com.br/blog/autoclave-e-sua-importancia-em-laboratorios/#:~:text=Por%20esse%20motivo%20a%20autoclave,cotidianamente%20garantindo%20qualquer%20contamina%C3%A7%C3%A3o%20microbiana.). Acesso em: 14 set. 2020.

MOHAMMED, M.A. *et al.* Benchmarking Methodology for Selection of Optimal COVID-19 Diagnostic Model Based on Entropy and TOPSIS Methods. *IEEE Access*, v. 8, p. 99115-99131, 2020. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2995597>

NEPOMUCENO, L.D.O.; COSTA, H.G. Analyzing perceptions about the influence of a master course over the professional skills of its alumni: A multicriteria approach. *Pesquisa Operacional*, v. 35, n. 1, p. 187-211, 2015. <https://doi.org/10.1590/0101-7438.2015.035.01.0187>

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE (OPAS BRASIL). *COVID-19 (doença causada pelo novo coronavírus)*. Disponível em: https://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=6101:covid19&Itemid=875. Acesso em: 14 set. 2020.

SANTOS, M. *et al.* Utilização do algoritmo Branch and Bound na otimização da produção de uma indústria de produtos plásticos. *Revista de Trabalhos Acadêmicos Lusófona*, v. 2, n. 2, p. 218, 2019.

SOUZA, L.P.; GOMES, C.F.S.; BARROS, A.P. Implementation of new hybrid AHP-TOPSIS-2N method in sorting and prioritizing of an it CAPEX project portfolio. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, v. 17, n. 4, p. 977-1005, 2018. <https://doi.org/10.1142/S0219622018500207>

TEIXEIRA, L.F.H.S.B. *et al.* Utilização do método SAPEVO-M com parâmetros do modelo SCOR 12.0 para ranqueamento dos fornecedores em uma cadeia de suprimentos de material hospitalar da Marinha do Brasil. *Revista Pesquisa Naval*, n. 31, p. 1-13, 2019.



Figura 7

SUBMARINO EM OPERAÇÃO DE FLUTUAÇÃO POR MEIO DO SHIPLIFT DO COMPLEXO NAVAL DE ITAGUAÍ

INCUBADORAS DE EMPRESAS DE BASE TECNOLÓGICA: ANÁLISE COMPARATIVA E DISSEMINAÇÃO DE PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS

Technology-Based Business Incubators: comparative analysis and dissemination of sustainable practices

Renato Santiago Quintal¹ 

Resumo: O presente estudo assumiu como tema a análise de Incubadoras de Empresas de Base Tecnológica com área de atuação no agronegócio. O objetivo geral da pesquisa foi analisar comparativamente as Incubadoras de Empresas de Base Tecnológica, bem como suas empresas pré-incubadas, incubadas, graduadas ou associadas, situadas no estado do Rio Grande do Sul, vinculadas à Rede Gaúcha de Ambientes de Inovação (Reginp), com área de atuação no agronegócio. O levantamento de dados foi, majoritariamente, realizado por entrevistas face a face. Empregou-se o método de entrevista semiestruturada, utilizando-se questões abertas dispostas em um roteiro. Realizaram-se 16 entrevistas com gestores e consultores dos ecossistemas de inovação, e 31 entrevistas com os empreendedores das empresas participantes da pesquisa. Adicionalmente, foi utilizado o método de coleta de dados baseado em observações diretas. Foram analisados aspectos relacionados à subjetividade do empreendedor, à atividade empresarial e à gestão de incubadoras. Acerca dos principais achados envolvendo incubadoras e empresas, convém elencar os seguintes: disponibilização de suporte material e intelectual aos empreendedores; promoção de cursos e treinamentos periódicos; inserção de mestres e doutores nas empresas, por intermédio de ações universitárias e programas governamentais específicos; identificação de ideias promissoras desde os cursos de graduação e incentivo à participação de alunos nos processos de incubação; tecnologias desenvolvidas plenamente inseridas no contexto da Agricultura 4.0; demanda por ferramentas gerenciais que vão além da administração tradicional; e oportunidades de melhoria nas áreas de gestão da propriedade intelectual e do planejamento fiscal e tributário. Ao final do trabalho, foi proposta uma cartilha de práticas sustentáveis para

Abstract: The present research took as its theme the analysis of Technology-Based Business Incubators. The general objective of the research is to comparatively analyze the Technology-Based Business Incubators, as well as their pre-incubated, incubated, graduated or associated companies, located in the state of Rio Grande do Sul, linked to the Gaúcha Network of Innovation Environments, with an area in agribusiness. The data collection was mainly carried out through face-to-face interviews. The semi-structured interview method was used, using open questions arranged in a script. 16 interviews were conducted with managers and consultants of the innovation ecosystems and 31 interviews with the entrepreneurs of the companies participating in the research. Additionally, the data collection method based on direct observations was used. Aspects related to the subjectivity of the entrepreneur, business activity and incubator management were analyzed. Regarding the main findings involving incubators and companies, it is worth mentioning the following: provision of material and intellectual support to entrepreneurs; promotion of periodic courses and training; insertion of masters and doctors in companies, through university actions and specific government programs; identification of promising ideas from undergraduate courses and encouraging the participation of students in the incubation processes; developed technologies fully inserted in the context of Agriculture 4.0; demand for management tools that go beyond traditional management; and opportunities for improvement in the areas of intellectual property management and fiscal and tax planning. At the end of the work, a booklet of sustainable practices was proposed for the management of incubators and

1. Coordenador da área de Economia e Política. Professor de Relações Internacionais da Escola Naval - Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: rsantiago79@hotmail.com

gestão de incubadoras e empresas de base tecnológica com atuação no agronegócio, contemplando os principais achados da pesquisa.

Palavras-chave: Planejamento em Ciência e Tecnologia. Incubadoras de Empresas de Base Tecnológica. Tecnologias ambientais.

technology-based companies operating in agribusiness, covering the main findings of the research.

Keywords: Science and technology planning. Technology-based business incubators. Environmental technologies.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos 30 últimos anos, o ambiente econômico mundial vivencia um momento de considerável dinâmica tecnológica e de significativo incremento da concorrência. O progresso técnico e a concorrência internacional fazem supor que, sem o suficiente aporte de recursos financeiros para ciência, tecnologia e inovação, uma nação improvavelmente atingirá o desenvolvimento efetivo (REZENDE, 2010).

Em Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I), existe uma gama de definições que descrevem a reunião de empreendimentos de base tecnológica. A delimitação de polo tecnológico é usada no sentido de delinear uma área em que exista uma reunião maior de atividades tecnológicas do que em outras localidades. No estado de São Paulo, as cidades de Campinas, São José dos Campos e São Carlos são exemplos típicos de polos tecnológicos. Outra conceituação desenvolvida está relacionada aos Arranjos Produtivos Locais (APL), que são objeto de interesse da Secretaria de Desenvolvimento, do Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae) e da Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (Fiesp), com o propósito de estimular a competitividade e a sustentabilidade de micro e pequenas empresas, não estando a inovação tecnológica no cerne principal dessa abordagem.

Judice e Baeta (2002) apontam que APL são concentrações geográficas de empresas inter-relacionadas, pertencentes ao mesmo setor ou à mesma cadeia produtiva, com proximidade física e interesses que contribuem para sua coexistência em regime de colaboração e/ou competição, fomentando vantagens competitivas dinâmicas em mercados globais.

Por último, faz-se necessário elencar o entendimento acerca de incubadoras de base tecnológica: são organizações que almejam especificamente acolher e fomentar micro e pequenas empresas, a fim de tornar viável seu avanço inicial e temporário, além de igualmente tornar viável a sua criação (STEINER; CASSIM; ROBAZZI, 2008).

Nesse contexto, essas empresas almejam alcançar mercados a partir do desenvolvimento de produtos ou processos aptos

a distingui-las dos seus competidores, bem como franquear novas oportunidades ou segmentos de mercado. Para Iacono, Almeida e Nagano (2011), as empresas de base tecnológica, especialmente quando incorporadas a incubadoras de empresas, passam a compartilhar de um ambiente propício ao desenvolvimento de tecnologias e outros benefícios, tais como: facilitação de acesso a universidades e centros de pesquisa, assistência gerencial, redução de custos operacionais e acesso a financiamentos subvencionados.

Nessa seara, parques tecnológicos estão associados a ambientes de inovação. São ferramentas utilizadas em nações desenvolvidas e em desenvolvimento com o objetivo de conferir maior dinamismo às suas economias regionais e nacionais, por meio da agregação de teor de conhecimento. Adicionalmente, são estruturas que têm o propósito de transformar conhecimento em riqueza. Sendo assim, esses países tornam-se mais competitivos na esfera internacional, geram empregos qualificados, recolhem impostos e promovem o bem-estar social. É característico que parques tecnológicos estejam localizados nas cercanias de universidades e centros de pesquisa, polos produtores de conhecimento e formadores de recursos humanos qualificados. Trata-se de uma aproximação que gera sinergia e oportunidade (STEINER; CASSIM; ROBAZZI, 2008).

Nesse contexto, a incorporação das incubadoras e dos parques nas propostas locais e regionais de desenvolvimento e a sua harmonização com os arranjos produtivos locais são aspectos relevantes de política que passaram a ser articulados às estratégias dos experimentos brasileiros recentes (LAHORGUE, 2004 *apud* LAHORGUE; GUIMARÃES, 2015).

No território rio-grandense-do-sul atua a Rede Gaúcha de Ambientes de Inovação (Reginp). Trata-se de uma associação civil sem fins lucrativos criada em 11 de novembro de 2005 por gerentes de incubadoras em conjunto com entidades de apoio, concebida como pessoa jurídica de direito privado, dotada de autonomia administrativa, financeira e jurídica, e com ampla gestão de seus recursos e bens. Nesse sentido, firmou-se como uma das mais relevantes redes estaduais do país, congregando 14 parques tecnológicos e 26 incubadoras de empresas.

Este estudo considerou que os ambientes de inovação gaúchos podem oferecer relevantes contribuições ao setor do agronegócio nos âmbitos regional e nacional, especialmente no contexto da Agricultura 4.0, que representou significativa mudança no paradigma produtivo agrícola, a partir do uso intensivo de tecnologias digitais integradas.

Para Chagas (2019), o agronegócio brasileiro representa aproximadamente 23% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional e se apresenta cada vez mais propenso a adotar a tecnologia para se aprimorar e se conservar competitivo no exterior. Esse arranjo tem logrado êxito, uma vez que, no período de 2000 a 2017, o volume das exportações desse setor aumentou mais de 244%. Chagas (2019) aponta que, no Rio Grande do Sul, onde o agronegócio é um setor robusto no desempenho da economia, equivalendo a aproximadamente 67% do total de exportações do estado, esse crescimento permanece igualmente substancial.

O emprego de tecnologias da informação está modificando a agropecuária. O processo de tomada de decisão do produtor rural, consagradamente fundamentado na experiência, intuição e tradição, passou a ser embasado em informações exatas e em tempo real. Recentemente, sistemas de rastreamento via satélite, drones, sensores terrestres e outros dispositivos foram incorporados ao ambiente rural para reunir dados atinentes aos fatores que intervêm na produtividade, como incidência de pragas, propriedades do solo e alteração climática. Sistemas que possibilitam o monitoramento e a operação remotamente, favorecendo o manejo da lavoura, são embarcados em tratores e máquinas agrícolas. *Softwares* viabilizam a análise de dados. Por consequência, a interconexão dessas soluções tecnológicas fomenta novos estímulos ao agronegócio (ZAPAROLLI, 2020).

Essa conjuntura favorece o desenvolvimento de empresas inovadoras de base tecnológica orientadas ao meio rural, também conhecidas como *agtechs*. Esses empreendimentos representam um dos alicerces do ecossistema de inovação do agronegócio nacional, igualmente composto por centros de pesquisa, universidades, grandes conglomerados agropecuários, fabricantes de insumos e equipamentos para o campo e os investidores. Nesse contexto, o Brasil tem se revelado um lócus propício para aparecimento, validação e estabelecimento de novas tecnologias desenvolvidas por esse tipo de *startup*. Tal fato está intrinsecamente associado à importância da agropecuária brasileira e ao robusto ambiente de inovação nesse setor. Nos últimos cinco anos, esse conjunto de *agtechs* tem exibido sólidas evidências de crescimento, especialmente por ser um ambiente de risco ativo

no Brasil, bem como pelo desejo dos principais atores do agronegócio pela integração tecnológica (VASCONCELOS, 2020).

2. OBJETIVOS

A presente tese assumiu como tema a análise de Incubadoras de Empresas de Base Tecnológica (IEBT) e *agtechs* instaladas.

O objetivo geral da pesquisa foi analisar comparativamente as IEBT, bem como suas *agtechs* pré-incubadas, incubadas, graduadas ou associadas, situadas no estado do Rio Grande do Sul, vinculadas à Reginp.

Os objetivos específicos são:

- analisar as incubadoras e as *agtechs* instaladas sob a ótica de práticas sustentáveis nos aspectos científico-tecnológico, gerencial e mercadológico;
- propor uma cartilha de práticas sustentáveis afetas às IEBT e às *agtechs* instaladas a partir das informações levantadas ao longo da pesquisa.

Espera-se, ao final da pesquisa, responder às seguintes questões colocadas:

- Como estão estruturadas as incubadoras e as *agtechs* instaladas sob a ótica de práticas sustentáveis nos aspectos científico-tecnológico, gerencial e mercadológico?;
- Em que medida as incubadoras e as *agtechs* se assemelham e se distinguem em relação aos aspectos citados anteriormente?;
- Como a gestão de incubadoras pode interferir nos resultados, em termos de perfil e capacidade de sobrevivência das *agtechs* instaladas?

Vislumbra-se que a análise comparativa de IEBT resultará na propositura de uma cartilha de práticas sustentáveis, considerando-se que os atributos sociocultural, ambiental e econômico são as dimensões bases da sustentabilidade.

3. METODOLOGIA

O levantamento de dados foi, majoritariamente, realizado por entrevistas face a face. Foi empregado o método de entrevista semiestruturada, utilizando-se questões abertas dispostas em um roteiro. Foram realizadas 16 entrevistas com gestores e

consultores dos ecossistemas de inovação, e 31 entrevistas com os empreendedores das empresas participantes da pesquisa. Adicionalmente, foi utilizado o método de coleta de dados baseado em observações diretas. Foram analisados aspectos relacionados à subjetividade do empreendedor, à atividade empresarial e à gestão de incubadoras.

4. RESULTADOS

Acerca dos principais achados envolvendo incubadoras e empresas, convém elencar os seguintes: disponibilização de suporte material e intelectual aos empreendedores; promoção de cursos e treinamentos periódicos; inserção de mestres e doutores nas empresas, por intermédio de ações universitárias e programas governamentais específicos; identificação de ideias promissoras desde os cursos de graduação e incentivo à participação de alunos nos processos de incubação; tecnologias desenvolvidas plenamente inseridas no contexto da Agricultura 4.0; demanda por ferramentas gerenciais que vão além da administração tradicional; e oportunidades de melhoria nas áreas de gestão da propriedade intelectual e do planejamento fiscal e tributário. Ao final do trabalho, foi proposta uma cartilha de práticas sustentáveis para gestão de incubadoras e empresas de base tecnológica com atuação no agronegócio, contemplando os principais achados da pesquisa. Vislumbra-se que a referida cartilha, disponível no anexo, possa ser aproveitada, ainda que parcialmente, junto a incubadoras de empresas de base tecnológica que atuem além da seara do agronegócio.

5. CONCLUSÕES

No que se refere ao exame do primeiro problema de pesquisa — “Como estão estruturadas as incubadoras e as *agtechs* instaladas sob a ótica de práticas sustentáveis nos aspectos científico-tecnológico, gerencial e mercadológico?” —, observa-se que as incubadoras proveem suporte material e intelectual aos empreendedores, especialmente pela disponibilização de escritórios, laboratórios, salas de reunião, auditórios, mentorias e consultorias especializadas (gestão empresarial, gestão tecnológica, captação de investimentos, marketing e assistência jurídica, por exemplo). Promovem

cursos e treinamentos periódicos a fim de contribuir para o aperfeiçoamento do corpo funcional da incubadora e dos empreendedores.

Na seara da disponibilização de informação tecnológica, verifica-se a inserção de mestres e doutores em empresas privadas, especialmente micro, pequenas e médias (Programa RHAE Pesquisador na Empresa). Encontra-se vigendo o programa de concessão de bolsas de iniciação à inovação tecnológica, algumas envolvendo professores, orientandos e *startups*; além da premiação do melhor Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação voltado à atividade empreendedora (TCC Empreendedor), entre outras ações. Faz-se necessário elencar algumas intervenções no sentido de aproximar docentes e alunos de graduação e pós-graduação da incubadora e das *agtechs*, ao disponibilizar espaço apropriado para que o docente ministre sua aula e utilize aquele ecossistema de inovação como um recurso instrucional para ela. Como forma de se buscar a inserção da incubadora e das suas *agtechs* no agronegócio, há a participação em eventos especializados (Femec, Agrishow, Expointer e Expodireto, por exemplo).

No que concerne às *agtechs*, verifica-se que o primeiro contato de alguns empreendedores com uma incubadora foi por intermédio das aulas de empreendedorismo na graduação, e a escolha da incubadora para a instalação do empreendimento se dá, majoritariamente, pelos seguintes motivos, a saber: vínculo com a instituição (docente, discente, técnico-administrativo, egresso); aspectos logísticos (proximidade da residência, do local de trabalho ou de rotas de circulação de pessoas e mercadorias); infraestrutura oferecida; valores cobrados; reputação e credibilidade da instituição; e ramos de atividade prioritários.

Quanto ao relacionamento entre *agtech* e incubadora, pressupõe-se cordialidade, confiança e diálogo. Além disso, para que seja exitoso, conforme ilustrado por um dos empresários entrevistados, demanda que o empreendedor adote uma postura proativa, lançando mão da criatividade e da adoção de estratégias inovadoras como forma de se antecipar a cenários desfavoráveis, em vez de esperar passivamente que a incubadora prescreva a solução para todos os problemas encontrados.

No que concerne ao relacionamento com atores externos, verificou-se que esse relacionamento faz parte do plano de articulação do empreendedor, em especial para o desenvolvimento de soluções tecnológicas junto a parceiros externos. Trata-se de uma área que poderia ser melhor explorada,

especialmente pelo baixo índice de cooperação entre empresas no Brasil, quando realizada comparação com a Finlândia, conforme apontado pela literatura especializada.

No que se refere às possíveis contribuições ao agronegócio, as *agtechs* têm desempenhado papel relevante em distintas searas, especialmente pelo emprego de tecnologias nas áreas de Análise de Dados, Inteligência Artificial, Internet das Coisas, Robótica, Integração de Sistemas, Realidade Aumentada, Computação em Nuvem, Impressão 3D, entre outras. São tecnologias que produzem reflexos na otimização do planejamento e controle da produção, no monitoramento ambiental e meteorológico, na redução de desperdícios, na projeção das melhores condições de armazenagem, no aumento da produtividade do produtor rural, na disponibilização de soluções ecologicamente aceitas para a agricultura e pecuária e na segurança alimentar do consumidor final.

Acerca do planejamento estratégico e do plano de negócios, observou-se que, nas *agtechs*, ambos são formulados a partir da experiência profissional de empreendedores e da realização de pesquisas de mercado, contando, mediante demanda apresentada pelo empreendedor ou necessidade verificada pela incubadora, com a colaboração de mentores e consultores daqueles ecossistemas de inovação. Nesse contexto, são empregados conceitos da administração tradicional, como Matriz SWOT, mas também o arcabouço conceitual atrelado a novas metodologias de pensamento, em especial *Lean Startup*, *Customer Development* e *Design Thinking*, entre outras. Sobre Marketing e Publicidade, é recomendável que as ações dessa natureza sejam antecedidas pela análise criteriosa do público-alvo e pelo aconselhamento do gestor da incubadora e da assessoria de imprensa e gestão de conteúdo da universidade. Trata-se de um comportamento prudente por parte do empreendedor, a fim de não frustrar a expectativa do cliente, bem como não colocar em risco a credibilidade da empresa, na eventualidade de o empreendedor não conseguir atender a uma demanda impulsionada por ações de marketing dimensionadas inadequadamente.

Sobre as ações voltadas para a proteção da propriedade intelectual, trata-se de uma área relevante para continuidade da atividade empresarial e que se encontra intrinsecamente associada à necessidade de o empreendedor realizar uma acurada análise de mercado, a fim de identificar o posicionamento da empresa em face dos concorrentes e como os clientes a enxergam. Dessa forma, o empreendedor terá condições de

decidir acerca da melhor maneira de proteger a propriedade intelectual gerada pelo seu empreendimento.

Em relação às questões relacionadas ao planejamento fiscal e tributário, existe a possibilidade de o empreendedor aderir aos benefícios oriundos do arcabouço legal de CT&I, especialmente à Lei do Bem. Contudo, ainda é uma área pouco conhecida e utilizada pelos empreendedores estudados.

Por fim, acerca das ações voltadas para a captação de recursos, existem diversas fontes às quais o empreendedor pode recorrer, convindo elencar as principais, a título de ilustração: financiamento reembolsável, subvenção econômica, investidores privados, capital de risco e recursos próprios, entre outras. Nesse contexto, existem peculiaridades atinentes a cada tipo de fonte de recurso que devem ser conhecidas pelos empreendedores, a fim de que seja possível escolher a mais adequada para a fase em que se encontra o negócio. Cabe citar aqui algumas dessas peculiaridades, a saber: identificação do momento certo para captar recursos; influência do cenário macroeconômico nacional e internacional; expertise na redação de projetos; necessidade de apresentar garantias; dilema envolvendo a alavancagem do negócio em detrimento de cessão de parcela do empreendimento, entre outras.

Quanto ao exame do segundo problema de pesquisa — “Em que medida as incubadoras e as *agtechs* se assemelham e se distinguem em relação aos aspectos citados anteriormente?” —, verifica-se que há consenso entre os empreendedores acerca dos ganhos de se integrar um processo de incubação, tanto do ponto de vista do amadurecimento pessoal quanto do profissional. Tal qual pode ser observado em relação aos empreendedores — alguns com bastante experiências de vida, profissional e acadêmica e outros que ingressaram recentemente na universidade —, verifica-se que existem incubadoras que, por já funcionarem há bem mais tempo do que outras, encontram-se com os seus processos mais consolidados. Há de se mencionar também a questão da vocação das regiões para um determinado produto. O que é nítido em todas elas é o comprometimento dos gestores e da administração universitária com o êxito dos empreendedores incubados. A vitória de cada empreendedor é efusivamente comemorada pela incubadora.

Acerca do derradeiro problema de pesquisa “Como a gestão de incubadoras pode interferir nos resultados das mesmas, em termos de perfil e capacidade de sobrevivência das *agtechs* instaladas?”, emergem os seguintes apontamentos: a gestão

da incubadora produz reflexos quase que imediatos no cotidiano das *agtechs* instaladas, notadamente nas *agtechs* pré-incubadas e incubadas, que, em geral, são bastante dependentes das incubadoras no que concerne a gestão empresarial, gestão tecnológica, captação de investimentos, marketing e assistência jurídica, conforme apresentado anteriormente nesta seção e ao longo do trabalho.

Faz-se necessário registrar a existência de fragilidades na estrutura de inovação, especialmente no que se refere ao relacionamento entre os atores dos ecossistemas de inovação,

associadas às dificuldades associadas ao cenário macroeconômico do estado e do país como um todo, impactando o financiamento de iniciativas e negócios inovadores.

A presente pesquisa contemplou limitações no que se refere à avaliação subjetiva dos respondentes, atrelada ao fato de as respostas conterem nuances características da interpretação e da compreensão de cada respondente a respeito dos questionamentos realizados. Dessa forma, o resultado da pesquisa está adstrito aos casos estudados, sendo impossível a sua generalização.

REFERÊNCIAS

CHAGAS, D. A tecnologia como aliada da produção no agronegócio. *Economia Digital*, 30 jan. 2019. Disponível em: <https://sebraers.com.br/economia-digital/a-tecnologia-como-aliada-da-producao-no-agronegocio/>. Acesso em: 19 jan. 2020.

IACONO, A.; ALMEIDA, C.A.S.; NAGANO, M.S. Interação e cooperação de empresas incubadas de base tecnológica: uma análise diante do novo paradigma de inovação. *Revista de Administração Pública*, v. 45, n. 5, p. 1485-1516, 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0034-76122011000500011&script=sci_arttext&lng=pt. Acesso em: 19 jan. 2020. <https://doi.org/10.1590/S0034-76122011000500011>

JUDICE, V.M.M.; BAÉTA, A.M.C. Clusters em bioindústria e biotecnologia em Minas Gerais - habitats construídos de inovação, competitividade e desenvolvimento regional. *Revista Gestão & Tecnologia*, v. 1, n. 1, set. 2002. Disponível em: <http://revistagt.fpl.edu.br/get/article/view/107/106>. Acesso em: 27 maio 2019. <http://dx.doi.org/10.20397/2177-6652/2002.v1i1.107>

LAHORGUE, M.A.; GUIMARÃES, S.M.K. *A promoção dos APLs, parques tecnológicos e incubadoras de empresas: construção de uma nova geração de política pública no Brasil*. Marseille: Open Edition Press, 2015. Disponível em: <http://books.openedition.org/oep/376>. Acesso em: 30 maio 2019.

REZENDE, S.M. *Momentos da ciência e tecnologia no Brasil: uma caminhada de 40 anos pela C&T*. Rio de Janeiro: Vieira & Lent, 2010.

STEINER, J.E.; CASSIM, M.B.; ROBAZZI, A.C. Parques tecnológicos: ambientes de inovação. *Revista IEA*, São Paulo, 2008. Disponível em: http://www.unilago.com.br/download/arquivos/21016/___Steiner_PT_ambientes_inovacao.pdf. Acesso em: 19 jan. 2020.

VASCONCELOS, Y. A força das *agtechs*. *Pesquisa Fapesp*, 2020. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/a-forca-das-agtechs/>. Acesso em: 10 jun. 2020.

ZAPAROLLI, D. Agricultura 4.0. *Pesquisa Fapesp*, 16 jan. 2020. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/agricultura-4-0/>. Acesso em: 10 jun. 2020.

Anexo 1. Cartilha: Sugestão de práticas sustentáveis para incubadoras e agtechs.

PROTEÇÃO DA PROPRIEDADE INTELECTUAL
Celebração de Acordos de Cooperação com o INPI, por intermédio da Escritório de Difusão Regional do RS (EDIR/RS), a fim de viabilizar a realização de cursos e treinamentos "in company", presenciais ou EAD, para funcionários e empreendedores, nas áreas temáticas contempladas no catálogo de cursos da instituição, destacando-se as seguintes: Propriedade Intelectual (contempla edições especiais para Bibliotecários, Profissionais de Comunicação Social e Empresariado), Patentes (Redação e Busca de Informação), Marcas, Desenhos Industriais, Indicações Geográficas, Contratos de Tecnologia, Proteção de Programa de Computador.

INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA
Empreender ações que estreitem o relacionamento dos corpos docente e discente com as startups. Nesse contexto, convém elencar algumas ações já em andamento no âmbito das instituições visitadas: Inserção de mestres e doutores em empresas privadas, especialmente, micro, pequeno e médio por (Programa RHAe Pesquisador na Empresa); Programa de concessão de bolsas de iniciação à inovação tecnológica, algumas envolvendo professores, orientandos e startups; Premiação do melhor trabalho de conclusão de curso de graduação voltado à seara empreendedora (TCC Empreendedor), concebido pela UFSM, dentre outras ações.

PARCERIAS
Celebração de Acordo de Cooperação com o CRC-RS para realização de minicursos, treinamentos e palestras acerca do planejamento fiscal e tributário de startups para adequação aos benefícios oriundos do arcabouço legal de C.T&I. Nesse contexto, existe igualmente a possibilidade do estabelecimento de parcerias acadêmicas acerca desse tema com os Programas de Pós-graduação em Contabilidade existentes no Rio Grande do Sul (UNISINOS, UFRGS, UFSM e FURG), uma vez que os PPGAD operam na fronteira do conhecimento contábil. De modo análogo, sistematicamente similar pode ser adotada para temas específicos da área do Direito, envolvendo a OAB-RS e os PPGD, como Direito Agrário e Agronegócio, Direito Ambiental, Direito Biomédico, Direito da Tecnologia da Informação, dentre outros temas.

INTERAÇÃO E TROCA DE INFORMAÇÕES
Intervenções no sentido de aproximar docentes e alunos de graduação e pós-graduação da incubadora e startups: disponibilizar espaço apropriado para que o docente ministre sua aula e utilize aquele ecossistema de inovação como um recurso instrucional para a sua atividade; explorar parcerias com os docentes das disciplinas de empreendedorismo e metodologia da pesquisa; promover reuniões periódicas e informais, buscando a interação e a troca de informações entre as empresas instaladas; fomentar a articulação de comunidades empreendedoras, como o Candy Valley, em Pelotas, por exemplo, dentre outras ações.

Práticas sustentáveis para Agtech

ESCOLHA DA INCUBADORA
O primeiro contato de alguns empreendedores com uma incubadora foi por intermédio das aulas de empreendedorismo na graduação e a escolha da incubadora para a instalação do empreendimento se dá, majoritariamente, pelos seguintes motivos, a saber: vínculo com a instituição (docente, discente, técnico-administrativo, egresso); aspectos logísticos (proximidade da residência, do local de trabalho ou de rotas de circulação de pessoas e mercadorias); infraestrutura oferecida; valores cobrados; reputação e credibilidade da instituição; e ramos de atividade prioritários.

RELACIONAMENTO DA AGETCH COM A INCUBADORA
Trata-se de um relacionamento que pressupõe cordialidade, confiança e diálogo. Além disso, para que seja exitoso, conforme ilustrado por um dos empresários entrevistados, demanda que o empreendedor adote uma postura proativa, lançando mão da criatividade e da adoção de estratégias inovadoras como forma de se antecipar a cenários desafiadores, ao invés de esperar passivamente que a incubadora prescreva a solução para todos os problemas encontrados.

RELACIONAMENTO DA AGETCH COM ATORES EXTERNOS
Ao longo dos entrevistas, verificou-se que o relacionamento com atores externos faz parte do plano de articulação do empreendedor, em especial para o desenvolvimento de soluções tecnológicas junto a parceiros externos. Trata-se de uma área que poderia ser melhor explorada, especialmente pelo baixo índice de cooperação entre empresas no Brasil quando realizada comparação com a Finlândia, conforme apontado pela literatura especializada.

POSSÍVEIS CONTRIBUIÇÕES AO AGRONEGÓCIO
Startups têm contribuído para o agronegócio em distintas searas, especialmente pelo emprego de tecnologias nas searas de Análise de Dados, Inteligência Artificial, Internet das Coisas, Robótica, Integração de Sistemas, Realidade Aumentada, Computação em Nuvem, Impressão 3D, dentre outras. São tecnologias que produzem reflexos na otimização do planejamento e controle da produção, no monitoramento ambiental e meteorológico, na redução de desperdícios, na projeção das melhores condições de armazenagem, no aumento da produtividade do produtor rural, na disponibilização de soluções ecologicamente aceitas para a agricultura e pecuária e na segurança alimentar do consumidor final.

INSERÇÃO NO AGRONEGÓCIO
Participação em eventos especializados (Femec, Agrishow, Expointer e Expodireto, por exemplo). Prospecção de possíveis parcerias (treinamento, pesquisa e desenvolvimento, assistência técnica, por exemplo) junto a Associações de Produtores Rurais; Cooperativas Agrícolas; e Empresas de Insumos para o Agronegócio. Adicionalmente, vislumbra-se que as incubadoras e as suas startups podem contribuir significativamente com os serviços prestados pelos seguintes atores públicos: Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural do RS; Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura do RS; Secretaria de Inovação, Ciência e Tecnologia; Secretaria Extraordinária de Parcerias. São contribuições distintas nas áreas de monitoramento ambiental e meteorológico, prevenção de desastres, licenciamento ambiental, reflorestamento, educação ambiental, dentre outras.

INCUBADORAS

INOVATES, HESTIA, RAIAR, UNIVATES, UNISC, UFRGS, PUCRS, ULBRA, UNISINOS, UCS, UNIJUI, UFSM, FURG, FOMEC/RS, SENAC, CATÓLICA, INSTITUTO FEDERAL Sul-riograndense.

Folder elaborado por:
 Renato Santiago Quintal
 (Aluno do PPGAD/UNIVATES)

Orientação:
 Profa. Dra. Simone Stülp
 (Professora Titular do PPGAD/UNIVATES)

Diagramação:
 Simone Oliveira da Silva

Agradecimentos:
 Gestores de Parques Tecnológicos e Incubadoras, bem como os empreendedores que gentilmente ofereceram valiosas contribuições à elaboração desta singela proposta.

Lajeado - RS - 2020

PPGAD
 Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento

SUGESTÕES DE PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS PARA INCUBADORAS E AGTECH

UNIVERSIDADES

UNIVATES, UNISC, UFRGS, PUCRS, ULBRA, UNISINOS, UCS, UNIJUI, UFSM, FURG, FOMEC/RS, SENAC, CATÓLICA, INSTITUTO FEDERAL Sul-riograndense.

PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO E PLANO DE NEGÓCIOS
O planejamento estratégico e o plano de negócios das empresas são formulados a partir da experiência profissional de empreendedores e da realização de pesquisas de mercado, contando, mediante demanda apresentada pelo empreendedor ou necessidade verificada pela incubadora, com a colaboração de mentores e consultores daqueles ecossistemas de inovação. Nesse contexto, são empregados conceitos da administração tradicional, como "Matriz SWOT", mas também o arcabouço conceitual atrelado a novas metodologias de pensamento, em especial: "Lean Startup", "Customer Development", "Design Thinking", entre outras.

MARKETING E PUBLICIDADE
É recomendável que as ações de Marketing e Publicidade sejam antecedidas pela análise criteriosa do público-alvo e pelo aconselhamento do Gestor da Incubadora e da Assessoria de Imprensa e Gestão de Conteúdo da Universidade. Trata-se de um comportamento prudente por parte do empreendedor, a fim de não frustrar a expectativa do cliente, bem como não colocar em risco a credibilidade da empresa, na eventualidade do empreendedor não conseguir atender a uma demanda impulsionada por ações de marketing dimensionadas inadequadamente.

PROTEÇÃO DA PROPRIEDADE INTELECTUAL
Trata-se de uma área relevante para continuidade da atividade empresarial e que se encontra intrinsecamente associada à necessidade do empreendedor realizar uma acurada análise de mercado, a fim de identificar o posicionamento da empresa em face dos concorrentes e como os clientes a enxergam. Dessa forma, o empreendedor terá condições de decidir acerca da melhor maneira de proteger a propriedade intelectual gerada pelo seu empreendimento. Informações adicionais encontram-se lançadas na seção "Boas práticas para os gerentes de incubadoras", tópico "Proteção da Propriedade Intelectual".

PLANEJAMENTO FISCAL E TRIBUTÁRIO EM C,T&I
Existe a possibilidade de o empreendedor aderir aos benefícios oriundos do arcabouço legal de C.T&I. Na seção "Boas práticas para os gerentes de incubadoras", tópico "parcerias", foram apresentadas breves sugestões sobre esse tema.

AÇÕES PARA A CAPATAÇÃO DE RECURSOS
Existem diversas fontes de recursos às quais o empreendedor pode recorrer, convindo elencar as principais, a título de ilustração: financiamento reembolsável, subvenção econômica, investidores privados, capital de risco, recursos próprios, dentre outros. Nesse contexto, existem peculiaridades atinentes a cada tipo de fonte de recurso, que devem ser conhecidas pelos empreendedores a fim de que seja possível escolher a mais adequada para a fase em que se encontra o negócio. Convém elencar algumas dessas peculiaridades, a saber: identificação do momento certo para captar recursos; influência do cenário macroeconômico nacional e internacional; expertise na redação de projetos; necessidade de apresentar garantias; dilema envolvido na alavancagem do negócio em detrimento de cessão de parcela do empreendimento, dentre outros.

Práticas sustentáveis para Incubadoras

COLABORADORES
O corpo gerencial é um dos fatores críticos de sucesso de uma incubadora e destaca alguns atributos que os empreendedores mais valorizam nos gestores, a saber: liderança, tranquilidade, persistência, carisma, proatividade, abertura, facilidade de comunicação, capacidade de lidar com muitas tarefas, solucionar problemas, articular pessoas e assumir responsabilidades. São características que remetem à liderança transformacional.

INFRAESTRUTURA DISPONIBILIZADA
Suporte material e intelectual aos empreendedores, especialmente pela disponibilização de escritórios, laboratórios, salas de reunião, auditórios, mentorias e consultorias especializadas (gestão empresarial, gestão tecnológica, captação de investimentos, marketing e assistência jurídica, por exemplo). Promoção de cursos e treinamentos periódicos a fim de contribuir para o aperfeiçoamento do corpo funcional da incubadora e dos empreendedores.

MARKETING E PUBLICIDADE
Existe a possibilidade de se avaliar junto à Assessoria de Imprensa e Gestão de Conteúdo da Universidade a concepção e a gestão de políticas de comunicação específicas voltadas para as startups, aderentes às redes de relacionamento da Universidade. Nesse contexto, vislumbra-se a possibilidade de ações pontuais com o emprego dos próprios canais de comunicação das Universidades, como jornais, estações de rádio ou blogs universitários.



Figura 8

CONSOLE DE CONTROLE DE MÁQUINAS

LEVANTAMENTO DE REQUISITOS DE SISTEMAS DE GESTÃO INTEGRADO PARA SUBMARINOS NUCLEARES

Requirements gathering of integrated management system requirements for nuclear submarines

Antonelly Assis Gregorio de Sousa¹, José Gilberto Fernandes Junior²,
Eduardo Henrique Damasceno da Gama³, Luciano Carlos Belezia⁴,
Ricardo Kropf Santos Fermam⁵

Resumo: A Marinha do Brasil (MB), por meio de seu Programa de Desenvolvimento de Submarinos (PROSUB), objetiva dotar sua esquadra com quatro submarinos convencionais e um submarino com propulsão nuclear. O ineditismo desse programa acarreta diversos desafios de desenvolvimento tecnológico, normativo e regulatório. Este artigo buscou identificar as principais normas para compor sistemas de gestão integrados a ser aplicada a operação de submarinos nucleares contemplando requisitos de: qualidade, meio ambiente, saúde e segurança ocupacional. Empregou-se uma pesquisa bibliográfica para obter artigos, normas, teses e dissertações que abordassem o tema. Obtiveram-se 17 normas como resultados, das quais se identificaram como aplicáveis: IAEA – GSR Part 2, BSI – PAS 99:2012, CNEN NN 1.16, ABNT – NBR ISO 9001:2015, ABNT – NBR ISO 14001:2015 e BSI – OHSAS 18001:2007.

Palavras-chave: Submarinos nucleares. Sistemas de gestão integrados.

Abstract: The Brazilian Navy (MB) through its Submarine Development Program (PROSUB) aims to provide its fleet with four conventional submarines and a nuclear-powered submarine. The unprecedented nature of this program poses several technological, regulatory and regulatory development challenges. This paper sought to identify the main norms to compose integrated management systems to be applied to the operation of nuclear submarines, contemplating requirements of: quality, environment, health and occupational safety. A bibliographic search was used to obtain papers, rules, theses, and dissertations that addressed the theme. 17 standards were obtained as results, of which the following standards were identified as applicable: IAEA – GSR Part 2, BSI – PAS 99:2012, CNEN NN 1.16, ABNT – NBR ISO 9001:2015, ABNT – NBR ISO 14001:2015 and BSI – OHSAS 18001:2007.

Keywords: Nuclear submarines. Integrated Management systems.

1. Engenheiro de produção, Mestre em Metrologia e Qualidade pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Ajudante da Divisão de Planejamento e Controle da Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade na Marinha do Brasil – Rio de Janeiro, RJ – Brasil. E-mail: aagregoriodesousa@hotmail.com

2. Engenheiro eletrônico pela Universidade Federal de Pernambuco. Ajudante da Divisão de Garantia da Qualidade da Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade na Marinha do Brasil – Rio de Janeiro, RJ – Brasil. E-mail: j.gilbertofernandes@gmail.com

3. Engenheiro eletrônico pela Universidade Federal de Pernambuco. Ajudante da Divisão de Garantia da Qualidade da Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade na Marinha do Brasil – Rio de Janeiro, RJ – Brasil. E-mail: edugama@gmail.com

4. Engenheiro mecânico, mestre em Metrologia pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Ajudante da Divisão de Garantia da Qualidade da Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade na Marinha do Brasil – Rio de Janeiro, RJ – Brasil. E-mail: luciano.belezia@hotmail.com

5. Engenheiro químico, doutor em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Chefe da Divisão de Capacitação em Acreditação Coordenação-Geral de Acreditação do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – Duque de Caxias, RJ – Brasil. E-mail: rkfermam@inmetro.gov.br

1. INTRODUÇÃO

Um dos objetivos estratégicos da Marinha do Brasil (MB) é negar o uso do mar a qualquer concentração de forças inimigas que se aproxime do Brasil por via marítima, devendo assim ser dotada de uma Força Naval submarina de envergadura, composta de submarinos convencionais e com propulsão nuclear, como assim estabelece a Estratégia Nacional de Defesa — END (BRASIL, 2013).

O desafio atual para o cumprimento dessa missão reside na aquisição da capacidade de projetar, construir e operar submarinos nucleares. Nesse sentido, foi criado o Programa de Desenvolvimento de Submarinos (PROSUB) para a transferência de tecnologia e a aquisição de quatro submarinos convencionais e o casco de um submarino nuclear. O PROSUB veio a complementar o Programa Nuclear da Marinha (PNM), destinado a desenvolver uma planta nuclear para ser embarcada em um meio naval (MARINHA DO BRASIL, 2020). Essa planta nuclear deverá ser avaliada e verificada à luz do cumprimento das condições de segurança nuclear (CNEN, 2020).

A regulamentação de normas de segurança sobre materiais nucleares, no Brasil, é de competência da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), autarquia vinculada ao Ministério da Ciência e Tecnologia, conforme a Lei nº 6.189, de 16 de dezembro de 1974 (BRASIL, 1974). No entanto, essa competência não abrange o uso de materiais nucleares em situação de deslocamento permanente, como nos submarinos (AGÊNCIA SENADO, 2019). Face a essa lacuna, a atribuição por regular e fiscalizar meios navais com propulsão nuclear passou a ser do Comando da Marinha, conforme a Lei nº 13.976, de 7 de janeiro de 2020 (BRASIL, 2020b), transferindo da CNEN para o Comando da Marinha a competência para promover o licenciamento e a fiscalização dos meios navais com propulsão nuclear (BRASIL, 2020a).

Criada especificamente para esse fim, a Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade (AgNSNQ), entre outras atribuições, é a Organização Militar (OM) da MB que atuará como órgão regulador e licenciador de meios navais. Essa OM, atualmente, estrutura um arcabouço regulatório que contempla os aspectos navais e de segurança nuclear para empregar no licenciamento do Submarino Nuclear Brasileiro (SN-BR), tomando como referência as normas de órgãos regulatórios nacionais e internacionais, tais como a CNEN, a *Nuclear Regulatory Commission* (NRC) e a Agência Internacional

de Energia Atômica — *International Atomic Energy Agency* (IAEA, 2019).

Relativo à IAEA, a norma GSR Part 2: *Leadership and Management for Safety* estabelece requisitos para o estabelecimento, a manutenção e a melhoria contínua para um sistema de gestão integrado (SGI), contemplando os escopos saúde, meio ambiente, segurança, qualidade, fatores humanos e organizacionais, elementos sociais e econômicos. Essa norma é aplicável a órgãos reguladores de segurança nuclear e instalações nucleares (IAEA, 2016a). As orientações, os princípios e as especificações elaboradas e disseminadas pela IAEA servem de parâmetros para os estados e suas autoridades, inclusive reguladores. Quando aplicados em conjunto, todos esses requisitos asseguram à instalação o nível de proteção adequada aos funcionários, à sociedade e ao meio ambiente contra riscos da radiação (IAEA, 2019).

O objetivo deste artigo foi identificar as principais normas para compor sistemas de gestão integrados a ser aplicada a operação de submarinos nucleares contemplando os requisitos de qualidade, meio ambiente, saúde e segurança ocupacional.

Este artigo está estruturado em seis seções. Após essa introdução, serão apresentados os conceitos relacionados em um referencial teórico; a terceira seção descreverá a metodologia empregada; na quarta seção, serão apresentados os resultados encontrados; na quinta seção, os resultados serão analisados; e na sexta seção, serão apresentadas as considerações finais.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. NORMALIZAÇÃO E REGULAMENTAÇÃO TÉCNICA

A normalização consiste na prescrição destinada à utilização voluntária, comum e repetitiva com vistas à obtenção do grau ótimo em relação a problemas existentes ou potenciais visando que: produtos, projetos, processos, sistemas, pessoas, bem ou serviço atendam às suas finalidades, observando os aspectos de segurança (ABNT, 2014a).

O alcance geográfico, político ou econômico da normalização pode ser no âmbito: internacional, regional, nacional, empresarial e de associação (ABNT, 2014b).

A regulamentação técnica é a ação realizada por órgãos governamentais objetivando estabelecer características de um

produto ou dos processos e métodos de produção cuja observância é de caráter obrigatório (INMETRO, 2012).

Apesar de receberem a nomenclatura de “normas”, as publicações que orientarão: o projeto, a construção, a operação, a manutenção e o descomissionamento de meios navais com propulsão nuclear terão caráter obrigatório, assumindo, portanto, características de regulamentos técnicos. Essa terminologia é a preconizada pela MB.

2.2. SISTEMAS DE GESTÃO INTEGRADOS

Organizações que implementam sistemas de gestão isolados (*stand alone*) em seus aspectos de qualidade (por exemplo, ISO 9001), ambiental (por exemplo, ISO 14001), saúde e segurança ocupacional (ISO 45001), energia (ISO 50001) etc. ocorrem inevitavelmente em duplicação de esforços, resultando em confusão e perda de eficiência, além da perda de valor agregado desses sistemas para a organização (KYMAL; GRUSKA; REID, 2015).

A ideia principal de um SGI é reduzir a duplicação e aumentar a eficiência, aproveitando as semelhanças existentes entre as normativas que compõem esse sistema. Por meio de um SGI é possível gerir várias operações de uma organização por meio de um único sistema, evitando-se a duplicação de esforços para a organização, tanto no que diz respeito à documentação, ao controle de formulários, aos procedimentos etc. quanto em relação à dificuldade em garantir o alinhamento desses diferentes sistemas com a estratégia da empresa (POLTRONIERI; GEROLAMO; CARPINETTI, 2017). Adicionalmente, estima-se que a integração de sistemas reduz custos de implementação em 50% e de manutenção em 66% (KYMAL; GRUSKA; REID, 2015).

O SGI é mais do que apenas a justaposição de sistemas, ele nasce da união sinérgica desses sistemas, gerando algo maior do que cada um visto de forma isolada. Em sistemas integrados, o paradigma da simultaneidade, expresso na máxima atribuída a Aristóteles “o todo é maior que a soma de suas partes” (NASCIMENTO; TRENTINI, 2004), deve ser verificado como verdadeiro.

Um SGI pode produzir uma base para estruturação e desenvolvimento dos processos necessários ao direcionamento de todas as metas das organizações, as quais devem incluir a segurança, a saúde, o ambiente, a qualidade e a economia, entre outras responsabilidades sociais (IAEA, 2006a). O alcance dos requisitos das partes interessadas é o resultado

obtido pelas organizações por meio da utilização de SGI. Tais sistemas trazem prosperidade sustentável, tanto para organizações públicas quanto para organizações privadas. O sucesso na implementação de tais sistemas as leva à assimilação das diversas vertentes de sistemas de gestão, sendo as mais comuns: qualidade, meio ambiente, saúde e segurança ocupacional. A utilização de diversas vertentes de sistemas de gestão em uma mesma base processual denominou-se SGI (NEVES, 2007).

Segundo a IAEA (2006a), um sistema de gestão bem implementado deve ser capaz de suportar melhorias na cultura de segurança, alcançando o nível desejado de segurança. A IAEA apresenta guias que orientam a implementação de sistemas de gestão no intuito de gerir eficientes programas de segurança aos operadores, meio ambiente e sociedade, no que se refere a instalações nucleares (IAEA, 2006a).

3. METODOLOGIA

Esta pesquisa, classificada como descritiva, baseou-se em uma pesquisa bibliográfica para obter dados secundários oriundos de artigos, teses e dissertações (GIL, 2017).

Em razão da escassez de pesquisa sobre o tema, utilizou-se como base de pesquisa o Google Acadêmico, que concentra um elevado número de produções científicas de diversas outras bases. Visando obter pesquisas que acompanham as recentes publicações de sistemas de gestão da IAEA, optou-se por um recorte temporal de 5 anos. A pesquisa foi realizada de 1º a 15 de março de 2020 com argumentos de busca compatíveis com o tema desta pesquisa, disponíveis na primeira coluna do Quadro 1. A partir da leitura primeiramente do título e, em seguida, do resumo, resultados foram pré-selecionados. Desses resultados, foram selecionados os que indicaram o funcionamento de forma integrada de normas, nacionais e internacionais, de qualidade, meio ambiente, saúde e segurança ocupacional para instalações nucleares ou submarinos nucleares.

O quantitativo desses resultados encontra-se na terceira coluna do Quadro 1. No, Quadro 2, compilaram-se os resultados dessa seleção final, e no Quadro 3, as normas indicadas pelos autores.

Após a análise dessas normas, identificaram-se como aplicáveis ao propósito deste artigo aquelas descritas nas considerações finais.

Quadro 1. Resultados encontrados.

| Argumento de busca | Resultados encontrados | Resultados selecionados |
|--|------------------------|-------------------------|
| <i>“sistemas de gestão integrado” AND “requisitos” AND “licenciamento” AND “submarinos nucleares”</i> | 0 | 0 |
| <i>“sistemas de gestão da qualidade” OR “sistemas de gestão de saúde e segurança ocupacional” OR “sistemas de gestão ambiental” AND “requisitos” AND “licenciamento” AND “submarinos nucleares”</i> | 14 | 1 |
| <i>“sistemas de gestão da qualidade” OR “sistemas de gestão de saúde e segurança ocupacional” OR “sistemas de gestão ambiental” AND “requisitos” AND “licenciamento” AND “instalações nucleares”</i> | 139 | 3 |
| <i>“sistemas de gestão integrado” AND “requisitos” AND “licenciamento” AND “instalações nucleares”</i> | 0 | 0 |
| <i>“integrated management systems” AND “requirements” AND “licensing” AND “nuclear submarines”</i> | 0 | 0 |
| <i>“quality management systems” OR “occupational health and safety management systems” OR “environmental management systems” AND “requirements” AND “licensing” AND “nuclear submarines”</i> | 104 | 0 |
| <i>“quality management systems” OR “occupational health and safety management systems” OR “environmental management systems” AND “requirements” AND “licensing” AND “nuclear facilities”</i> | 928 | 0 |
| <i>“integrated management systems” AND “requirements” AND “licensing” AND “nuclear facilities”</i> | 13 | 0 |

Quadro 2. Resultados selecionados.

| Autor(es) | Ano | Título | Resumo | Normas indicadas |
|--------------------------|------|---|---|--|
| -Mattar, Patrícia Morais | 2017 | <i>Avaliação dos processos de análise de segurança do transporte de material radioativo realizados por um órgão regulador</i> | A pesquisa propôs melhorias para o processo de avaliação da análise de segurança do transporte de material radioativo realizado pelo órgão regulador brasileiro, à luz das normas da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA). | <i>IAEA – SF-1: Fundamental Safety Principles</i> <i>IAEA – SSR6: Specific Safety Requirements 6, Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material</i> <i>IAEA – TS-G-1.4: The Management System for the Safe Transport of Radioactive Material</i> <i>IAEA – TS-G-1.5: Safety Standards Series No.</i> |

Continua..

Quadro 2. Continuação.

| Autor(es) | Ano | Título | Resumo | Normas indicadas |
|---------------------------------|------|--|---|--|
| Salveti, Tereza Cristina | 2017 | <i>Proposta para implantação de sistema de gestão integrado para unidade de tratamento e armazenamento de rejeitos radioativos de baixo e médio níveis de radiação do empreendimento RMB</i> | A pesquisa levantou as leis, os regulamentos e as normas aplicáveis à gestão dos rejeitos radioativos gerados pelo Reator Multipropósito Brasileiro (RBM), apresentando uma proposta de sistema de gestão integrado (SGI) para esse tipo de empreendimento que forneça diretrizes para os documentos de licenciamento do RBM. | <p>CNEN NN 1.16: Garantia da qualidade para a segurança de usinas nucleolétricas e outras instalações</p> <p><i>IAEA – GS-R-3.3: The management system for the processing, handling and storage of radioactive waste</i></p> <p><i>IAEA – GSR Part 2: Leadership and management for safety</i></p> <p><i>BSI – PAS 99:2012: Specification of common management system requirements as a framework for integration</i></p> <p><i>BSI – OHSAS 18001:2007: Occupational Health and Safety Management System – Requirements</i></p> <p>ABNT – NBR ISO 9001:2015: Sistemas de gestão da qualidade – Requisitos</p> <p>ABNT – NBR ISO 14001:2015: Sistemas de Gestão Ambiental – Requisitos</p> <p><i>DOE/RW-0333P Revision 21: Quality Assurance Requirements and Description</i></p> |
| Campos, Renato Augusto de | 2019 | <i>Integração entre normas de gestão da qualidade em uma empresa fornecedora da cadeia nuclear</i> | A pesquisa analisou os benefícios e as dificuldades na integração das normas CNEN NN 1.16 e ISO 9001:15, bem com as possíveis contribuições da norma ISO 19443 para a composição de um SGI em uma empresa fornecedora da cadeia nuclear. | <p>CNEN NN 1.16: Garantia da qualidade para a segurança de usinas nucleolétricas e outras instalações</p> <p>ABNT – NBR ISO 9001:2015: Sistemas de gestão da qualidade – Requisitos</p> <p><i>ISO 19443:2018: Quality management systems – Specific requirements for the application of ISO 9001:2015 by organizations in the supply chain of the nuclear energy sector supplying products and services important to nuclear safety (ITNS)</i></p> |
| Kibrit, Eduardo | 2019 | <i>Modelo de sistema de gestão da sustentabilidade para organizações operadoras de reatores nucleares de pesquisa</i> | Essa tese propõe um modelo de sistema de gestão da sustentabilidade para organizações operadoras de reatores nucleares de pesquisa apoiado em quatro pilares da sustentabilidade: institucional, econômico, ambiental e social. | <p>Modelo de Excelência da Gestão (MEG) em sua 21ª edição</p> <p><i>IAEA – SSR-3: Safety of Research Reactors</i></p> <p><i>IAEA – GS-R-3: The Management System for Facilities and Activities</i></p> <p><i>IAEA – GSR Part 2: Leadership and management for safety</i></p> <p><i>IAEA – NG-T-3.16: Strategic Planning for Research Reactors</i></p> <p><i>IAEA – SSG-22: Use of a Graded Approach in the Application of Safety Requirements for Research Reactors</i></p> <p>ABNT – NBR ISO 14001:2015: Sistemas de Gestão Ambiental – Requisitos</p> <p><i>BSI – PAS 99:2012: Specification of common management system requirements as a framework for integration</i></p> |

Quadro 3. Ocorrência e resumo das normas sugeridas pelos autores.

| Normas (ocorrências) | Resumo |
|--|--|
| IAEA – SF-1 (1) | Estabelece os dez princípios fundamentais de segurança nuclear para proteger as pessoas e o meio ambiente dos efeitos nocivos da radiação ionizante. É aplicável a qualquer tipo de instalação que produz riscos nucleares. |
| IAEA – GSR Part 2 (2) | Estabelece requisitos que apoiam o terceiro princípio fundamental de segurança nuclear afeto ao estabelecimento, à manutenção e à melhoria contínua de um sistema de gestão integrado (SGI) contemplando segurança, um sistema de gestão que integre: segurança, saúde, meio ambiente, qualidade, fatores humanos e organizacionais, elementos sociais e econômicos. |
| IAEA – SSR-6 (1) | Estabelece requisitos de segurança da Agência Internacional de Energia Atômica (<i>International Atomic Energy Agency – IAEA</i>) para o transporte seguro de material radioativo. Os regulamentos SSR-6 aplicam-se ao transporte de material radioativo por todos os modos em terra, água ou ar, incluindo transporte que é incidental ao uso do material radioativo. |
| IAEA – TS-G-1.4 (1) | Esse guia estabelece orientações às organizações que estão desenvolvendo, implementando ou avaliando um sistema de gestão de atividades relacionadas ao transporte de material radioativo. |
| IAEA – TS-G-1.5 (1) | Esse guia estabelece orientações para as autoridades competentes no desenvolvimento de programas de garantia de conformidade relativos ao transporte de material radioativo. Ele também fornece orientação aos solicitantes, licenciados e organizações operacionais para suas interações com as autoridades reguladoras. |
| IAEA – SSR-3 (1) | Estabelece requisitos de segurança para todas as principais áreas de segurança dos reatores de pesquisa, com ênfase especial nos requisitos de projeto e operação. |
| IAEA – GS-R-3 (1) | Estabelece requisitos para todas as principais áreas de segurança dos reatores de pesquisa, com ênfase especial nos requisitos de projeto e operação. |
| IAEA – NG-T-3.16 (1) | Estabelece orientações para desenvolver e implementar um plano estratégico para um novo projeto de reator de pesquisa. |
| IAEA – SSG-22 (1) | Estabelece recomendações para cumprir os requisitos de segurança para reatores de pesquisa, Série de normas de segurança da IAEA nº NS-R-4. |
| IAEA – GS-R-3.3 (1) | Esse guia estabelece orientações para o desenvolvimento e a implementação de sistemas de gestão para o pré-tratamento, o tratamento, o condicionamento e o armazenamento de rejeitos radioativos. |
| DOE/RW-0333P <i>Revision 21</i> (1) | Programa de garantia da qualidade aplicável a estruturas, sistemas e componentes (SSCs) importantes para a segurança (ITS) para o projeto e o detalhamento de barreiras importantes ao isolamento de resíduos (ITWI) e às atividades relacionadas. |
| BSI – PAS 99:2012 (2) | Estabelece requisitos para sistemas de gestão integrados contemplando os principais sistemas de gestão certificáveis. |
| BSI – OHSAS 18001:2007 (1) | Estabelece estrutura e requisitos para um sistema de gestão de saúde e segurança ocupacional (OHS). |
| ISO 19443:2018 (1) | Estabelece requisitos de sistemas de gestão da qualidade específicos para organizações da cadeia de suprimentos do setor de energia nuclear que fornecem produtos e serviços importantes para a segurança nuclear (ITNS). |
| ABNT – NBR ISO 9001:2015 (2) | Estabelece requisitos para um sistema de gestão da qualidade quando uma organização necessita demonstrar sua capacidade para prover consistentemente produtos e serviços que atendam aos requisitos do cliente e aos requisitos estatutários e regulamentares aplicáveis. |
| ABNT – NBR ISO 14001:2015 (2) | Estabelece requisitos para um sistema de gestão ambiental aplicável a organizações que buscam gerir sistematicamente suas responsabilidades ambientais de forma sustentável. |

Continua...

Quadro 3. Continuação.

| Normas (ocorrências) | Resumo |
|----------------------|--|
| CNEN NN 1.16 (2) | Estabelece os requisitos para o estabelecimento e a implementação de sistemas de garantia da qualidade de usinas nucleoeletricas, instalações nucleares e, conforme aplicável, instalações radiativas. Além disso, ela determina a forma segundo a qual os Programas de Garantia da Qualidade devem ser preparados e submetidos à Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN); |
| MEG 21ª edição (1) | Estabelece um modelo sistêmico de melhoria contínua inspirado no ciclo do PDCL (<i>Plan, Do, Check, Learn</i>) adaptável a qualquer tipo de organização, permitindo adequar suas práticas de gestão, respeitando a cultura existente. |

4. RESULTADOS

Os resultados da pesquisa realizada são evidenciados em três quadros (Quadro 1, Quadro 2 e Quadro 3). O Quadro 1 apresenta os argumentos de busca, os resultados encontrados e os resultados selecionados. Por sua vez, o Quadro 2 apresenta os autores, os anos, os títulos, os resumos e as normas indicadas. Por fim, o Quadro 3 mostra o resumo de cada norma selecionada.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com base nos resultados, foram selecionadas 17 normas de diversas organizações normalizadoras: 9 da IAEA, 3 da Organização Internacional de Normalização (*International Organization for Standardization* — ISO), 2 da *British Standards Institution* (BSI), 1 do *Department of Energy* (DOE), 1 da CNEN e 1 da Fundação Nacional da Qualidade (FNQ). O elevado número de normas da IAEA pode ser atribuído ao arcabouço extenso e interdisciplinar mantido por essa agência internacional.

Observou-se a predominância de normas voltadas a sistemas de gestão da qualidade ou de garantia da qualidade, excetuando-se as normas IAEA – GSR Part 2 e BSI – PAS 99:2012 (voltadas para a estruturação de SGI). Por estabelecer os princípios fundamentais de segurança nuclear, é seguro afirmar que a IAEA – SF-1 é a base para as oito outras normas desse normalizador. As normas IAEA – SSR-6, IAEA – TS-G-1.4 e IAEA – TS-G-1.5 estabelecem requisitos para sistemas de garantia da qualidade aplicados ao transporte de material radioativo. As normas IAEA – SSR-3, IAEA – GS-R-3, IAEA – NG-T-3.16 e IAEA – SSG-22

estabelecem requisitos de segurança aplicados ao projeto e à operação de reatores de pesquisa. As normas IAEA – GS-R-3.3 e DOE/RW-0333P estabelecem requisitos aplicáveis à gestão de rejeitos radioativos. Entre as normas selecionadas, apenas uma é dedicada a requisitos de meio ambiente (ABNT – NBR ISO 14001:2015) e uma, a requisitos de saúde e segurança ocupacional (BSI – OHSAS 18001:2007). A MEG 21ª edição estabelece um conjunto de requisitos que descrevem um modelo de excelência em gestão com requisitos além dos normalmente encontrados em sistemas de gestão. As normas IAEA – GSR Part 2, BSI – PAS 99:2012, ABNT – NBR ISO 9001:2015, ABNT – NBR ISO 14001:2015 e CNEN NN 1.16 foram citadas por mais de um autor.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando-se o conteúdo das normas encontradas, para servir de *ball* de requisitos para comparação e extração de possíveis superposições, identificaram-se como normas que se aplicam ao propósito deste estudo: IAEA – GSR Part 2, BSI – PAS 99:2012, CNEN NN 1.16 e ABNT – NBR ISO 9001:2015 (para se obter uma estrutura de requisitos sistêmica, que proporcione a integração e o direcionamento a instalações nucleares); ABNT – NBR ISO 14001:2015 e BSI – OHSAS 18001:2007 (por serem referências em suas vertentes: meio ambiente e saúde e segurança ocupacional). Não foram identificadas como aplicáveis as normas: IAEA – SF-1 (em razão de sua diluição de requisitos aplicáveis nas demais normas da IAEA), IAEA – SSR-6, IAEA – TS-G-1.4, IAEA – TS-G-1.5, IAEA – GS-R-3.3, DOE/RW-0333P, IAEA – SSR-3, IAEA – NG-T-3.16, IAEA – SSG-22 e ISO 19443

(por estabelecerem requisitos de gestão já contemplados pelas normas identificadas como aplicáveis e requisitos específicos para: transporte de materiais e rejeitos radiativos, fornecedores da cadeia de suprimentos do setor nuclear e reatores de pesquisa, tarefas que não se espera serem desempenhadas pela tripulação do SN-BR). A norma IAEA – GS-R-3 foi descartada por ter sido revogada pela IAEA – GSR Part 2,

por extrapolar requisitos comuns de sistemas de gestão e por não ser integrável com as demais normas identificadas como aplicáveis; a norma MEG 21ª edição também foi descartada.

Trabalhos futuros podem abordar a comparação e a exclusão de requisitos das normas identificadas como aplicáveis a fim de estabelecer a estrutura de requisitos adequada para a elaboração da norma da AgNSNQ.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA SENADO. Marinha deve licenciar embarcações com combustível nuclear, decide CCT. *Senado Notícias*, 2019. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2019/10/09/marinha-deve-licenciar-embarcacoes-com-combustivel-nuclear-decide-cct>. Acesso em: 1º maio 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR ISO 9001: Sistemas de gestão da qualidade - Requisitos*. Rio de Janeiro: ABNT, 2015a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR ISO 14001: Sistemas de gestão da ambiental - Requisitos*. Rio de Janeiro: ABNT, 2015b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Normalização: Definição*. Rio de Janeiro: ABNT, 2014a. Disponível em: <http://www.abnt.org.br/normalizacao/o-que-e/o-que-e>. Acesso em: 1º maio 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Normalização: Níveis de Normalização*. Rio de Janeiro: ABNT, 2014b. Disponível em: <http://www.abnt.org.br/normalizacao/o-que-e/niveis-de-normalizacao>. Acesso em: 1º maio 2020.
- BRASIL. *Decreto Legislativo nº 373, de setembro de 2013*. Política Nacional de Defesa, a Estratégia Nacional de Defesa e o Livro Branco de Defesa Nacional. Brasília, 2013.
- BRASIL. Diretoria Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha. *Portal*. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/dgdntm/node/49>. Acesso em: 15 mar. 2020a.
- BRASIL. *Lei nº 6.189, de 16 de dezembro de 1974*. Altera a Lei nº 4.118, de 27 de agosto de 1962, e a Lei nº 5.740, de 1º de dezembro de 1971, que criaram, respectivamente, a comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN e a Companhia Brasileira de Tecnologia Nuclear - CBTN, que passa a denominar-se Empresas Nucleares Brasileiras Sociedade Anônima - NUCLEBRÁS, e dá outras providências. Brasília: Câmara dos Deputados, [2021]. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1970-1979/lei-6189-16-dezembro-1974-357466-norma-pl.html>. Acesso em: 29 abr. 2021.
- BRASIL. *Lei nº 13.976, de 7 de janeiro de 2020*. Altera a Lei nº 6.189, de 16 de dezembro de 1974. Brasília: Presidência da República, 2020b. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/>
- civil_03/_ato2019-2022/2020/lei/L13976.htm. Acesso em: 20 mar. 2020.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BSI). *BSI - OHSAS 18001*. Gestão de Saúde e Segurança Ocupacional. Londres: BSI, 2007.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BSI). *BSI - PAS 99*. Specification of common management system requirements as a framework for integration. Londres: BSI, 2012.
- CAMPOS, R.A. *Integração entre normas de gestão da qualidade em uma empresa fornecedora da cadeia nuclear*. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2019.
- COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN). *CNEN NN 1.16*. Garantia da qualidade para a segurança de usinas nucleoeletrônicas e outras instalações. Rio de Janeiro: CNEN, 2000.
- COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN). *Glossário do Setor Nuclear e Radiológico Brasileiro*. Rio de Janeiro: CNEN, 2020. Disponível em: <http://appasp.cnem.gov.br/seguranca/normas/pdf/glossario.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2020.
- FUNDAMENTO NACIONAL DA QUALIDADE (FNQ). *MEG: Guia de referência da gestão para excelência*. 21. ed. São Paulo: FNQ, 2016.
- GIL, A.C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017. 173 p.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). *GS-G-3.1*. Application of the management system for facilities and activities: Safety Guide. Viena: IAEA, 2006a.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). *GS-R-3: The Management System for Facilities and Activities*. Viena: IAEA, 2006b.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). *GS-R-3.3: The Management System for the Processing, Handling and Storage of Radioactive Waste*. Viena: IAEA, 2008a.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). *GSR Part 2: Leadership and Management for Safety*. Viena: IAEA, 2016a.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). *Management systems for nuclear facilities*. IAEA, 2019. Disponível em: <https://www.iaea.org/topics/management-systems>. Acesso em: 1º maio 2020.

- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). *NG-7-3.16: Strategic Planning for Research Reactors*. Viena: IAEA, 2017.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). *SSR-3: Safety of Research Reactors*. Viena: IAEA, 2016b.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). *SSR-6. Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material*. Viena: IAEA, 2018.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). *SSG-22: Use of a Graded Approach in the Application of the Safety Requirements for Research Reactors*. Viena: IAEA, 2012.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). *TS-G-1.4: The Management System for the Safe Transport of Radioactive Material*. Viena: IAEA, 2008b.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA). *TS-G-1.5: Compliance Assurance for the Safe Transport of Radioactive Material*. Viena: IAEA, 2009.
- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). *Articulação Internacional: Definições de Regulamento Técnico, Norma e Procedimento de Avaliação da Conformidade*. Brasil: INMETRO, 2012. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/barreirastecnicas/definicoes.asp>. Acesso em: 1 maio 2020.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARTIZATION (ISO). *ISO 19443. Quality management systems — Specific requirements for the application of ISO 9001:2015 by organizations in the supply chain of the nuclear energy sector supplying products and services important to nuclear safety (ITNS)*. Genova: ISO, 2018.
- KIBRIT, Eduardo. *Modelo de sistema de gestão da sustentabilidade para organizações operadoras de reatores nucleares de pesquisa*. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.
- KYMAL, C.; GRUSKA, G.; REID, R.D. *Integrated Management Systems: QMS, EMS, OHSMS, FSMS including Aerospace, Service, Semiconductor/ Electronics, Automotive, and Food*. Milwaukee: Quality Press, 2015.
- MARINHA DO BRASIL. *Programas Estratégicos da Marinha*. Brasília: Marinha do Brasil, dez. 2020. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/programas-estrategicos/prosub>. Acesso em: 29 abr. 2021.
- MATTAR, Patricia Morais. *Avaliação dos processos de análise de segurança do transporte de material radioativo realizados por um órgão regulador*. 2017. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Gestão) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2017.
- NASCIMENTO, E.R.P.; TRENTINI, M. O cuidado de enfermagem na unidade de terapia intensiva (UTI): teoria humanística de Paterson e Zderad. *Revista Latino-Americana de Enfermagem*, Ribeirão Preto, v. 12, n. 2, p. 250-257, abr. 2004. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-11692004000200015&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 28 abr. 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-11692004000200015>
- NEVES, L. Sistemas de gestão integrados. *Segurança e Qualidade Alimentar*, v. 2, p. 30-31, 2007.
- POLTRONIERI, C.F.; GEROLAMO, M.C.; CARPINETTI, L.C.R. An instrument for the assessment of management systems integration. *Gestão & Produção*, São Carlos, v. 24, n. 4, p. 638-652, dez. 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/0104-530x1697-14>
- SALVETTI, T.C. *Proposta para implantação de sistema de gestão integrado para unidade de tratamento e armazenamento de rejeitos radioativos de baixo e médio níveis de radiação do empreendimento RMB*. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.



Figura 9

SIMULADOR DE PASSADIÇO INSTALADO NA ESCOLA NAVAL

ESTUDO DA TRANSFORMAÇÃO DE FASES INDUZIDA POR DEFORMAÇÃO EM AÇOS INOXIDÁVEIS AUSTENÍTICOS APLICADOS A COMPONENTES DE COMBUSTÍVEIS NUCLEARES

Study of strain-induced phase transformation in austenitic stainless steels applied to nuclear fuel components

Jamil Martins Guimarães Junior¹

Resumo: Combustíveis nucleares vêm se desenvolvendo cada vez mais nos últimos anos; em especial, combustíveis do tipo placa, obtidos por meio de processos de laminação, os quais podem ser aplicados em propulsão nuclear devido ao uso de diferentes componentes metálicos. Para tanto, aspectos relacionados ao encruamento e transformações de fases desses componentes precisam ser compreendidos. Foram realizadas investigações com deformações plásticas de aços inoxidáveis AISI 304 e AISI 316 por meio de compressão e laminação, a qual merece especial atenção neste trabalho. Análises completas resultaram em interessantes dados de microscopia óptica, medidas de dureza, espectroscopia por dispersão de energia (EDS), difração de raios X e difração de elétrons retroespalhados (EBSD). Baixos níveis de redução na espessura dos aços promoveram elevada transformação da austenita para martensita ϵ , enquanto altos níveis de redução mostraram elevado alongamento dos grãos e as maiores frações de transformação martensítica induzida por deformação (martensita α'). Deformações por diferentes processos resultaram em níveis diferentes de transformação martensítica devido aos valores de energia de defeito de empilhamento (EDE) de cada material.

Palavras-chave: Laminação. Combustível nuclear. Aços inoxidáveis. Austenita. Martensita.

Abstract: Nuclear fuels have been developed continuously during the last years; specially plate-type fuels obtained by rolling process, which can be used for naval propulsion due to the use of many metallic elements. Therefore, aspects related to the work hardening and phase transformations must be understood. Investigations by compression and cold rolling (which deserves a special attention) in AISI 304 and AISI 316 stainless steels were performed. These analyses resulted in interesting optical microscopy, hardness measurements, energy dispersive spectroscopy (EDS), X Ray diffraction and electron backscatter diffraction (EBSD) data. Low rolled steels showed high transformation into ϵ -martensite, and high rolled levels showed high grain elongation and very high α' - martensite fractions. Different mechanical forming processes resulted in different α' - martensite transformation levels, which also depends on the materials stacking fault energy (SFE).

Keywords: Rolling. Nuclear fuel. Stainless steels. Austenite. Martensite.

1. Engenheiro de Materiais na Diretoria de Desenvolvimento Nuclear da Marinha do Brasil - São Paulo, SP - Brasil. E-mail: jamil.guimaraes@marinha.mil.br

1. INTRODUÇÃO

Embora os aços inoxidáveis com propriedades dependentes de transformação de fases possam ser empregados em muitos projetos, uma aplicação específica para os materiais utilizados neste trabalho merece destaque: o uso em combustíveis nucleares, aliando propriedades mecânicas, alta conformabilidade e comportamento satisfatório quando irradiados (SANTOS; TUNES; SCHÖN, 2014; ŞAHIN; ÜBEYLI, 2008).

Os aços inoxidáveis austeníticos possuem estrutura cristalina do tipo cúbica de face centrada (CFC), são paramagnéticos, com porcentagem de cromo geralmente entre 16 e 30% em massa, tornando-os excelentes no que diz respeito à resistência à corrosão. Níquel, elemento gama-gênico (que estabiliza a fase austenita), é adicionado em proporções de 8 a 20% em massa para estabilizar a austenita nas temperaturas desejadas, uma vez que o cromo é um elemento alfa-gênico, facilitando a formação da ferrita (TOO, 2002). A quantidade de carbono (também gama-gênico) presente varia nos valores entre 0,03 e 0,1% em massa, pois um excesso desse elemento pode levar o aço à sensitização devido à precipitação de carbeto preferencialmente nos contornos de grão (SONG; GUAN, 2011). Outros elementos, como molibdênio, titânio e manganês, estão sempre presentes, pois podem fornecer resistência mecânica mais elevada ou até aumentar a resistência aos mecanismos de corrosão localizada no aço, como corrosão galvânica (TOO, 2002).

Quando comparados aos outros aços inoxidáveis, percebe-se uma alta ductilidade e alta tenacidade nos austeníticos, mesmo a baixas temperaturas, o que demonstra a inexistência de uma transição dúctil-frágil nesses aços inoxidáveis. Além disso, os aços inoxidáveis austeníticos possuem baixa temperabilidade (em razão das porcentagens pequenas de carbono presentes) quando comparados a outras classes de aços inoxidáveis (ANTUNES; ANTUNES, 2007).

A laminação é o processamento mais comumente aplicado ao se produzir esses aços e resulta em grãos alongados tridimensionalmente, a fim de acomodá-los uns sobre os outros da forma mais compacta possível (BRESCIANI FILHO, 1991).

Países que dominam a tecnologia nuclear vêm obtendo bons resultados ao aplicar aços inoxidáveis austeníticos em alguns componentes, processando-os muitas vezes por meio de laminação, o que comprova a importância deste estudo no que diz respeito a aplicações em combustíveis nucleares. Embora

estudiosos se direcionem cada vez mais para esse tema na atualidade, ainda existem muitas lacunas de conhecimento em relação aos mecanismos envolvidos na transformação martensítica aplicada a combustíveis nucleares (ZHOU et al., 2015).

O revestimento de combustíveis nucleares do tipo placa, obtido pelo processo de laminação, pode ser fabricado com diferentes materiais metálicos. Entre eles, destacam-se ligas de alumínio e aços inoxidáveis austeníticos, como os que são fruto deste estudo. Também são fabricados em aços inoxidáveis austeníticos outros componentes de combustíveis nucleares, como bocais e tampões de varetas combustíveis, fundamentais em um reator nuclear tipo *Pressurized Water Reactor* (PWR).

Sendo assim, os conhecimentos agregados por meio deste trabalho podem auxiliar no desenvolvimento do primeiro submarino com propulsão nuclear brasileiro (SN-BR), assim como no desenvolvimento de componentes para outras fontes de energia nuclear, como o Reator Multipropósito Brasileiro, centrais nucleares como a de Angra dos Reis ou reatores para as Indústrias Nucleares do Brasil (INB), cooperando com a saúde e a qualidade de vida da população brasileira.

2. OBJETIVOS

Avaliar a transformação da fase austenítica em fase martensítica em aços inoxidáveis das classes AISI 304 e AISI 316, com o intuito de desenvolver novas possibilidades de aplicação desses materiais em combustíveis nucleares. Assim, é possível avaliar o efeito das deformações na microestrutura de dois aços inoxidáveis austeníticos de diferentes composições químicas, ainda com comportamento teoricamente próximo de um terceiro aço inoxidável capaz de satisfazer às necessidades para tal aplicação, o aço inoxidável AISI 304L, que pode ser empregado em componentes como tampões de varetas combustíveis, bocais ou revestimentos de combustíveis tipo placa.

3. METODOLOGIA

A caracterização inicial dos dois aços inoxidáveis (AISI 304 e AISI 316) foi realizada antes da deformação por meio de dois métodos distintos: laminação e compressão. Foram caracterizadas amostras dos aços inoxidáveis laminados a 12, 31, 50, 70, 80 e 90% de redução. Mantendo-se a atenção para o

valor do fator delta (ZIMMERMANN, 2013), a deformação para a redução de 90% desejada neste trabalho ficou o mais próximo possível de um processo homogêneo, apresentando poucas variações no sentido da espessura.

Os ensaios de compressão foram aplicados em corpos de prova cilíndricos. Após solubilizados a 1.050°C por 30 minutos, os cilindros com dimensões de 6,5 mm de diâmetro e 10,6 mm de altura foram submetidos à compressão uniaxial que resultou em amostras com 60% de redução na altura. Portanto, os corpos de prova após o ensaio passaram a medir 4,25 mm de altura.

A partir de análises de espectroscopia por dispersão de energia (EDS, derivado do termo *Energy Dispersive Spectroscopy* em inglês), foi possível calcular a energia de defeito de empilhamento (EDE) dos materiais, uma vez que a EDE é dependente da composição química. Aplicando-se tal equação (SCHRAMM; REED, 1975), por sua vez, foi possível calcular um valor experimental de EDE igual a 18,02 mJ/m² para o aço AISI 304 e de 50,07 mJ/m² para o aço AISI 316, em conformidade com os valores relatados por Murr (1975).

4. RESULTADOS

As imagens de microscopia óptica, presentes na Figura 1, demonstram que o caráter poligonal dos grãos é mantido para baixos níveis de redução por laminação, como 12% para ambos os materiais. Com 70% de redução da espessura, os grãos mostram-se quase que totalmente alinhados na direção de laminação. Isso porque a tensão utilizada durante o processamento provoca uma deformação inevitável no material, que responde à solicitação com grandes rotações do reticulado,

fragmentação da microestrutura e grande quantidade de heterogeneidades de deformação.

Ambos os materiais sofreram grande aumento de dureza após deformação por compressão. Os resultados mostram que, com deformações de 60% por compressão, é possível praticamente dobrar a dureza do aço AISI 316 e aumentar a dureza do aço AISI 304 em aproximadamente 157% do valor inicial, conforme mostram as curvas comparativas entre todas as condições de deformação (Figura 2).

Análises por difração de elétrons retroespalhados foram realizadas apenas para as amostras laminadas com 12 e 31% de redução, uma vez que níveis maiores de deformação comprometem as análises por meio dessa técnica devido à grande quantidade de defeitos nas amostras. Um mapa de fases fornece informações sobre quais fases estão presentes nos grãos

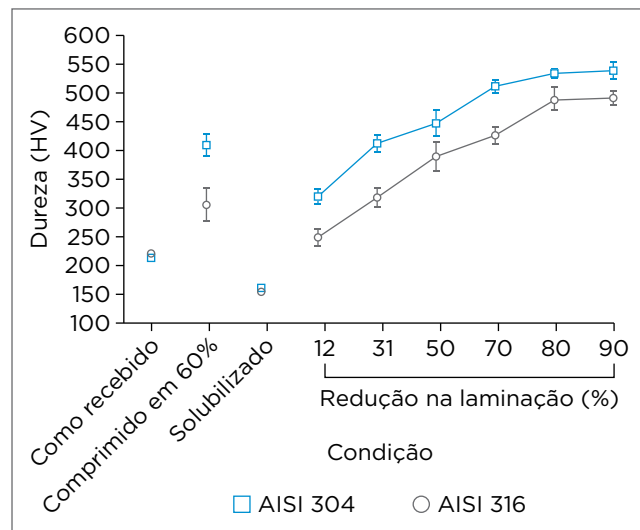


Figura 2. Comparação de dureza Vickers em todas as diferentes condições.

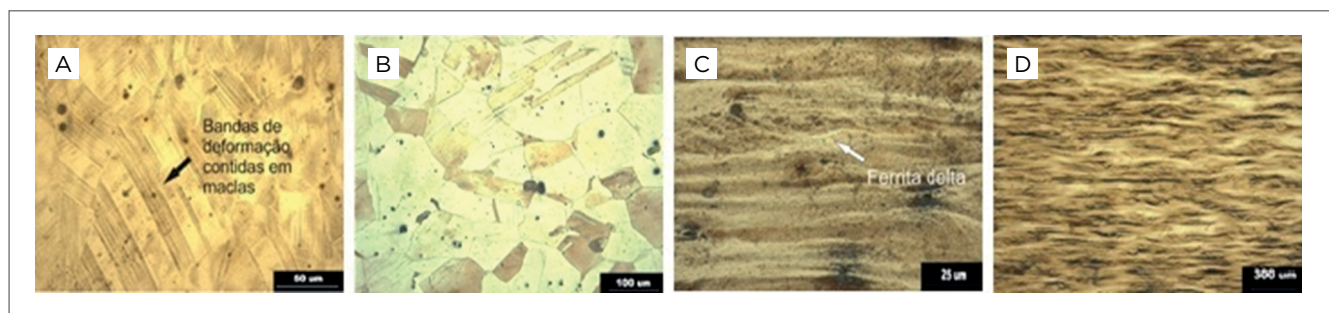


Figura 1. Microestruturas dos aços: (A) AISI 304 com 12% de redução; (B) AISI 316 com 12% de redução; (C) AISI 304 com 70% de redução; (D) AISI 316 com 70% de redução. Reagente Carpenter e direção de laminação horizontal.

do material a partir de aspectos cristalográficos, de forma que uma estrutura CFC pode ser mostrada com coloração distinta de uma cúbica de corpo centrado (CCC), por exemplo. É o que acontece para o resultado a seguir, em que a austenita (CFC) aparece em vermelho, e a martensita α' (CCC) aparece em azul. As regiões de coloração verde são resultado de áreas não indexadas, ou seja, regiões em que o equipamento não conseguiu gerar dados em razão de um número ainda maior de defeitos ou superfícies não identificadas durante a

varredura. Para esses resultados de EBSD, o equipamento foi configurado de forma que todas as linhas escuras nos mapas de fases correspondem a contornos de grãos com ângulo maior que 15° , revelando a geometria dos grãos poligonais e maclas, como as que Renard observou em seus estudos que relacionam propriedades mecânicas dos aços com sua EDE (RENARD; JACQUES, 2012). Para todas as imagens obtidas por EBSD (Figura 3), a direção de laminação corresponde à direção vertical.

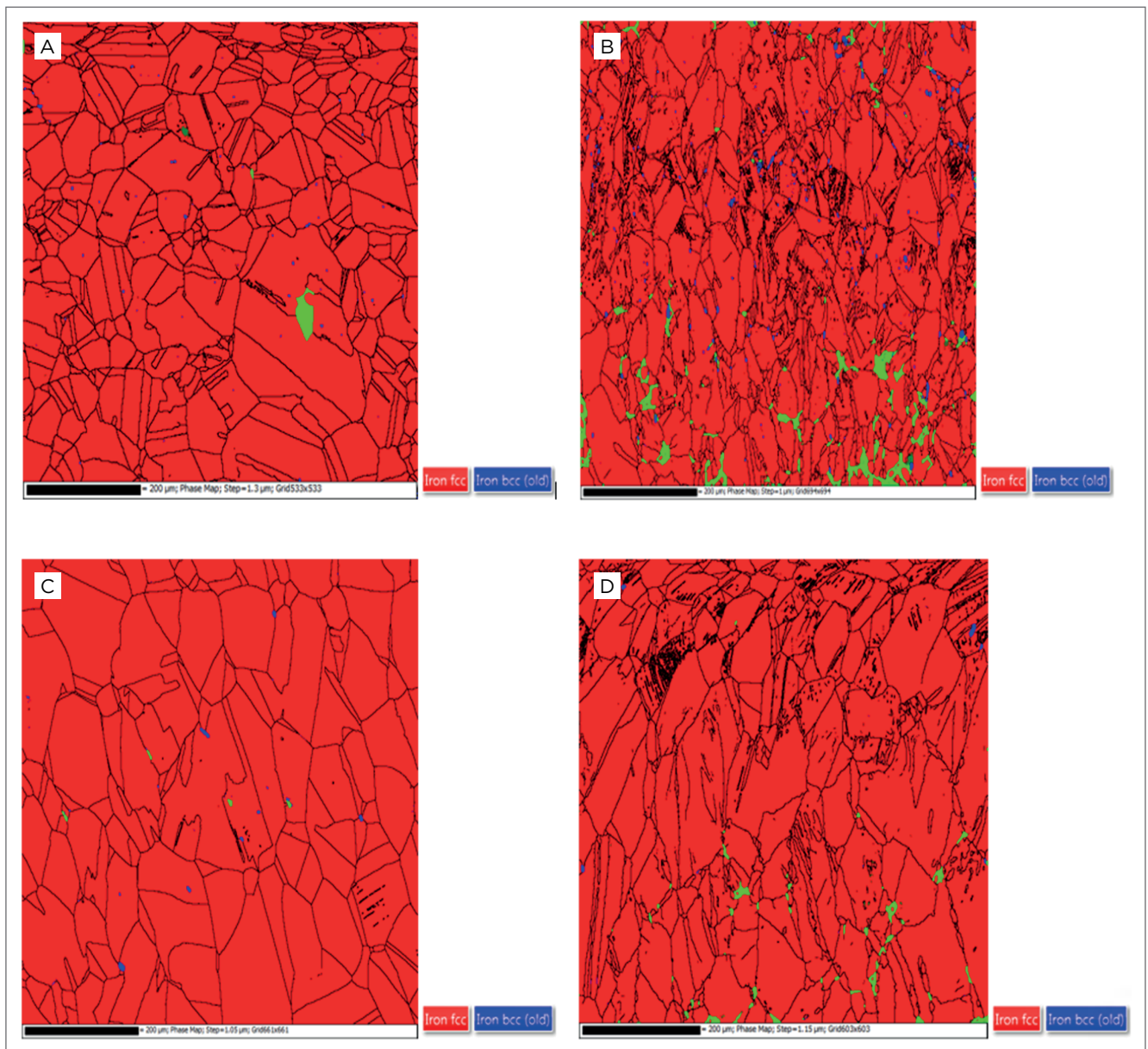


Figura 3. Mapas de fase: (A) AISI 304 com 12% de redução; (B) AISI 316 com 12% de redução; (C) AISI 304 com 31% de redução; (D) AISI 316 com 31% de redução. Obtidas por difração de elétrons retroespalhados.

As figuras de difração de raios X (Figura 4) são resultantes do nível de redução em 12% para a laminação e mostram a transformação de parte da austenita em martensita ϵ (ângulos coincidentes com os da fase austenítica) e parte em martensita α' . Isso seria esperado, uma vez que níveis baixos de redução favorecem a formação de martensita ϵ , precursora da martensita α' .

Níveis de redução de 50% promoveram a formação mais acentuada de martensita α' segundo as figuras de difração a seguir. As figuras também mostram que a transformação da austenita para martensita α' foi mais pronunciada no aço AISI 304 e que toda ou quase toda a martensita ϵ contida

nas amostras laminadas com menores reduções transformou-se em martensita α' .

Para todas as amostras, as figuras de difração foram obtidas de modo contínuo com velocidade de 1° por minuto.

Os níveis de redução da espessura em 90% promoveram a transformação de uma altíssima fração da microestrutura austenítica em martensítica para o aço inoxidável austenítico AISI 304. Embora menos pronunciado, também ocorreu um grande aumento na fração de martensita α' induzida por deformação no aço AISI 316. Ambos os resultados estão explícitos nas Figuras 5 e 6.

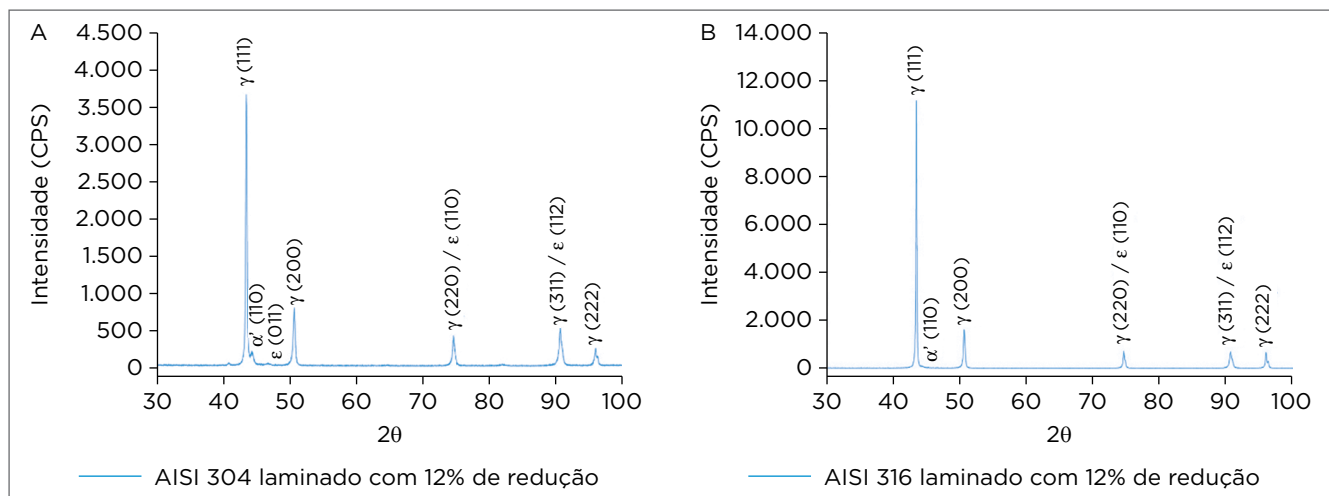


Figura 4. Figuras de difração: (A) AISI 304 laminado com 12% de redução da espessura; (B) AISI 316 laminado com 12% de redução da espessura. Radiação $\text{CuK}\alpha$.

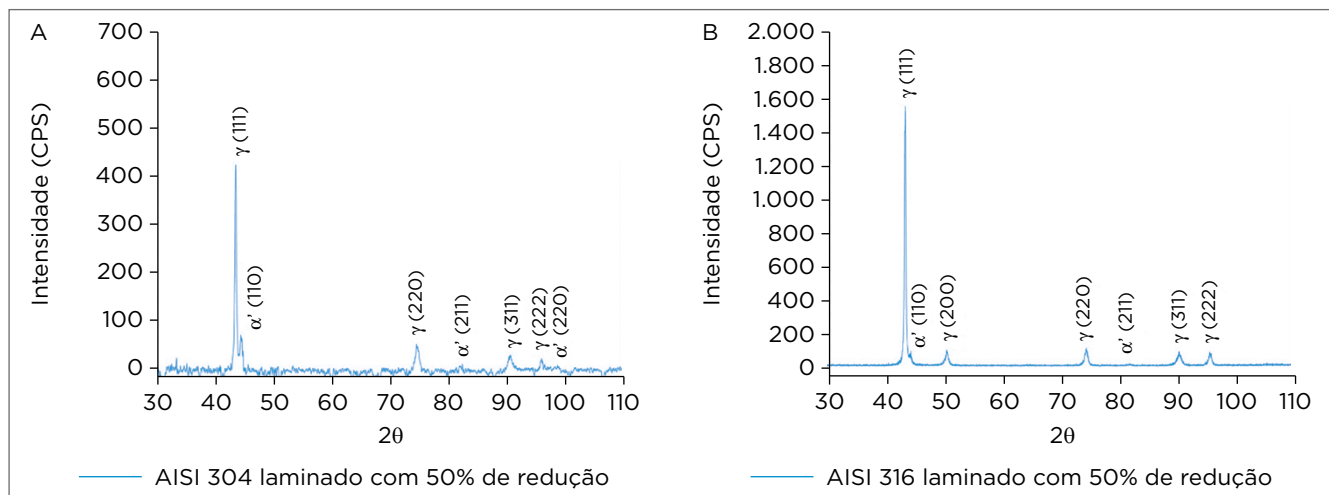


Figura 5. Figuras de difração: (A) AISI 304 laminado com 50% de redução da espessura. (B) AISI 316 laminado com 50% de redução da espessura. Radiação $\text{CuK}\alpha$.

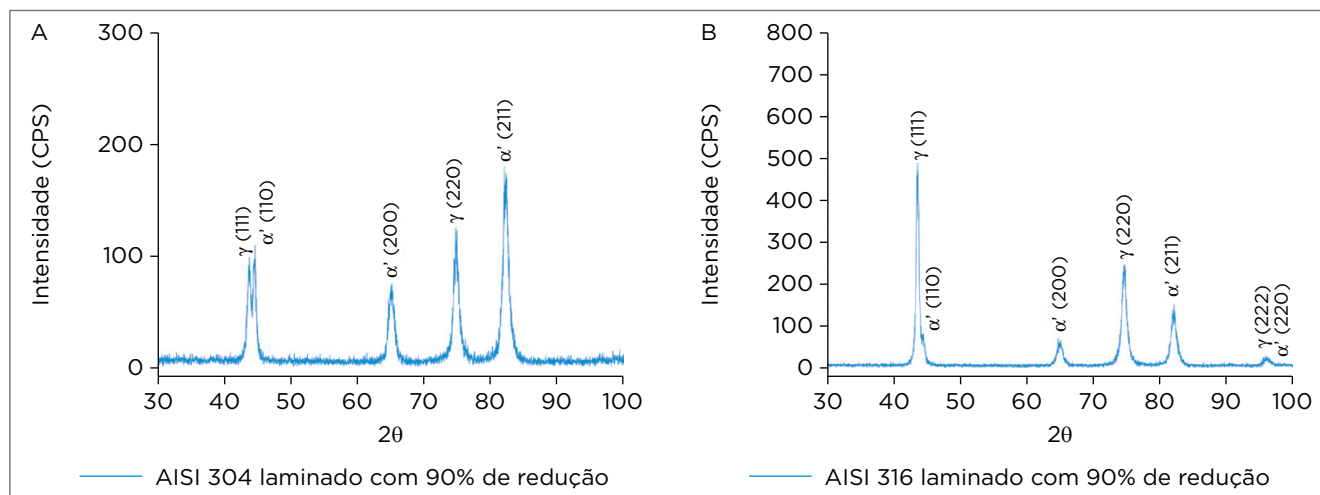


Figura 6. Figuras de difração: (A) AISI 304 laminado com 90% de redução da espessura; (B) AISI 316 laminado com 90% de redução da espessura. Radiação $\text{CuK}\alpha$.

5. CONCLUSÕES

O aço inoxidável austenítico AISI 304 resiste mais ao processamento durante a laminação, uma vez que sua EDE é mais baixa que a do AISI 316 segundo os valores calculados neste trabalho, o que facilita o encruamento do material. Esse resultado também permite prever um encruamento teórico intermediário caso utilize-se um aço inoxidável austenítico 304L, já que este possui EDE intermediária entre o 304 e o 316.

Durante a deformação por laminação, altos níveis de redução promovem elevado alongamento dos grãos e as maiores

frações de martensita α' entre todas as condições de deformação. Esse fato é de suma importância para a laminação de combustíveis nucleares tipo placa.

Todos os processos de deformação promovem altos índices de transformação da austenita em martensita α' para o aço inoxidável AISI 304. Por outro lado, quando submetido à compressão, o aço AISI 316 não apresenta consideráveis frações desse constituinte. Portanto, quando deformado por compressão, o aumento de dureza do aço AISI 316 ocorre por mecanismos clássicos de endurecimento, e não pela formação de martensita induzida por deformação.

REFERÊNCIAS

- ANTUNES, A.E.B.; ANTUNES, L.M.D. Comportamento plástico do aço inoxidável austenítico em baixa temperatura. *Revista Escola de Minas*, v. 60, n. 1, p. 141-147, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0370-44672007000100022>
- BRESCIANI FILHO, E. *Conformação Plástica dos Metais*. 4. Campinas, 1991.
- MURR, L.E. *Interfacial phenomena in metals and alloys*. Estados Unidos: Addison-Wesley, 1975.
- RENARD, K.; JACQUES, P.J. On the relationship between work hardening and twinning rate in TWIP steels. *Materials Science and Engineering: A*, v. 542, p. 8-14, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2012.01.123>
- ŞAHİN, S.; ÜBEYLİ, M. A review on the potential use of austenitic stainless steels in nuclear fusion reactors. *Journal of Fusion Energy*, v. 27, n. 4, p. 271-277, 2008. https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/2008JFuE...27..271S/doi:10.1007/s10894-008-9136-3
- SANTOS, V.O.; TUNES, M.A.; SCHÖN, C.G. Quadro comparativo da integridade estrutural das ligas de zircônio e aços inoxidáveis austeníticos sob irradiação neutrônica. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 2014. *Anais* [...]. São Paulo: ABM, 2014. <https://doi.org/10.5151/1516-392X-24659>

SCHRAMM, R.E.; REED, R.P. Stacking fault energies of seven commercial austenitic stainless steels. *Metallurgical Transactions A*, v. 6, n. 7, p. 1345-1351, 1975. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02641927>

SONG, M.; GUAN, K. Failure analysis of a weld-decayed austenitic stainless steel. *Engineering Failure Analysis*, v. 18, n. 6, p. 1613-1618, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2011.05.019>

TOO, C.H. *Sensitisation of Austenitic Stainless Steels*. Dissertação (Mestrado) - Department of Materials Science and Metallurgy, University of Cambridge, Cambridge, 2002.

ZHOU, X. et al. Phase transformation behavior and microstructural control of high-Cr martensitic/ferritic heat-resistant steels for power and nuclear plants: A review. *Journal of Materials Science & Technology*, v. 31, n. 3, p. 235-242, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2014.12.001>

ZIMMERMANN, A.J.D.O. *Encruamento, recristalização e textura cristalográfica de zircônio puro e da liga Zircaloy-4*. 99f. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.



Figura 10

SIMULADOR DE PASSADIÇO EM EXERCÍCIO DE NAVEGAÇÃO NA BAÍA DE GUANABARA

1. OBJETIVO

A RPN é um periódico científico de publicação anual que apresenta à comunidade científica uma coletânea de estudos desenvolvidos por pesquisadores das áreas científica, tecnológica e de inovação, cujos temas sejam pertinentes às áreas de interesse de CT&I da Marinha do Brasil (MB).

O periódico é publicado pela Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha (DGDNTM) e avaliado pelo Sistema de Classificação de Periódicos, Anais, Revistas e Jornais (QUALIS) da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

2. NORMAS EDITORIAIS

2.1 - Características Gerais

2.1.1 - A publicação de artigos é aberta a pesquisadores, peritentes ou não à MB, que apresentem trabalhos inéditos, isto é, não publicados em quaisquer revistas ou periódicos e cujas áreas de conhecimento sejam, prioritariamente, de interesse do Sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação da Marinha do Brasil (SCTMB), conforme abaixo discriminadas:

a) Sistemas de Armas e Munições

Compreende a capacitação para pesquisar estudar, projetar, desenvolver protótipos e avaliar sistemas de armas e seus componentes *hardware*, controle de armas *software*, armamento de pequeno e médio calibres e munições, necessários às Operações Navais.

b) Ambiente Operacional

Compreende a capacitação para estudar, pesquisar, projetar, desenvolver e inovar modelos, métodos, sistemas, equipamentos, materiais e técnicas que permitam a produção de informações e a ampliação do conhecimento sobre os ambientes oceânico, costeiro, fluvial e lacustre, necessários às Operações Navais.

c) Processos Decisórios

Compreende a capacitação para estudar, pesquisar, projetar, desenvolver protótipos e inovar modelos, métodos, sistemas e técnicas que permitam a produção de informações e a ampliação do conhecimento sobre os processos decisórios, estratégicos, operacionais, gerenciais e de apoio, necessários às Operações Navais.

d) Sensores, Guerra Eletrônica e Guerra Acústica

Compreende a capacitação para estudar, pesquisar, projetar, desenvolver protótipos e inovar sistemas de detecção, de discríção e de contramedidas necessários às Operações Navais.

e) Desempenho Humano e Saúde

Compreende a capacitação para estudar, pesquisar, modelar, projetar e desenvolver protótipos, ampliando o conhecimento biomédico,

farmacotécnico, psicológico, da bioengenharia e da ergonomia, visando a aumentar a capacidade de desempenho, de resistência a situações de pressão e de proteção da saúde do homem quando em combate e dos recursos de treinamento por simuladores.

f) Materiais Especiais

Compreende a capacitação para estudar, pesquisar, projetar e desenvolver protótipos e experimentos de materiais para dificultar a detecção de plataformas, para absorção de energia e proteção e detecção Nuclear, Biológica, Química e Radiológica (NBQR), para processos especiais de soldagem, para emprego na área nuclear, materiais resistentes à abrasão, ao impacto balístico e de materiais energéticos, ou ainda, materiais que possuam outras características físico-químicas especiais.

g) Energia

Compreende a capacitação para estudar, pesquisar, modelar, projetar e desenvolver protótipos e experimentos envolvendo sistemas de geração, exceto nuclear, de acumulação e de distribuição de energia e sistemas de propulsão.

h) Arquitetura Naval e Plataformas

Compreende a capacitação para estudar, pesquisar, projetar, simular e desenvolver protótipos, modelos e experimentos de plataformas navais, anfíbias, terrestres e aéreas, visando à previsão do seu comportamento nas diversas condições do meio ambiente onde atuarão, da configuração de seus sensores e armas e da configuração de seus sistemas de propulsão e governo, necessários às Operações Navais.

i) Cibernética (Tecnologia da Informação) e Comunicações

Esta área compreende dois segmentos: a cibernética (tecnologia da informação) e a tecnologia das comunicações, antes tratadas de forma isolada e atualmente abordadas de forma integrada, considerando a convergência de suas respectivas tecnologias.

O segmento da cibernética, com ênfase na tecnologia da informação, compreende a capacitação para estudar, pesquisar, projetar, simular e desenvolver protótipos, modelos e experimentos, visando ao desenvolvimento e à qualidade do software, à topologia das redes de computadores, à criptologia e às medidas de apoio à guerra cibernética de interesse da Marinha.

O segmento da tecnologia da comunicação compreende a capacitação para estudar, pesquisar, projetar, simular e desenvolver protótipos, modelos e experimentos visando à comunicação de dados e/ou voz e à avaliação de desempenho das comunicações.

j) Nanotecnologia

Compreende a capacitação para estudar, pesquisar, projetar, modelar, simular e desenvolver protótipos e experimentos envolvendo a engenharia do átomo, que leve à criação de elementos, substâncias e materiais inexistentes na natureza e que atendam a necessidades específicas.

k) Nuclear

Compreende a capacitação para estudar, pesquisar, projetar, modelar, simular e desenvolver protótipos e experimentos envolvendo as atividades afetas ao ciclo do combustível nuclear e a geração de energia nuclear para propulsão naval.

2.1.2 - Os autores dos artigos em submissão deverão acompanhar o andamento do processo de seleção e efetuar as solicitações indicadas, por e-mail endereçado à caixa-postal . dgdntm.pesquisanaval@marinha.mil.br.

2.1.3 - O(s) artigo(s) em submissão será(ão) encaminhado(s) ao Conselho Editorial da RPN, por e-mail endereçado(s) à caixa-postal dgdntm.pesquisanaval@marinha.mil.br, em formato digital devidamente assinado(s) pelo(s) autor(es), devendo ser acompanhado(s) do Modelo “Carta para Submissão de artigo”, devidamente assinado.

2.1.4 - O artigo em submissão não poderá ser submetido para publicação em outras revistas, simultaneamente com a RPN, implicando em cancelamento da submissão.

2.1.5 - Os artigos originais serão submetidos à aprovação da Comissão Editorial, sem qualquer identificação de autoria, garantindo que sejam preservados o critério de sigilo do autor e a isenção na submissão para avaliação por pares.

2.1.6 - O processo de seleção dos artigos envolve a avaliação prévia do Conselho Editorial da RPN, quanto ao cumprimento das Normas para Submissão de Artigos Científicos à RPN e da Comissão Editorial, bem como os pareceres apresentados pela Comissão Editorial, que deverão selecionar os artigos a serem publicados.

2.1.7 - No caso de haver número de artigos maior do que o comportado pela edição, os excedentes poderão ser reservados para publicação nas edições subsequentes, sendo esta situação informada aos respectivos autores.

2.1.8 - Após aprovação do artigo em submissão, os autores serão comunicados formalmente e encaminharão ao Conselho Editorial a “Declaração de Responsabilidade e Transferência de Direitos Autorais para Publicação de Artigo na Revista Pesquisa Naval”. No caso de autoria múltipla, a declaração poderá ser assinada apenas pelo autor responsável pela submissão do artigo, o qual se responsabilizará pelos demais.

2.1.9 - A versão final do artigo será adequada ao padrão de formatação gráfico da revista. Não serão fornecidas separatas. Os artigos estarão disponíveis no formato “pdf” no endereço eletrônico da revista.

2.1.10 - Quando da submissão, será solicitado ao autor que enquadre o artigo em uma das áreas de interesse do SCTMB, discriminadas no item 2.1.1. O Conselho Editorial, sempre que julgar necessário, poderá alterar essa indicação.

2.1.11 - A revisão gramatical e a obediência às normas de referência, citadas no item 2.2.16, deverão ser obrigatoriamente providenciadas pelo autor do trabalho, antes de sua submissão. Entretanto, no intuito de zelar pelo padrão culto da língua portuguesa, o Conselho

Editorial da RPN se reserva ao direito de efetuar, nos originais, alterações de ordem normativa, ortográfica e gramatical, respeitando, porém, o estilo dos autores. As provas finais serão enviadas aos autores para a devida ratificação.

2.1.12 - Os autores dos artigos publicados não perceberão qualquer tipo de remuneração ou pró-labore.

2.1.13 - Os trabalhos publicados passam a ser propriedade da RPN, sendo permitida a reprodução parcial ou total dos trabalhos, desde que a fonte seja citada.

2.1.14 - A RPN fica autorizada, em caráter de exclusividade, a publicar os artigos indicados na “Declaração de Responsabilidade e Transferência de Direitos Autorais para Publicação de Artigo na Revista Pesquisa Naval”, encaminhado de acordo com o item 2.1.8, pelo prazo e nas condições ali estabelecidas.

2.1.15 - O Português é o idioma oficial da RPN. Em caráter excepcional, por decisão do Conselho Editorial, poderão ser aceitos trabalhos em outro idioma.

2.1.16 - Os artigos publicados, bem como as opiniões emitidas nesses artigos, são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

2.2 - Características Técnicas

2.2.1 - Os artigos serão submetidos ao Conselho Editorial, conforme item 2.1.3, em arquivo eletrônico gravado na extensão “RTF” (Rich Text Format) e com tamanho máximo de 2 MB.

Formato:

- a) margens: superior e esquerda 3 cm; direita e inferior de 2 cm; e
- b) papel A4 (21cm X 29,7cm).

2.2.2 - A estrutura dos artigos conterá as seguintes seções, na sequência indicada, de acordo com a ABNT/NBR 6022 – Artigo em publicação periódica científica e impressa:

2.2.3 - O artigo possuirá até vinte (20) páginas, incluindo os elementos pré-textuais, texto e pós-textuais.

2.2.4 - **Título:** será breve e suficientemente específico e descritivo, contendo as palavras-chave que representem o conteúdo do texto, acompanhado de sua tradução para o idioma inglês.

Formato: com espaçamento entrelinhas simples, na fonte *Times New Roman*, tamanho 14 em negrito, com efeito itálico para o título em inglês, letras maiúsculas e minúsculas e parágrafo centralizado.

2.2.5 - **Identificação dos autores:** deverá constar o nome completo de cada autor, seguido do título profissional e titulação acadêmica, informação completa sobre a afiliação do autor (incluindo instituição de origem, vínculo funcional, cidade, estado e país) e o endereço eletrônico para contato.

Formato: espaçamento entre linhas simples, fonte *Times New Roman*, tamanho 10, letras maiúsculas e minúsculas e parágrafo centralizado. Aplicar o efeito negrito somente para o nome do autor.

2.2.6 – **Resumo/Abstract:** o resumo elaborado será de caráter informativo, de acordo com a ABNT/NBR 6028 – Informação e Documentação – Resumo - Apresentação, com o máximo de 250 palavras, ressaltando o objetivo, o método, os resultados e as conclusões.

Formato: espaçamento entre linhas simples, fonte *Times New Roman*, tamanho 12, com efeito itálico para o *abstract*, e parágrafo justificado.

2.2.7 – **Referências:** serão apresentadas em ordem alfabética no final do artigo, de acordo com a ABNT/NBR 6023 – Referências – Elaboração. Todas as referências deverão ser citadas no texto de acordo com o sistema alfabético (autor-data).

Formato: espaçamento entre linhas simples, fonte *Times New Roman*, tamanho 12 e parágrafo justificado.

2.2.8 – **Citações:** serão apresentados de acordo Citação: NBR 10520 - Citações em documentos – Apresentação. Nas citações diretas, especificar no texto a(s), página(s), volume(s), tomo(s) ou seção(ões) da fonte consultada. No texto, até três linhas, essas citações devem estar contidas entre aspas duplas. As aspas simples são utilizadas para indicar citação no interior da citação.

As citações diretas, no texto, com mais de três linhas, devem ser destacadas com recuo de 4 cm da margem esquerda, com letra menor que a do texto utilizado e sem aspas.

Nas citações indiretas, a indicação da(s) página(s) consultada(s) é opcional.

2.2.9 – Com o propósito de atender ao item 2.1.5, os elementos textuais do artigo não poderão conter qualquer forma de identificação do(s) autor(es).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

3.1 - Os autores dos artigos em submissão ao respectivo processo de seleção serão oportunamente informados sobre o seu andamento, por e-mail, até a publicação da RPN.

3.2 - Os autores receberão dois exemplares da edição que consta a publicação de seus artigos, considerando que ela também será disponibilizada na versão digital no sítio eletrônico da RPN. Caberá ao Conselho Editorial da RPN a responsabilidade pelo envio das revistas aos autores.

3.3 - Os artigos poderão ser encaminhados a qualquer tempo pelos interessados, com a ressalva de que apenas os trabalhos apresentados até o dia 30 de setembro estarão aptos a concorrer a publicação no ano seguinte.

3.4 - Quaisquer informações adicionais deverão ser encaminhadas à: Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha Assessoria de Relações Institucionais e Comunicação Social Conselho Editorial da Revista Pesquisa Naval Rua da Ponte s/nº Ed. 23 do AMRJ, 2º andar, Ilha da Cobras - Centro CEP 20091-000 - Rio de Janeiro- RJ e-mail: dgntm.pesquisanaval@marinha.mil.br Tel: (21) 2104-7458

MODELO

CARTA PARA SUBMISSÃO DE ARTIGO

Ao Presidente do Conselho Editorial da Revista Pesquisa Naval
Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha
Rua da Ponte s/nº Ed. 23 do AMRJ, 2º andar, Ilha da Cobras - Centro
CEP 20091-000 - Rio de Janeiro- RJ

Assunto: Submissão de Artigo à Revista Pesquisa Naval

Senhor Presidente,

Submeto(emos) para análise desse Conselho, o artigo intitulado “_____”, na área de interesse em CT&I da MB “_____”, de acordo com o inciso 2.1.1 das Normas Editoriais para publicação na Revista Pesquisa Naval.

Identificação do(s) autor(es): nome completo, filiação, função, formação, endereço, telefones de contato, e-mail e resumo do curriculum vitae anexo.

Declaro(amos) que aceito(amos) as normas para submissão de artigos à Revista Pesquisa Naval.

Local, em ___ de _____ de 20__.

assinatura do(s) autor(es) do artigo



MODELO

**DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE
E DE TRANSFERÊNCIA DE DIREITOS AUTORAIS PARA
PUBLICAÇÃO DE ARTIGO NA REVISTA PESQUISA NAVAL**

Ao Presidente do Conselho Editorial da Revista Pesquisa Naval
Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha
Rua da Ponte s/nº Ed. 23 do AMRJ, 2º andar, Ilha da Cobras - Centro
CEP 20091-000 - Rio de Janeiro- RJ

Assunto: Declaração de Responsabilidade e de Transferência de Direitos Autorais para Publicação de Artigo na Revista Pesquisa Naval.

Declaro(amos) que o artigo intitulado “_____”, enviado à Revista Pesquisa Naval, periódico científico da Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha, é um artigo original e o seu conteúdo não está sendo considerado para publicação em outras revistas, seja no formato impresso ou eletrônico.

Certifico(amos) que participei(amos) suficientemente da elaboração do artigo para tornar pública minha(nossa) responsabilidade pelo seu conteúdo.

Cedo(emos), com exclusividade, os direitos autorais do artigo supracitado à Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha, para publicação na Revista Pesquisa Naval, sendo vedada qualquer reprodução, total ou parcial, em qualquer outra parte ou meio de divulgação impressa ou eletrônica, sem que seja obtida, por escrito, a prévia e necessária autorização do Conselho Editorial da Revista.

Aceito(amos) as condições deste termo.

Local, em ___ de _____ de 20__.

assinatura do(s) autor(es) do artigo