

# Engenharias, Ciência e Tecnologia 5

Luís Fernando Paulista Cotian  
(Organizador)



**Luís Fernando Paulista Cotian**

(Organizador)

# **Engenharias, Ciência e Tecnologia**

## **5**

Atena Editora

2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Lorena Prestes

Revisão: Os autores

#### Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

E57 Engenharias, ciência e tecnologia 5 [recurso eletrônico] / Organizador  
Luís Fernando Paulista Cotian. – Ponta Grossa (PR): Atena  
Editora, 2019. – (Engenharias, Ciência e Tecnologia; v. 5)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia.

ISBN 978-85-7247-088-9

DOI 10.22533/at.ed.889193101

1. Ciência. 2. Engenharia. 3. Inovações tecnológicas.  
4. Tecnologia. I. Cotian, Luís Fernando Paulista. II. Série.

CDD 658.5

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de  
responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos  
autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

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

## APRESENTAÇÃO

A obra “Engenharia, Ciência e Tecnologia” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora. O volume V apresenta, em seus 14 capítulos, conhecimentos relacionados a Sustentabilidade, Meio Ambiente e Responsabilidade Social relacionadas à engenharia de produção nas áreas de Responsabilidade Social Organizacional, Sustentabilidade e Sistemas de Indicadores, Desenvolvimento Sustentável em Engenharia de Produção e Meio Ambiente.

A área temática de Sustentabilidade, Meio Ambiente e Responsabilidade Social trata de temas relevantes para a mecanismos que auxiliam na sustentabilidade da organização, envolvendo responsabilidade social e desenvolvimento sustentável. As análises e aplicações de novos estudos proporciona que estudantes utilizem conhecimentos tanto teóricos quanto tácitos na área acadêmica ou no desempenho da função em alguma empresa.

Para atender os requisitos do mercado as organizações precisam levar em consideração a área de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável, sejam eles do mercado ou do próprio ambiente interno, tornando-a mais competitiva e seguindo a legislação vigente.

Aos autores dos capítulos, ficam registrados os agradecimentos do Organizador e da Atena Editora, pela dedicação e empenho sem limites que tornaram realidade esta obra, que retrata os recentes avanços científicos do tema.

Por fim, espero que esta obra venha a corroborar no desenvolvimento de novos conhecimentos de Sustentabilidade, Meio Ambiente e Responsabilidade Social e auxilie os estudantes e pesquisadores na imersão em novas reflexões acerca dos tópicos relevantes na área de engenharia de produção.

Boa leitura!

Luís Fernando Paulista Cotian

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
AQUAPONIA: RELAÇÃO HARMÔNICA ENTRE PEIXES, PLANTAS E BACTÉRIAS	
<i>Thiago Rodrigues Nunes</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8891931011</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>13</b>
COLETA E IDENTIFICAÇÃO DE AMOSTRAS DE ROCHAS SEDIMENTARES DA BACIA ALAGOAS: FORMAÇÕES PENEDO, PORÇÃO, MORRO DO CHAVES, MACEIÓ E BARREIRAS	
<i>Zenilda Vieira Batista</i>	
<i>Mávylla Sandreya Correia Tenório</i>	
<i>Sonia Maria Oliveira Agostinho da Silva</i>	
<i>Débora Cristina Almeida de Assis</i>	
<i>Nayra Vicente Sousa da Silva</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8891931012</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>24</b>
CONSTRUÇÃO DE INFRAESTRUTURA HÍDRICA PARA A CONVIVÊNCIA NO SEMIÁRIDO: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE ÁGUA BRANCA, PARAÍBA	
<i>Adriana Maria dos Santos</i>	
<i>Romulo Wilker Nery de Andrade</i>	
<i>Adriano da Silva Félix</i>	
<i>Polyana Marta da Silva</i>	
<i>Hevelyne Figueirêdo Pereira</i>	
<i>Luara Lourenço Ismael</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8891931013</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>35</b>
DEFENSAS NÁUTICAS DE POLIURETANO VEGETAL	
<i>Graziella Trovati</i>	
<i>Haroldo Silva</i>	
<i>Edgar Aparecido Sanches</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8891931014</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>52</b>
DIAGNÓSTICO DO IMPACTO DA RODOVIA ESTADUAL 132 SOBRE A FAUNA SILVESTRE DA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DA MASSAMBABA E O PARQUE ESTADUAL DA COSTA DO SOL - RJ, BRASIL	
<i>Márcia Ferreira Tavares</i>	
<i>Sávio Freire Bruno</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8891931015</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>59</b>
DIAGNÓSTICO DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DA CIDADE DE DELMIRO GOUVEIA -AL	
<i>Gabriel Dionizio Silva</i>	
<i>Antonio Pedro de Oliveira Netto</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8891931016</b>	

<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>67</b>
DIAGNÓSTICO HIDROGEOQUÍMICO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA BACIA DO RIO GRANDE - BA	
<i>Maíra Sampaio da Costa</i> <i>José Alexandre Araújo Nogueira</i> <i>Sérgio Augusto de Moraes Nascimento</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8891931017</b>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>78</b>
ENGENHARIA E PRÁTICA SOCIAL	
<i>José Geraldo de Souza</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8891931018</b>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>86</b>
ENRAIZAMENTO DE MINIESTACAS DE <i>LECYTHIS PISONIS</i> <i>CAMBESS</i> TRATADAS COM ÁCIDO INDOLBUTÍRICO E ÁCIDO NAFTALENO ACÉTICO	
<i>Cristina Valory da Silva</i> <i>Elzimar de Oliveira Gonçalves</i> <i>Tamyris de Mello</i> <i>Bruna Tomaz Sant'ana</i> <i>Carlos Humberto Desidério Pirovani</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8891931019</b>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>93</b>
PROJETO PILOTO CISTERNAS RURAIS: PARCERIA SAAE – ITAIPU	
<i>Fabio Alexandre Regelmeier</i> <i>Armin Feiden</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.88919310110</b>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>109</b>
REMEDIAÇÃO SUSTENTÁVEL: CARACTERÍSTICAS DAS PUBLICAÇÕES NO PERÍODO DE 1980-2016	
<i>Adan William da Silva Trentin</i> <i>Adeli Beatriz Braun</i> <i>Caroline Visentin</i> <i>Deisi Balestrin</i> <i>Greice Barufaldi Rampanelli</i> <i>Antônio Thomé</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.88919310111</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>121</b>
REMOÇÃO DE CAFEÍNA PRESENTE EM SOLUÇÃO AQUOSA ATRAVÉS DA ADSORÇÃO EM COLUNA DE LEITO FIXO	
<i>Christiano Cantarelli Rodrigues</i> <i>Selêude Wanderley da Nóbrega</i> <i>Washington Lima dos Santos</i> <i>Elyziana Lourenço Lima</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.88919310112</b>	

**CAPÍTULO 13 ..... 133**

TÉCNICAS SUSTENTÁVEIS PARA ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES

*Marconi Lucas da Silva*

*Leandro Vahia Pontual*

**DOI 10.22533/at.ed.88919310113**

**CAPÍTULO 14 ..... 137**

EFEITO DA BIOCIMENTAÇÃO EM SOLO ARENOSO EM RELAÇÃO A DENSIDADE, COMPRESSÃO SIMPLES E HETEROGENEIDADE

*Vinicius Luiz Pacheco*

*Igor Decol*

*Antonio Thomé*

**DOI 10.22533/at.ed.88919310114**

**SOBRE O ORGANIZADOR..... 154**

## DEFENSAS NÁUTICAS DE POLIURETANO VEGETAL

### Graziella Trovati

Universidade de São Paulo, Instituto de Química de São Carlos (IQSC) São Carlos – São Paulo.

### Haroldo Silva

Concessionária de Energia Elétrica do Grupo AES Brasil, AES Tietê Bauru – São Paulo.

### Edgar Aparecido Sanches

Universidade Federal do Amazonas, Departamento de Física, Manaus – Amazonas.

**RESUMO:** O presente trabalho objetivou o estudo e a avaliação das propriedades físico-químicas e o comportamento mecânico de um poliuretano vegetal, derivado do óleo de mamona (*Ricinus communis*), para aplicação em defensas náuticas. A principal finalidade das defensas é operar como amortecedor de impacto. No Brasil, é generalizada a utilização de pneus velhos como defesa, o qual não tem resposta eficiente para o propósito de absorver impactos e, além disso, torna-se um sério problema ambiental quando são perdidos e submergem nas águas. Foram produzidos três modelos de defensas de espuma de poliuretano com célula fechada denominadas pelas respectivas aplicações e dimensões como: defesa lancha, defesa comboio e defesa muro-guia de eclusas. A caracterização do polímero foi realizada pelas técnicas de análise térmica, microestrutural e mecânica. Os

resultados indicam que os materiais possuem excelente estabilidade térmica, estrutura de espuma polimérica semicristalina, poros fechados, baixa densidade e comportamento viscoelástico. Esse comportamento agrega as características desejáveis às defensas, pois quando submetidas à compressão tem a propriedade de absorver quase toda a energia, depois devolvendo aos poucos na fase de restituição.

**PALAVRAS-CHAVE:** defensas, poliuretano, óleo de mamona, eclusas.

**ABSTRACT:** This work was focused on the production and mechanical properties characterization of closed cells polyurethane foams derived from castor (*Ricinus communis*) oil, applied in the nautical fenders manufacture. The main purpose of the fenders is to operate as crashworthiness. In Brazil, the use of old tires as a fender is generalized, they have not efficient response for absorb impacts and also becomes a serious environmental problem when they are lost and submerged in the waters. Three polyurethane closed cell foam fenders models were developed and named by the respective applications and dimensions as: boat, convoy and guide wall fenders. The polymer characterization was performed using thermal analysis, microstructural and mechanical techniques. The results showed



that the material has excellent thermal stability. It is semi crystalline polymer foam, with closed pores and with low density. The viscoelastic behavior becomes desirable characteristics to the defenses, it means that polyurethane foam has the property of absorbing internally almost all energy when subjected to the compression charge cycle and return gradually that energy, restitution stage, during discharge cycle.

**KEYWORDS:** fender, polyurethane, castor oil, sluce.

## 1 | INTRODUÇÃO

A principal motivação para o estudo é mitigar uma série de transtornos e prejuízos associados às atividades marítimas, como a navegação, que utiliza pneus amarrados lateralmente nas embarcações servindo como defensas de proteção lateral. Os pneus usados como sistema de proteção lateral, em decorrência do enorme atrito entre o comboio e a parede lateral eclusa, se desprendem sendo, portanto, frequentemente encontrados submersos nas câmaras de eclusagem (Figura 1).



Figura 1. Exemplo de pneus retirados numa eclusa do Rio Tietê.

A eventual presença desse corpo no vão de fechamento das portas da eclusa pode produzir quebras mecânicas em comandos e acidentes, além da possibilidade de geração de multas ambientais. Sendo, essa uma questão ainda não regulamentada na hidrovia, possivelmente pelas ausências de alternativas que sejam mais eficazes como sistema de proteção lateral, economicamente viáveis e ambientalmente corretos.

O impacto ambiental decorrente da utilização crescente dos materiais de recursos não renováveis é um sério problema a ser resolvido, visto que esses materiais possuem um longo tempo de degradação, ficando acumulados e fazendo com que a poluição ambiental assuma proporções alarmantes. Nesse contexto, o interesse na utilização e na produção de materiais que tenham origem vegetal, principalmente polímeros, com caráter biodegradável e atóxico tem se intensificado com política em diversos setores da sociedade. Os polímeros de poliuretano utilizado nesse trabalho são derivados do óleo de mamona, que é uma matéria prima renovável de origem natural. O óleo de mamona que possui em sua composição 89,5% do triglicerídeo do ácido ricinoléico, é obtido da semente da planta *Ricinus communis*, encontrada em regiões tropicais

e subtropicais sendo muito abundante no Brasil. O ácido ricinoléico apresenta a peculiaridade de ser um dos poucos ácidos graxos naturais cuja estrutura química possui três grupos funcionais altamente reativos: o grupo hidroxila no 12º carbono, a insaturação no 9º carbono e o grupo carbonila no 1º carbono. Partindo do ácido ricinoléico obtém o poliálcool poliéster, matéria prima para a síntese dos poliuretanos, os quais são sintetizados pela reação de policondensação entre poliálcool e pré-polímero (FERINGTON, 1963)

Em virtude do exposto, faz-se necessário o estudo e o desenvolvimento de materiais poliméricos atóxicos que apresentam propriedades térmicas estáveis; grande resistência mecânica; comportamento viscoelástico. Além de materiais ambientalmente corretos e promissores para a proteção lateral de eclusas e embarcações.

### 1.1 Requisitos técnicos para defensas

As defensas têm importância preponderante no processo de acostagem, pois é a primeira fronteira entre as embarcações e a estrutura do porto. Desta forma, sua principal função é a absorção da energia cinética decorrente do impacto para garantir a proteção tanto das estruturas de acostagem como das embarcações. A dissipação da energia, depende do tipo de defesa, pode ocorrer por deformação elástica, sob a forma de calor ou de forças gravíticas ( P. J. ROSA SANTOS, 2010).

A seleção de uma defesa, além de estar relacionada à função principal que é de proteção, deve passar por outros critérios de avaliação como a vida útil ligada a fatores como o clima e intempéries, a frequência de solicitações, a gama de embarcações que nela acostam (M. MIRANDA GODINHO GREGO LEAL, 2010)

Outro aspecto importante a ser considerado, nesta seleção, está relacionado ao ângulo de impacto da embarcação durante a ação de acostagem, uma vez que as defensas são submetidas normalmente a esforços tangenciais. No caso de elevados ângulos de impacto esses esforços podem ocasionar a ruptura da defesa. No caso da hidrovia Tietê-Paraná as normas e procedimentos da Capitania Fluvial do Tietê-Paraná e seus Canais – NPCF/2012 - Anexo XVI, estabelecem que nas operações de acostagem de embarcações, as velocidades limites de aproximação dos muros-guias, para comboios com formação de duas chatas, padrão Tietê, mais empurrador deve ser de 1,00 m/s para a condição de comboio vazio e 0,80 m/s para comboio carregado, com ângulo de aproximação de 12 graus com o eixo longitudinal do muro-guia (CFTP - CAPITANIA FLUVIAL DO TIETÊ-PARANÁ, 2012).

A caracterização técnica de defensas deve estar de acordo com as normas da ABNT, ASTM ou norma equivalente com ensaios de dureza do elastômero, resistência à ruptura, resistência ao rasgamento, resistência à abrasão, resistência ao ozônio, ensaios de compressão, fadiga e durabilidade.

Outra característica desejável em defensas utilizadas pelas embarcações que operam em nossas hidrovias seria a flutuabilidade. O poliuretano utilizado para este fim

pode ser produzido com densidade controlada e desta forma, proporcionar à defesa uma densidade menor que da água permitindo sua recuperação em caso de perdas.

## 1.2 Inovação em defensas

O desenvolvimento e avaliação de materiais poliméricos, atóxicos, derivados do óleo de mamona, matéria prima renovável de origem natural, é o tema que vem sendo abordado pelos autores no estudo e produção de protótipos de defensas para aplicação náutica.

A filosofia de inovação do protótipo está centrada na aplicação de poliuretanos (PU) dedicados à absorção de energia dos choques, definidos como resiliêntes e com uma geometria operacional capaz de converter o atrito estático em atrito dinâmico entre a embarcação e a parede de acostagem.

Uma vez que, a indústria da produção de defensas vem lançando mão de materiais considerados não tradicionais, em substituição a borracha, no caso de algumas aplicações, o poliuretano, derivado do óleo de mamona, pelas suas propriedades físicas e químicas confere às defensas certos atributos, dentre os quais os mais importantes são:

- a) alta absorção de energia e baixa energia de reação - a defesa de espuma pode ser fabricada em vários formatos, tipos e densidades. As espumas de baixa densidade são mais macias e geram forças de reação menores. A estrutura das microcélulas da espuma contém pequenas bolhas de ar, cujo controle define a densidade do polímero final;
- b) fluabilidade - a estrutura das espumas de célula fechada, mesmo perfurada ou danificada, mantém a fluabilidade da defesa, como as células são separadas umas das outras, a água não pode migrar para o interior da espuma em adição destaca-se a pouca solubilidade do poliuretano em água;
- c) reforços - uma camada de reforço e uma de recobrimento pode ser aplicada durante o processo de produção das defensas, fios de nylon ou poliamida são utilizados na camada de reforço. A resistência será em função do número de camadas de filamentos e reforços adicionais podem ser aplicados nos pontos onde as tensões são mais elevadas;
- d) resistência ao desgaste - para aumentar a resistência ao desgaste, principalmente pelo atrito, uma camada externa de acabamento pode ser aplicada a defesa, combinando resistência e desgaste;
- e) segurança - mesmo quando muito solicitadas, as defensas de poliuretano de célula fechada não estouram ou explodem. No caso de um rompimento, perfuração ou rasgamento, as defensas poderão continuar em uso até que reparos possam ser efetuados, normalmente com cola específica;
- f) características gerais - podem ser construídas de acordo as dimensões desejadas, baixa reação e grande absorção de energia, operam de forma

flutuante ou suspensa.

## 2 | FABRICAÇÃO DE DEFENSAS DE POLIURETANO

### 2.3 Matéria-Prima

O poliuretano (PU) utilizado neste trabalho é produto de reação de dois componentes, pré-polímero e polioliol, para formação de espuma de célula fechada. O polioliol foi sintetizado a partir do óleo de mamona e o pré-polímero sintetizado a partir do difenilmetano diisocianato (MDI), associado a uma fração de polioliol, também derivado do óleo de mamona. A relação estequiométrica foi de 1:1,5, respectivamente.

### 2.4 Fabricação dos Moldes

Foram confeccionados três tipos de moldes para a produção das defensas e para a realização de ensaios. Os moldes fabricados possuem formato cilíndrico com as seguintes dimensões:

- Molde 1 – Defesa lancha - ( $\phi \times L$ ) 140 mm x 430 mm;
- Molde 2 – Defesa comboio - ( $\phi \times L$ ) 300 mm x 600 mm;
- Molde 3 – Defesa muro-guia - ( $\phi \times L$ ) 450 mm x 900 mm.



As Figuras 2 a 4 ilustram os respectivos moldes e os componentes de alma interna.

Figura 2. Molde 1, defesa lancha.



Figura 3. Molde 2, defesa comboio vistas interna com alma de corrente.



Figura 4. Molde 3, defesa muro-guia e almas de corrente ou tubular.

Os moldes possuem na parte superior um orifício para injeção do polímero e válvula de controle de expansão dos gases, de modo a assegurar pressão interna na fase de expansão do poliuretano. O crescimento da espuma de PU é realizado na vertical, os volumes dos reagentes definem uma expansão controlada de massa e consequentemente, da densidade final do corpo da defesa.

Na parte central dos moldes foram inseridas as almas tubulares ou de correntes, cuja função é permitir a amarração para a instalação da defesa em campo.

## 2.5 Injeção de Poliuretano

A máquina injetora foi programada para dosar e injetar dois componentes, pré-polímero e polioliol, utilizados na geração de espumas de poliuretano, a partir de uma relação estequiométrica específica. Todo o processo envolveu reações controladas visando à geração, a expansão e a estabilização da estrutura celular do poliuretano. Isso garante a produção de espumas de densidade, porosidade e resistência pré-determinadas segundo as aplicabilidades requeridas.

Antes da injeção do PU os moldes receberam a aplicação de produto desmoldante para facilitar a extração da defesa do molde.

## 2.6 Revestimento de Proteção ao Atrito

O objetivo do reforço superficial é aumentar a resistência da defesa às forças de abrasão a que esta será submetida durante os processos de acostagem e eclusagem. Foram utilizados revestimentos de malha de poliamida como camada de proteção ao atrito para as defensas confeccionadas. A malha de reforço em poliamida foi inserida junto à parede interna dos moldes e, em seguida, injetada a espuma de poliuretano, mantendo-se expansão controlada do polímero. Isso foi realizado durante o próprio processo de injeção do PU, do seguinte modo: a) montagem de um cilindro de manta de poliamida; b) colocação no interior do molde a cerca de 3 cm da parede; c) posterior injeção de PU no molde. Dessa forma, a manta ficou diretamente inserida e fundida na matriz da defesa, com inserção a 3,0 cm ao redor de toda a borda. A Figura 5 ilustra o revestimento utilizado nas defensas.



Figura 5. Molde com a malha de revestimentos em poliamida pronto para a injeção do PU.

## 2.7 Acabamento externo das defensas

Foram realizados testes em algumas defensas com aplicação de camada de PU adesivo, cuja finalidade foi aderir o revestimento de proteção (manta de poliamida) ao corpo das defensas. A intenção foi avaliar a eficiência de resistência da defesa ao atrito e ao intemperismo nas duas condições, sem o revestimento externo e com a aplicação do revestimento externo na defesa, conforme ilustram as figuras 6 e 7, respectivamente.



Figura 6. Defesa sem revestimento.

O PU adesivo utilizado também é derivado do óleo de mamona tendo sido sintetizado a partir do pré-polímero e poliálcool na proporção estequiométrica 1:1.



Figura 7. Defesa com revestimento em poliamida.

## 2.8 Certificação

Os laboratórios credenciados para ensaios de defensas visando à certificação dos produtos foram o IPT e o INMETRO para realizar os testes e ensaios para a certificação de defensas. Por parte do IPT foi utilizado o LEME – Laboratório de Equipamentos Mecânicos e Estruturas, e pelo INMETRO foi o Centro Tecnológico de Polímeros - SENAI/RS.

Os ensaios para a certificação de defensas seguiram as normas da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas e da PIANC (MARITIME NAVIGATION COMMISSION. WORKING GROUP 33, 2002) – International Navigation Association, relacionadas na sequência:

- NBR 11832 – Defensas portuárias e elastômeros: Esta Norma fixa as condições exigíveis para aceitação e recebimento dos elastômeros a serem empregados em defensas portuárias (agosto/1991);

- NBR 8360 – Elastômero vulcanizado - Esta Norma prescreve os métodos estatísticos de determinação do envelhecimento acelerado de elastômeros vulcanizados, em câmara de ozônio (janeiro/1984);

- NBR 7318 – Elastômero vulcanizado para uso em veículos automotores – Determinação da dureza - Esta Norma prescreve os métodos para determinação da dureza de elastômeros vulcanizados, por meio de um durômetro (abril/1982);

- NBR 11927 – Determinação da aderência entre elastômeros vulcanizados e metais – Esta Norma tem por objetivo fixar os procedimentos para verificação da aderência entre elastômeros vulcanizados e metais (1977);

- NBR 11240 – Utilização de defensas portuárias – Esta Norma fixa diretrizes para a utilização de defensas portuárias nas obras de acostagem (agosto/1990);

- NBR 8537 – Espuma flexível de poliuretano – Determinação da densidade – Esta Norma prescreve o método para determinação da densidade aparente de espumas

flexíveis de poliuretano (junho/2003);

- NBR 12828 – Defensas portuárias de elastômeros – Defensas em “V” – Tipos e dimensões – Esta Norma padroniza os tipos e dimensões de defensas portuárias de elastômeros em “V”, especificadas pela NBR 11832, nas condições de trabalho a que devem estar sujeitas (ver NBR 9782, NBR 11240, NBR 12095 e NBR12608) (abril de 1993);

- NBR 13009 – Defensas portuárias de elastômeros – Defensas cilíndricas axiais – Tipos e dimensões – Esta Norma padroniza os tipos e dimensões das defensas portuárias de elastômeros cilíndricas axiais, especificadas na NBR 11832, nas condições de trabalho a que estarão sujeitas (ver NBR 9782, NBR 11240, NBR 11832, NBR 12095, NBR 12608 e NBR 12828) (outubro/1993);

- MB 3436 – Defensas portuárias de elastômeros – Ensaio de compressão – Esta Norma prescreve o método para avaliar o desempenho das defensas, especificadas pela EB-2131, nas condições de trabalho a que estarão sujeitas (ver NB-989 e NB-1289) (setembro/1991);

- NBR 8910 – Espuma flexível de poliuretano – Determinação da resistência à compressão – Esta Norma prescreve o método para determinação da resistência à compressão de espumas flexíveis de poliuretano (junho/2003);

- NBR 8797 – Espuma flexível de poliuretano – Determinação da deformação permanente à compressão – Esta Norma prescreve o método para determinação à compressão de espumas flexíveis de poliuretano (junho/2003);

- NBR 8619 – Espuma flexível de poliuretano – Determinação da resiliência – Esta Norma prescreve o método para determinação da resiliência em espumas flexíveis de poliuretano (junho 2003);

- NBR 12608 – Defensas portuárias de elastômeros – Defensas cilíndricas – Carga lateral – Tipos e dimensões – Esta Norma padroniza os tipos e dimensões das defensas portuárias de elastômeros, cilíndricas, carga lateral, especificadas pela NBR 11832, nas condições de trabalho a que estão sujeitas (NBR 9782, NBR 11240 e NBR 12095, abril 1992);

- NBR 9782 – Ações em estruturas portuárias, marítimas ou fluviais – Esta Norma fixa os valores representativos das ações que devem ser consideradas no projeto de estruturas portuárias, marítimas ou fluviais (março 1987);

- PIANC 1984 – Report on the International Commission for Improving the Design of Fender System, Supplement to Bulletin N° 45 (1984);

- PIANC 2002 – Guidelines for the design of fender systems: 2002 – Report of Working Group 33 of the Maritime Navigation Commission.



### 3 | CARACTERIZAÇÕES DOS POLIURETANOS

Foram realizadas as caracterizações físicas e químicas de todos os poliuretanos aplicados nas defensas, tanto da espuma quanto do adesivo de revestimento. As caracterizações realizadas foram por:

- i) Termogravimetria da espuma e do adesivo: utilizada para avaliar a estabilidade térmica e as etapas de decomposição térmica;
- ii) Microscopia eletrônica de varredura da espuma: objetivou caracterizar a morfologia da espuma, medindo-se os diâmetros dos poros e especificando a geometria da mesma;
- iii) Difração de raios X da espuma: determinação do percentual de cristalinidade da espuma de poliuretano, através da relação entre as áreas relativas dos picos cristalinos e a área total da amostra;
- iv) Ensaio de compressão diametral das defensas: determinação dos diagramas de força e energia em função do deslocamento durante um ciclo de compressão e descompressão;
- v) Ensaio de propriedades: para a espuma - adesão a substrato rígido, compressão e resiliência; para o adesivo: - dureza Shore D, tração, resistência ao ozônio, envelhecimento, intemperismo acelerado e abrasão.

## 4 | RESULTADO

### 4.1 Termogravimetria (TG/DTG)

Os resultados obtidos na análise termogravimétrica realizado na espuma de poliuretano injetada e na resina adesiva são mostrados nas Figuras 8 e 9, respectivamente. Observa-se pelas curvas TG/DTG a perda de massa desse material com o aumento de temperatura, determinando assim o intervalo de temperatura em que este se mantém termicamente estável e seu processo de decomposição.

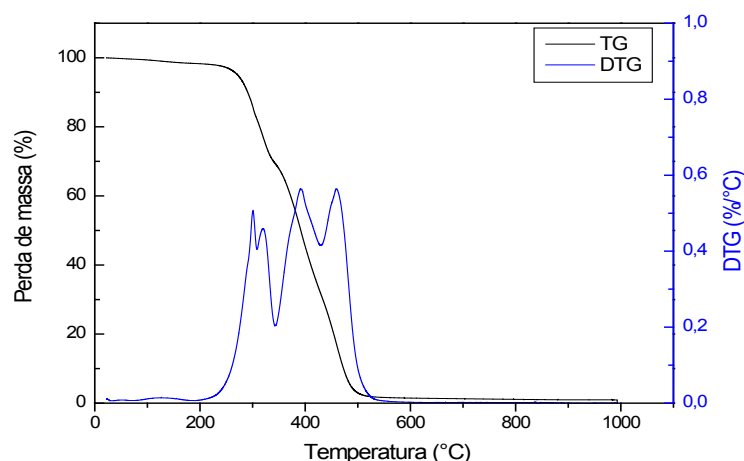


Figura 8. Curva TG/DTG da espuma de poliuretano obtida sob atmosfera dinâmica de N<sub>2</sub>.

A análise térmica da amostra (Figura 8) mostra que a decomposição da espuma de poliuretano se divide em três etapas. A primeira tem início entre a temperatura ambiente e a temperatura de 187°C, correspondente a 1,6 % de massa da amostra a qual pode ser atribuída à água de hidratação. A partir 156°C a 345°C há uma considerável perda de massa em torno de 29% e a terceira ocorre em um intervalo de temperatura de 345-867°C, com uma perda de massa de 68%.

A segunda e terceira etapas de decomposição observadas nas curvas TG/DTG mostram as perdas de massas de grupos de interesse. A segunda etapa mostra dois eventos consecutivos, decorrente da cisão da ligação uretana. De acordo com Dawn'isa et al. (2004) a decomposição da ligação uretânica começa em torno de 200°C. O polioli contribui para degradação em temperaturas maiores (LATERE DWAN'ISA et al., 2004).

A terceira etapa também considerada com dois eventos consecutivos foi relacionada à decomposição dos grupos ésteres do polioli (CANGEMI, 2006; TROVATI et al., 2010)

O estudo termogravimétrico realizado na camada de acabamento externo, resina adesiva. Foram obtidas as temperaturas de inicial e final de perda de massa como ilustra a Figura 9.

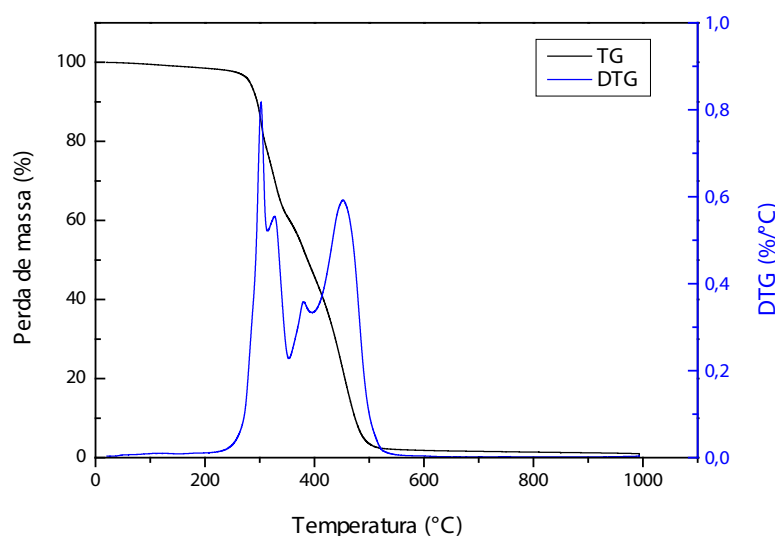


Figura 9. Curva TG/DTG do acabamento externo das defensas, resina adesiva, obtida sob atmosfera dinâmica de N<sub>2</sub>.

A resina adesiva mostra-se estável até a temperatura de 249°C, onde começa a perder massa em duas etapas de decomposição. A primeira etapa, começando em 249°C e terminando em 352°C apresenta uma perda de massa de 37%, referente ao rompimento das ligações uretanas. A segunda etapa inicia-se em seguida e termina em 527°C com uma perda de massa de 58%, consistindo na decomposição das ligações ésteres presentes no polioli. O restante 0,02% de resíduos são devidos à formação de carvão.

Em geral, os poliuretanos se decompõem em dois ou três eventos em atmosfera

inerte. Devido às diferenças estruturais existem variações entre as temperaturas de decomposição apresentadas na literatura (JAVNI et al., 2000; NARINE et al., 2007).

#### 4.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Na avaliação do parâmetro morfológico de espumas de poliuretano produzidas pelo processo de injeção automático se observa a presença de poros com formato esférico, evidencia-se ainda a formação de pele, camada polimérica não espumada, na região interna da espuma (Figuras 10).

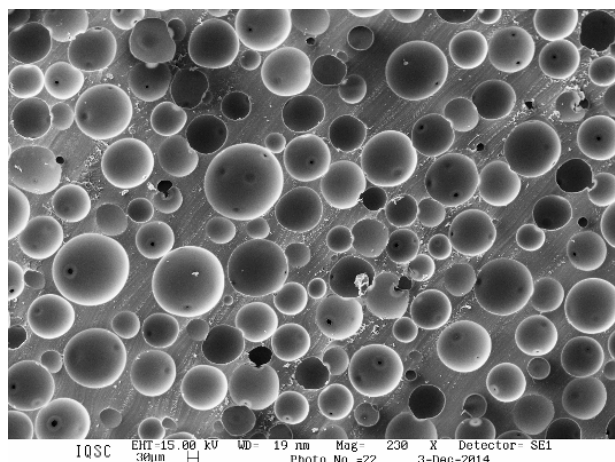


Figura 10. Micrografia de MEV da espuma de poliuretano obtida por processo de injeção, aumento de 230 x.

#### 4.3 Análises de Difração de Raios X e Percentual de Cristalinidade

A difratometria de raios X é o método mais direto para a determinação do percentual de cristalinidade de um polímero por meio da intensidade da radiação espalhada pela amostra (AKECELROD, 2007).

A Figura 12(a) ilustra o difratograma de raios X para a espuma de poliuretano de células fechadas.

O difratograma de pó apresenta um halo amorfo, um pico raso e largo localizado no intervalo entre  $35^\circ$  e  $50^\circ$  em  $2\theta$ , que é proporcional à fração mássica amorfa e as reflexões cristalinas. Enquanto, os picos entre  $8,5^\circ$  e  $19,7^\circ$  em  $2\theta$  integrados representam a fração mássica da região cristalina.

Utilizando-se os dados de difração da Figura 12(a) foi determinada a área amorfa, através da decomposição do perfil de DRX ilustrado na Figura 12(b) como a área abaixo da curva em vermelho. A área abaixo da curva preta ilustra a região semicristalina, estimando que a espuma de poliuretano de célula fechada possua cristalinidade de 33%.

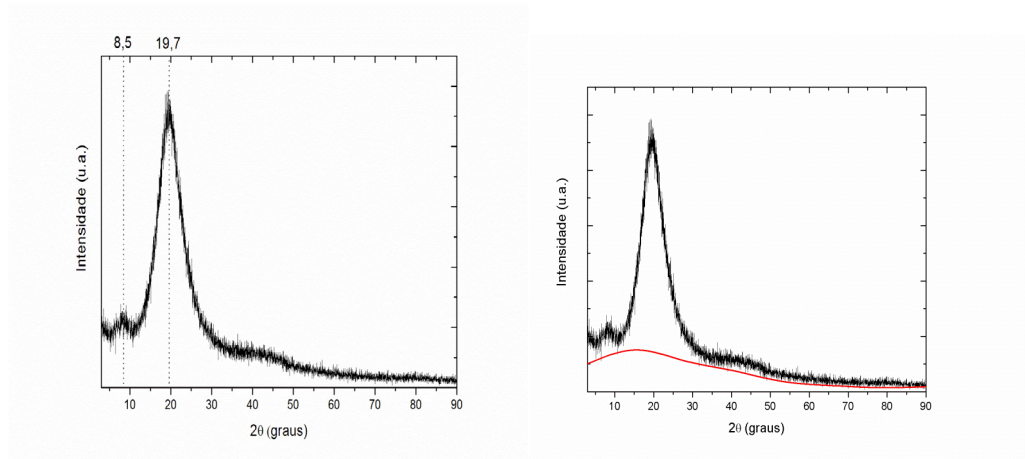


Figura 12. a) Difratoograma da espuma de poliuretano de células fechadas; b) decomposição das contribuições não cristalina e cristalina.

#### 4.4 Compressão Diametral

Ao ensaiarmos um tipo de defesa, é conveniente submetê-la a um ciclo completo de carga e descarga, obtendo o diagrama como o apresentado na Figura 13. A energia absorvida em carga é dada pela área abaixo da curva de compressão (área 0cAB) e a energia restituída em descarga é dada pela área abaixo da curva de descompressão (área 0dAB). De modo que a região interna, histerese, é a energia dissipada (área 0cAd0) no processo sob a forma não mecânica.

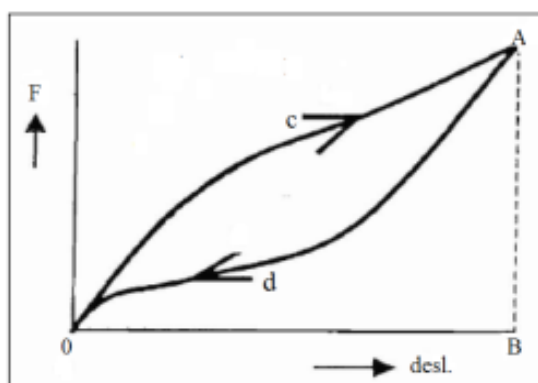


Figura 13. Diagrama de ensaio força x deslocamento (JAYME MASON, 1982).

Os resultados dos ensaios de compressão diametral para defensas lancha, comboio e muro-guia, representados em termos de força aplicada em função do deslocamento das defensas com diferentes velocidades de compressão, estão apresentadas na sequência.

O ensaio da defesa lancha com revestimento de poliamida pela curva de força versus deformação de até 60% do diâmetro original, Figura 14, mostra valores de forças máximas de 151kN; 93kN; 60kN e 32 kN para as respectivas velocidades de compressão de 160 mm/s; 20 mm/s; 6,5 mm/s e 0,5 mm/s.

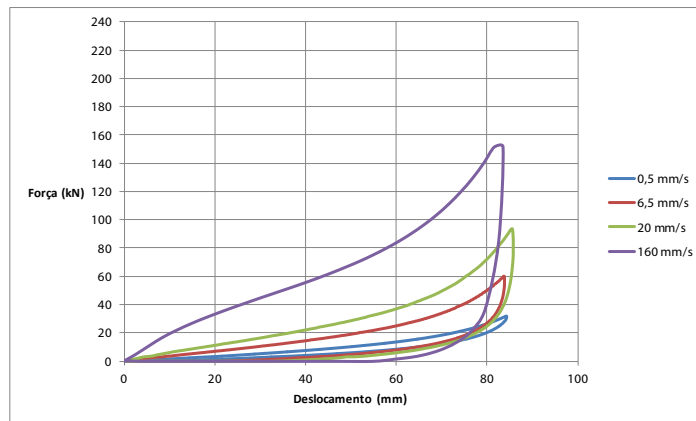


Figura 14. Curvas de força x deslocamento da defesa lancha cilíndrica (140x430mm) com revestimento poliamida.

O resultado obtido no ensaio da defesa comboio está apresentado na Figura 15. Observa-se pela curva que a força máxima aplicada para a defesa comboio sem revestimento foi de 655kN para um deslocamento de 60% do diâmetro original.

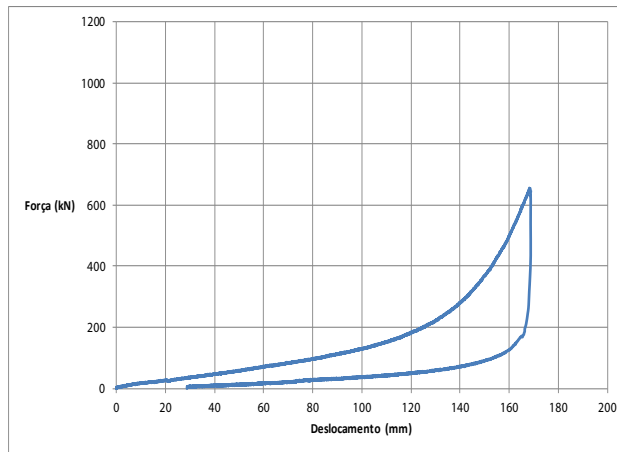


Figura 15. Curva de força x deslocamento da defesa comboio cilíndrica (300x600 mm).

A Figura 16 ilustra o comportamento da defesa muro-guia. Observa-se que para defesa muro guia cilíndrica (450x900mm), a força máxima atingida foi de 1225kN para uma deformação de 60% do diâmetro original.

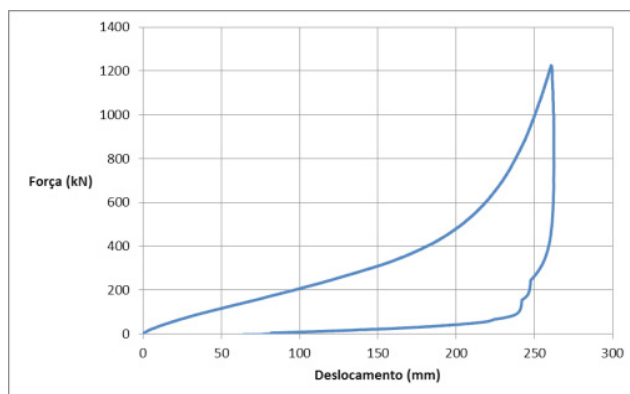


Figura 16. Curva de força x deslocamento da defesa muro-guia cilíndrica (450x900mm).

Assim, observa-se que na região final de deformação da defesa, definida como limite de 60% do diâmetro original, a força cresce assintoticamente. Dentre os aspectos relevantes podemos destacar como importante, a característica de absorção de impactos para as defensas desenvolvidas. De fato, tratar-se de um polímero viscoelástico que quando submetido à carga de compressão tem a propriedade de absorver internamente quase toda a energia, devolvendo aos poucos na fase de restituição. Note que a área embaixo da curva de carga é a energia absorvida e a região de histerese é a energia dissipada. No caso, o PU utilizado tem comportamento de puro absorvedor de energia, aspecto desejável as defensas.

Em outras palavras, o polímero tem baixíssima resiliência. A resiliência é determinada pela quantidade de energia devolvida após o impacto do material com uma massa conhecida, sendo medida pelo ricochete resultante. Um material perfeitamente elástico tem uma resiliência de 100% e um perfeito absorvedor de 0%.

## 5 | CONCLUSÕES

A baixa densidade da espuma concebida pela estequiometria entre polioli e pré-polímero garante a flutuabilidade natural das defensas. Essa característica é particularmente benéfica em áreas com flutuações do nível d'água, de maré ou sazonais, como é o caso de lagos de hidroelétricas, pois garante o auto-ajuste de contato entre a estrutura do muro-guia e a embarcação. Ademais, mesmo se despreendendo das amaras as defensas flutuantes podem ser recuperadas, diferentemente dos pneus.

As curvas termogravimétricas (TG/DTG) mostram que a espuma de célula fechada de poliuretano e a resina adesiva de poliuretano apresentaram estabilidade térmica de 187° e 249°C, respectivamente. Isso indica que abaixo dessas temperaturas os polímeros não apresentam possibilidade de sofrer decomposição térmica.

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) da espuma de poliuretano do processo de injeção revelou que: os poros são fechados, formados de bolhas de gás, que não estouram no final da expansão do polímero, a distribuição diâmetros dos poros é homogênea resultando em uma qualidade superior na estrutura celular para a fabricação das defensas.

Os resultados das curvas força x deformação mostram uma relação linear até 40% de compressão do diâmetro original. Isso sugere o efeito elástico, como se fosse de pequenas molas de resposta ao esmagamento das células. Por outro lado, a partir de 40% até o limite de 60% de deformação em relação ao diâmetro original, predomina o efeito viscoso sugerindo ações de resposta de rearranjo estrutural ou deformação da matriz polimérica. Primordialmente, a principal característica e vantagem constatada nas defensas de espuma de poliuretano é o aumento proporcional da relação entre a força de reação e a absorção de energia. Essa relação promove baixa pressão no casco da embarcação e na estrutura de acostagem (cais). As defensas de poliuretano

são capazes de dissipar internamente uma parcela significativa de energia, isso assegura que o efeito de rebote entre a embarcação e o cais durante a ancoragem é minimizado.

Os resultados mostram que os protótipos de defensas de poliuretano produzidos absorvem mais de 90% da energia do choque e sua capacidade de restituição ao formato original é cerca de dois minutos após cessar a força de compressão.

Dados comparativos entre defensas de poliuretano comerciais e essas desenvolvidas com poliuretano vegetal mostraram que os protótipos possuem uma eficiência até dez vezes superior na absorção de energia.

O sistema de defensas desenvolvido deve produzir reflexos econômicos imediatos. Entre os quais se destacam: a melhoria da proteção da infraestrutura portuária e hidroviária (portos, cais e eclusas); a eliminação de riscos de acidente produzidos por pneus submersos que podem gerar o travamento de comportas de eclusas; a mitigação dos efeitos de atrito e conseqüentemente de produção de faíscas, que no caso de transposição de cargas inflamáveis, pode ser foco para incêndios e explosões.

Ademais, também merece destaque a questão da proteção dos ambientes aquáticos. Os pneus velhos são ineficientes como defensas, porém, como tem custo zero não há preocupação quando são perdidos e submergem nas águas. A eliminação do uso de pneus velhos como defensas é de plano muito relevante, visualmente poluem as águas e meio ambiente.

Certamente, os pneus carecem de ser banidos dessa aplicação. As defensas de PU de óleo de mamona são atóxicas, flutuantes, recuperáveis e eficientes no amortecimento de impactos.

## REFERÊNCIAS

AKECELROD, L. **Fundamentos da ciência dos polímeros**. 1. ed. Barueri: Manole, 2007.

CANGEMI, J. M. **Biodegradação de Poliuretano Derivado do Óleo de Mamona**. [s.l.] São Paulo - USP, 2006.

CFTP - CAPITANIA FLUVIAL DO TIETÊ-PARANÁ. **Normas e Procedimentos da Capitania Fluvial do Tietê-Paraná**, 2012.

FERINGTON, T. E. Textbook of polymer science (Billmeyer, Fred W., Jr.). **Journal of Chemical Education**, v. 40, n. 9, p. A670, set. 1963.

JAVNI, I. et al. Thermal stability of polyurethanes based on vegetable oils. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 77, n. 8, p. 1723–1734, 22 ago. 2000.

JAYME MASON. **Obras portuárias**. 2ª ed. ed. Rio de Janeiro: [s.n.].

LATERE DWAN'ISA, J. P. et al. Biobased polyurethane and its composite with glass fiber. **Journal of Materials Science**, v. 39, n. 6, p. 2081–2087, 2004.

M. MIRANDA GODINHO GREGO LEAL. **Dimensionamento de defensas marítimas.** [s.l.] Porto, 2010.

MARITIME NAVIGATION COMMISSION. WORKING GROUP 33. **No Title Guidelines for the Design of Fender Systems.** [s.l.: s.n.].

NARINE, S. S. et al. Physical Properties of Polyurethanes Produced from Polyols from Seed Oils: I. Elastomers. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 84, n. 1, p. 55–63, 14 jan. 2007.

P. J. ROSA SANTOS. **Análise da interação de navios com dispositivos de acostagem e amarração. Estudo em modelo físico do posto A do terminal de petroleiros do porto de Leixões.** [s.l.] p, 2010.

TROVATI, G. et al. Characterization of polyurethane resins by FTIR, TGA, and XRD. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 115, n. 1, p. 263–268, 5 jan. 2010.



Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-088-9



9 788572 470889