

# Pesquisa Científica e Inovação Tecnológica nas Engenharias

Franciele Braga Machado Tullio  
(Organizadora)



**Atena**  
Editora

Ano 2019

# Pesquisa Científica e Inovação Tecnológica nas Engenharias

Franciele Braga Machado Tullio  
(Organizadora)



**Atena**  
Editora  
Ano 2019

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação:** Geraldo Alves

**Edição de Arte:** Lorena Prestes

**Revisão:** Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

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

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná

Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Msc. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Msc. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Msc. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Msc. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
 Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
 Prof. Msc. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
 Prof. Msc. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
 Prof<sup>a</sup> Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
 Prof. Msc. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
 Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
 Prof<sup>a</sup> Msc. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
 Prof<sup>a</sup> Msc. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
 Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
 Prof. Msc. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
 Prof. Msc. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá  
 Prof. Msc. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
 Prof<sup>a</sup> Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
 Prof<sup>a</sup> Msc. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

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

P474 Pesquisa científica e inovação tecnológica nas engenharias [recurso eletrônico] / Organizadora Franciele Braga Machado Tullio. – Ponta Grossa PR: Atena Editora, 2019. – (Pesquisa Científica e Inovação Tecnológica nas Engenharias; v. 1)

Formato: PDF  
 Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
 Modo de acesso: World Wide Web  
 Inclui bibliografia  
 ISBN 978-85-7247-902-8  
 DOI 10.22533/at.ed.028200601

1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. 2. Inovações tecnológicas.  
 3. Tecnologia. I. Tullio, Franciele Braga Machado. II. Série.

CDD 658.5

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

Atena Editora  
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
 contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

A obra “Pesquisa Científica e Inovação Tecnológica nas Engenharias 1” contempla vinte e três capítulos em que os autores abordam pesquisas científicas e inovações tecnológicas aplicadas nas diversas áreas de engenharia.

Os resultados obtidos através de pesquisas científicas trazem benefícios a sociedade e promovem inovações tecnológicas, surgindo como uma engrenagem nas engenharias.

O estudo sobre o comportamento de determinados materiais sob determinadas situações permite avaliar e otimizar seu uso, proporcionando o controle das condições ideais, bem como viabilizando a utilização de determinadas matérias primas. Por sua vez, essas matérias primas podem trazer benefícios ao meio ambiente, bem como trazer resultados econômicos satisfatórios.

A avaliação de propriedades físicas e mecânicas de materiais permite também a sua utilização em diversos segmentos da engenharia, proporcionando o desenvolvimento de novos produtos, trazendo benefícios a sociedade.

Diante do exposto, esperamos que esta obra traga ao leitor conhecimento técnico de qualidade, fazendo com que o leitor reflita sobre o uso das pesquisas científicas e as inovações tecnológicas no desenvolvimento social, e faça uso dessas ferramentas na melhoria de qualidade de vida na sociedade.

Franciele Braga Machado Tullio

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
<b>AÇÃO CORROSIVA DE SOLOS DO SUL DO BRASIL SOBRE ESTRUTURAS METÁLICAS</b>	
Jessica Oliveira Ayres Matthews Teixeira Coutinho Devai Luciana Machado Rodrigues	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0282006011</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>10</b>
<b>ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PAINÉIS AGLOMERADOS CONFECCIONADOS COM PINUS, EUCALIPTO, BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR E ADESIVO POLIURETANO DERIVADO DE ÓLEO DE MAMONA</b>	
Estéfani Suana Sugahara Ana Laura Soler Cunha Buzo Raissa Pravatta Pivetta Sérgio Augusto Mello da Silva Elen Aparecida Martines Morales	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0282006012</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>21</b>
<b>ANÁLISE EXPERIMENTAL EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO REFORÇADAS AO CISALHAMENTO COM LAMINADOS DE PRFC</b>	
Nara Villanova Menon Maicon de Freitas Arcine Juliana Penélope Caldeira Soares	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0282006013</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>35</b>
<b>CARACTERIZAÇÃO DE ARGAMASSA DE REVESTIMENTO DE FACHADA EM EDIFÍCIO LITORÂNEO COM EXPANSÃO, FISSURAÇÃO COM ESFARELAMENTO E BAIXA RESISTÊNCIA MECÂNICA: ESTUDO DE CASO</b>	
Renato Freua Sahade Fabiano Ferreira Chotoli Sérgio Soares de Lima Priscila Rodrigues Melo Leal	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0282006014</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>45</b>
<b>CARACTERÍSTICAS E DESEMPENHO DA VERMICULITA NA CONSTRUÇÃO</b>	
Paula Thais dos Santos Felix	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0282006015</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>55</b>
<b>PINUS E EUCALIPTO PARA CONSTRUÇÕES LEVES EM MADEIRA (WOODFRAME) NO BRASIL: COMPARATIVOS, POSSIBILIDADES E DESAFIOS</b>	
Mirna Mota Martins Júlia Cruz da Silva Matheus Fernandes Lima Rita Dione Araújo Cunha	

**CAPÍTULO 7 ..... 68**

**ANÁLISE DE COMPORTAMENTO DO DESLIZAMENTO PINO SOBRE DISCO DO AÇO ISI 4140 X H13**

Eric Elian Lima Espíndola  
Andrey Coelho das Neves  
Beatriz Seabra Melo  
Vinicius Silva dos Reis  
Milena Cristina Melo Carvalho  
Brenda Thayssa Figueira Daniel  
Rodrigo Ribeiro Lima  
Edgar Costa Cardoso  
Aécio de Jesus Monteiro dos Santos  
Emerson Rodrigues Prazeres  
José Maria do Vale Quaresma

DOI 10.22533/at.ed.0282006017

**CAPÍTULO 8 ..... 81**

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DO TIPO COSTANEIRAS DE CORYMBIA CITRIODORA PARA APLICAÇÃO EM MÓVEIS E COMPONENTES DECORATIVOS**

Matheus Fernandes Lima  
Mirna Mota Martins  
Julia Cruz da Silva  
Sandro Fábio Cesar  
Rita Dione Araújo Cunha

DOI 10.22533/at.ed.0282006018

**CAPÍTULO 9 ..... 94**

**AVALIAÇÃO DE PROJETOS DE PAINÉIS EM MADEIRA PARA REVESTIMENTO DE FACHADAS: RECOMENDAÇÕES PARA O DETALHAMENTO CONSTRUTIVO**

Mônica Duarte Aprilanti  
Simone Fernandes Tavares  
Akemi Ino

DOI 10.22533/at.ed.0282006019

**CAPÍTULO 10 ..... 108**

**COMPARTIMENTAÇÃO HORIZONTAL UTILIZANDO PLACAS DE SILICATO DE CÁLCIO DE ALTA DENSIDADE**

Lilian Cristina Ciconello  
Luciana Alves de Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.02820060110

**CAPÍTULO 11 ..... 121**

**INCIDÊNCIA DE DESCOLAMENTO EM REVESTIMENTOS CERÂMICOS ADERIDOS EM FACHADAS: CONTRIBUIÇÃO PARA O PROJETO E A PRODUÇÃO**

Luciana Alves de Oliveira  
Luciana Araújo Mauricio Varella  
Renato Freua Sahade

DOI 10.22533/at.ed.02820060111

**CAPÍTULO 12 ..... 133**

COMPARAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO PARALELO ÀS FIBRAS DO *Eucalyptus urograndis*: CORPOS DE PROVA ISENTOS DE DEFEITOS X PEÇAS ESTRUTURAIS

Fabiana Yukiko Moritani  
Carlito Calil Junior

**DOI 10.22533/at.ed.02820060112**

**CAPÍTULO 13 ..... 145**

*CROSS LAMINATED TIMBER* VS CONCRETO: RESISTÊNCIA MECÂNICA A COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS E DENSIDADE

Aliane Cardoso de Almeida  
Rafaele Almeida Munis  
Jessé Salles Lara

**DOI 10.22533/at.ed.02820060113**

**CAPÍTULO 14 ..... 158**

DUREZA JANKA COMO ESTIMADOR DA DENSIDADE APARENTE E DAS RESISTÊNCIAS À FLEXÃO E COMPRESSÃO EM EUCALIPTO

Takashi Yojo  
Cassiano Oliveira de Souza  
Maria José de Andrade Casimiro Miranda  
Sergio Brazolin

**DOI 10.22533/at.ed.02820060114**

**CAPÍTULO 15 ..... 167**

ESTUDO COMPARATIVO DOS EFEITOS DE NANOFIBRAS DE SÍLICA, OBTIDAS VIA SBS, E ARGILA MONTMORILONÍTICA EM POLIAMIDA 66

Edvânia Trajano Teófilo  
Gabriel Lucena de Oliveira  
Radamés da Silva Teixeira  
Cláudio Bezerra Martins Júnior  
Rosiane Maria da Costa Farias  
Aline Vasconcelos Duarte  
Ellen Cristine Lopes da Silva Bento  
Raí Batista de Sousa  
Francisco Diassis Cavalcante da Silva  
Francisca Maria Martins Pereira

**DOI 10.22533/at.ed.02820060115**

**CAPÍTULO 16 ..... 178**

ESTUDO DAS FORÇAS DE CORTE NO MICROFRESAMENTO DO AÇO INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO AISI 316L

Milla Caroline Gomes  
Márcio Bacci da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.02820060116**

**CAPÍTULO 17 ..... 185**

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE FORNO DIDÁTICO PARA FUNDIÇÃO DE ALUMÍNIO

Carlos Eduardo Costa  
Jefferson Maiko Luiz

Ivan Rodrigues dos Santos  
Emerson da Silva Seixas  
Milton Luis Polli

**DOI 10.22533/at.ed.02820060117**

**CAPÍTULO 18 ..... 194**

QUANTIFICAÇÃO DE HIDROGÊNIO EM CORPOS DE PROVA DE UM AÇO ARBL  
PARA ENSAIOS DE PUNÇIONAMENTO ESFÉRICO

Luiz Fernando Maia de Almeida  
Rosenda Valdés Arencibia  
Sinésio Domingues Franco

**DOI 10.22533/at.ed.02820060118**

**CAPÍTULO 19 ..... 200**

METODOLOGIA PARA MONITORAMENTO DA PRÉ-TRINCA POR FADIGA NO  
ENSAIO SNTT

Guilherme Bernardes Rodrigues  
Waldek Wladimir Bose Filho  
Sinésio Domingues Franco  
Rosenda Valdés Arencibia

**DOI 10.22533/at.ed.02820060119**

**CAPÍTULO 20 ..... 206**

BIOSSORÇÃO DE METAIS PESADOS UTILIZANDO A MICROALGA *Synechococcus  
nidulans*

Juliana Silveira de Quadros  
Paulo Fernando Marques Duarte Filho  
Fernando Junges

**DOI 10.22533/at.ed.02820060120**

**CAPÍTULO 21 ..... 216**

DISTRIBUIÇÃO BIDIMENSIONAL DA PROFUNDIDADE DE MISTURA NO  
RESERVATÓRIO DE LAJEADO, TOCANTINS

Marcelo Marques  
Elaine Patricia Arantes  
Fernando Oliveira de Andrade  
Alexandre Kolodynskie Guetter  
Cristhiane Michiko Passos Okawa  
Isabela Arantes Ferreira

**DOI 10.22533/at.ed.02820060121**

**CAPÍTULO 22 ..... 227**

ESTUDO PROSPECTIVO E TECNOLÓGICO DA GERAÇÃO DE SYNGAS  
UTILIZANDO CATALISADORES

Munique Gonçalves Guimarães  
Grace Ferreira Ghesti  
Camila Lisdália Dantas Ferreira

**DOI 10.22533/at.ed.02820060122**

**CAPÍTULO 23 ..... 240**

**UTILIZAÇÃO DE PELÍCULAS COMESTÍVEIS NA CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DE MORANGOS**

Tatiane Barbosa dos Santos

Matheus Luis Ferrari

Marcio Eduardo Hintz

João Paulo Brazão Gianini

Rafael Rodrigo Bombardelli

Idiana Marina Dalastra

**DOI 10.22533/at.ed.02820060123**

**SOBRE A ORGANIZADORA..... 251**

**ÍNDICE REMISSIVO ..... 252**

## ANÁLISE DE COMPORTAMENTO DO DESLIZAMENTO PINO SOBRE DISCO DO AÇO ISI 4140 X H13

Data de aceite: 25/11/2019

**José Maria do Vale Quaresma**

Universidade Federal do Pará – FEM – GPEMat

Belém – Pará

**Eric Elian Lima Espíndola**

Universidade Federal do Pará – FEM – GPEMat

Belém – Pará

**Andrey Coelho das Neves**

Universidade Federal do Pará – FEM – GPEMat

Belém – Pará

**Beatriz Seabra Melo**

Universidade Federal do Pará – FEM – GPEMat

Belém – Pará

**Vinicius Silva dos Reis**

Universidade Federal do Pará – FEM – GPEMat

Belém – Pará

**Milena Cristina Melo Carvalho**

Universidade Federal do Pará – FEM – GPEMat

Belém – Pará

**Brenda Thayssa Figueira Daniel**

Universidade Federal do Pará – FEM – GPEMat

Belém – Pará

**Rodrigo Ribeiro Lima**

Universidade Federal do Pará – FEM – GPEMat

**Edgar Costa Cardoso**

Universidade Federal do Pará – FEM – GPEMat

Belém – Pará

**Aélcio de Jesus Monteiro dos Santos**

Universidade Federal do Pará – FEM – GPEMat

Belém – Pará

**Emerson Rodrigues Prazeres**

Universidade Federal do Pará – FEM – GPEMat

Belém – Pará

**RESUMO:** Este artigo tem como objetivo apresentar a análise sobre a resistência ao desgaste por um par seco de aço x aço quando ocorre variação de força normal. O método utilizado para realizar os testes de desgaste deslizante foi o teste pino sobre disco, mantendo constante a dureza do pino e do disco (340 e 380 HV, respectivamente), com 05 testes para cada par pin-para-disco, em função de 02 (dois) valores de carga normal (35 N e 70 N). Para a realização dos ensaios foram utilizados pinos de aço ABNT 4140 com 5 mm de diâmetro por 15 mm de comprimento e discos de aço ABNT H13 medindo 76 mm de diâmetro por 4 mm de espessura. O estudo mostrou que com o aumento da força normal os fatores analisados também apresentaram crescimento, os pinos, principalmente, com a carga aplicada de 70 N sofreram um aumento muito alto atingindo uma diferença de 120% no nível de endurecimento quando comparado com o material antes do teste.

**PALAVRAS-CHAVE:** Coeficiente de atrito, Desgaste deslizante, Carga normal.

**ABSTRACT:** This paper aims to present to the analysis about the resistance to wear by dry a steel x steel pair when normal force variation occurs. The method used to perform the sliding wear tests was the pin-on-disk test, keeping the pin and disk hardness constant (340 and 380 HV, respectively), with 05 tests for each pin-to-disk pair, as a function of 02 (two) normal load values (35 N and 70 N). To perform the tests were used ABNT 4140 steel pins with 5 mm diameter for 15 mm in length and ABNT H13 steel discs measuring 76 mm in diameter by 4 mm in thickness. The study showed that with the increase of normal force the analyzed factors also presented growth, the pins, mainly, with the applied load of 70 N suffered a very high increase reaching a difference of 120% in the level of hardening when compared with the material before the test.

**KEYWORDS:** Coefficient of friction, Sliding wear, Normal load.

### 1 | INTRODUÇÃO

O aprofundamento dos fenômenos tribológicos facilita e esclarece a maneira pela qual o desenvolvimento da saúde industrial dos sistemas mecânicos deve ser tratado, através da quantificação de parâmetros e sistematização de métodos de prevenção de falhas tribológicas.

Holmberg and Folkesson (1991) apontam que falhas mecânicas de componentes e especialmente falhas tribológicas, como falhas de desgaste e atrito, são uma das principais causas de parada e indisponibilidade de sistemas de produção.

Como dito pela NADCA (1997). O aço H13 utilizado para moldes de injeção e extrusão de metais a quente como alumínio, zinco e cobre, com também no processo de conformação a quente em prensas e martelos. A composição química do aço H13 mostra: grande temperabilidade, boa resistência ao desgaste em temperaturas elevadas, excelente tenacidade, grande resistência ao amolecimento pelo calor, boa usinabilidade na categoria de aços ferramenta, excelente resistência à choques térmicos devidos à aquecimentos e resfriamentos contínuos, de tal forma que o aparecimento trincas térmicas seja reduzido.

As características do aço AISI H13 ditas pela ASM (1992) ajudam a manter a dureza e resistência ao desgaste a temperaturas elevadas, visto que o mesmo faz parte de uma classe de aços de médio carbono com elementos de liga adicionais. Todos os graus contem cromo; graus H20 a H39 contém tungstênio e H42 contém 5wt % Mo. Todos os aços para trabalho a quente são profundamente endurecíveis. Aplicado normalmente em elevadas temperaturas, como em ferramentas de forjamento e extrusão, dummy blocks, etc.

Segundo Rocha (2004) o aço SAE 4140 empregado em componentes que

precisam de elevada dureza, resistência e tenacidade em operação, sendo de uso recorrente na fabricação de automóveis, aviões, virabrequins, bielas, eixos, engrenagens, armas, parafusos, equipamentos para petróleo, dentre outros. Visto que possui características tais como alta temperabilidade, má soldabilidade e usinabilidade razoável; além disso, este aço apresenta boa resistência mecânica em atividades de torção e fadiga, e a dureza na condição temperada varia de 54 a 59 HRC (677 a 579 HV).

As características apontadas pela ASM (1992) e por ROCHA (2004) mostram que a interação entre o aço AISI H13 e AISI H13 é de interesse para melhores análises do desgaste dos materiais, visto as situações no qual são empregados na indústria.

Dessa forma, a pesquisa é importante porque o tipo de teste utilizado neste trabalho, pino-em-disco, é relevante, a aplicação do mesmo na indústria é comumente vista, especialmente em equipamentos onde o contato é contínuo como em materiais de usinagem e processos de trefilação.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia de trabalho dos experimentos foi dividida em duas fases, sendo a primeira composta pelos testes realizados na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), onde foram realizadas todas as etapas de coleta de dados para a análise.

Os pinos utilizados nos testes, adquiridos na condição temperada (com dureza em torno de 440 HV), foram padronizados para obter a dureza média de 340 HV, com 5 mm de diâmetro por 15 mm de comprimento proposta pelos parafusos de aço ABNT 4140 de alta resistência. para os testes. Os discos utilizados nos ensaios foram obtidos a partir de uma barra de aço redonda ABNT H13 (aço ferramenta), medindo 76 mm de diâmetro por 4 mm de espessura, na qual foram submetidos a tratamento térmico para obtenção de dureza (380 HV). Figura 1 mostra um pino e um disco após o ensaio.



Figura 1. Pino e disco utilizados no ensaio.

Fonte: GRUPO GPEMAT

Os corpos de prova após o tratamento térmico de têmpera mais revenido, com austenitização em 1050 °C por 1 hora, variando-se as temperaturas e os tempos de revenido para obter dureza (380 HV) foram usinados, medindo-se a dureza dos corpos, sendo o corpo de menor dureza (mais macio): pinos de aço ABNT 4140 e corpo mais duro: discos de aço ABNT H13. Antes do teste pino-sobre-disco, o equipamento foi calibrado, após dez (10) etapas de teste, com 05 testes para cada par pino-disco, em função de 02 (dois) valores de carga normal (35 N e 70 N). Assim, os valores de força de atrito e coeficiente de atrito em função do tempo para cada teste foram calculados por meio de um programa específico e a perda de massa para cada corpo de prova foi medida, para os ensaios de desgaste foram utilizadas as recomendações da norma ASTM G-99 (G-99-90, 1992).

A figura 2 mostra uma ilustração esquemática do ensaio pino sobre disco. O equipamento funciona por um eixo acoplado a um motoredutor que proporciona um movimento rotativo induzido em um disco que possui. A máquina, desenvolvida pelo grupo, possui um braço de alavanca no qual tem finalidade de fixar o pino, o qual pode ser colocado em contato com o disco rotativo, que gira em uma rotação constante de 40 rpm e velocidade tangencial constante de 0,1 m/s. Apresenta também a funcionalidade de aplicação da carga normal sobre o pino, por meio do braço de alavanca, seja através de placas circulares ou peso morto. Por último, o equipamento apresenta células de carga para medir a carga normal e a tangencial (atrito). Os dados registrados pelas células de carga são monitorados e armazenados em um computador, equipado com um programa que faz a leitura e registra os dados de força de atrito a cada segundo, durante o ensaio.

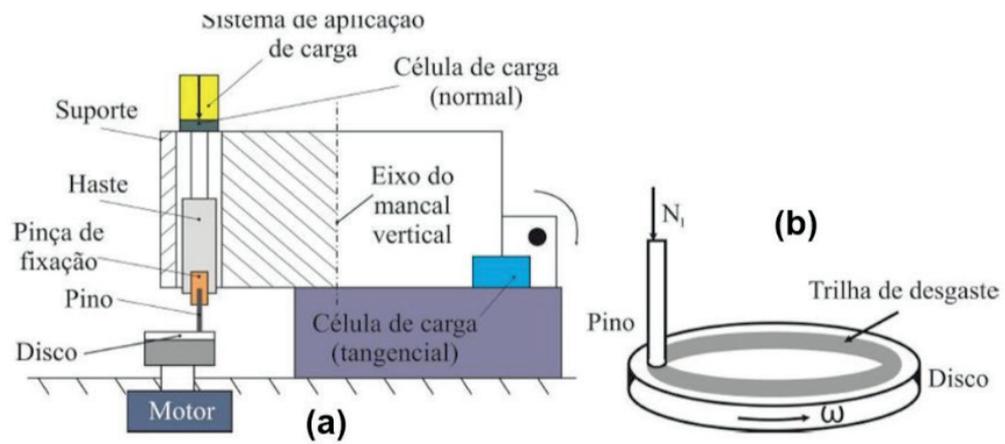


Figura 2. Esquema ilustrado do equipamento a) e do contato e b) do ensaio pino disco.

Fonte: VIÁFARA, 2010.

A base das atividades na segunda fase foi a Universidade Federal do Pará e o Museu Emílio Goeldi (CNPq), onde foram tratados os dados coletados e a análise dos resultados obtidos.

A taxa de desgaste das amostras foi calculada, de modo que o efeito do desgaste nos corpos submetidos aos testes de deslizamento foi medido por meio de medidas de perda de massa dos pinos e discos desgastados, com o auxílio de uma escala especial com uma precisão de 0,00001 g. Medições de microdureza em superfícies desgastadas e não testadas ocorreram em um microdurômetro digital, fabricado pela Microtest S.A sendo o modelo HV-1000B, com carga de 50 g, para estipular o endurecimento sofrido por partes desgastadas da superfície nos testes.



Figura 4. Microdurômetro.

Fonte: GRUPO GPEMAT.

A figura 3 mostra um esquema das quatro regiões em que serão feitas as

medições de microdureza nos pinos e discos.

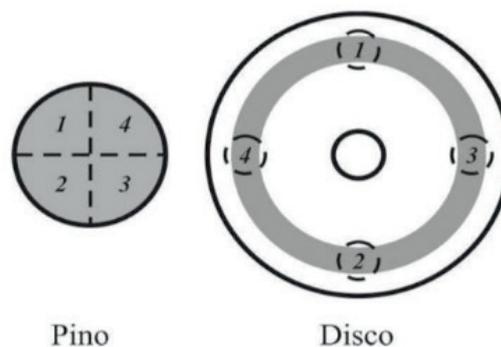


Figura 3. Esquema ilustrativo das regiões das medições de microdureza.

Fonte: VIÁFARA, 2010.

Utilizando o recurso de MEV (Microscópio Eletrônico de Varredura), realizou-se a caracterização das superfícies desgastadas, nas quais é possível perceber a mudança no comportamento de desgaste das superfícies, com a variação normal de força aplicado.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos testes foram utilizados para determinar parâmetros para a pesquisa como: curvas de coeficiente de atrito em função do tempo, curvas de perda de massa, curvas de desgaste, micrografias de superfícies de MEV, perfis e parâmetros de rugosidade e microdureza (HV). A partir desses dados, o comportamento dos espécimes foi analisado pela aplicação de diferentes cargas.

Os períodos de rodagem são observados no início da interação entre duas superfícies e um regime de atrito permanente, no qual o coeficiente de atrito tende a ser constante. A Figura 5 mostra o gráfico todas as curvas de coeficiente de atrito em função do tempo de deslizamento (3.600 s) para a carga normal de 35 N e dureza de disco e pino de 380 HV e 340 HV, respectivamente.

Pode-se observar também que os períodos de running-in, que acontece no início da interação entre duas superfícies, no qual ocorre nos primeiros 400s no gráfico e de regime permanente de atrito, característica dos ensaios de desgaste por deslizamento. O período de running-in foi considerado como aquele que marca o começo da estagnação do comportamento crescente do coeficiente de atrito. A Figura 5 também mostra curvas de coeficiente de atrito em função do tempo de deslizamento (900 s) para a carga normal de 70 N.

A diminuição do tempo de deslizamento para a carga de 70 N, em comparação com a carga de 35 N, ocorreu devido à alta taxa de desgaste do pino durante o teste, assim evitando a perda total de o pino testado.

Para uma análise mais detalhada, apenas um teste será referenciado para cada carga. A Figura 6 mostra que com o aumento da carga aplicada, de 35 N para 70 N, o período de amaciamento se torna menor, o regime de atrito permanente apresenta maiores valores de coeficiente e apresenta menor variação. Observa-se também que a amplitude do coeficiente de atrito torna-se menor com o aumento da carga aplicada, conforme mostrado por uma região marcada.

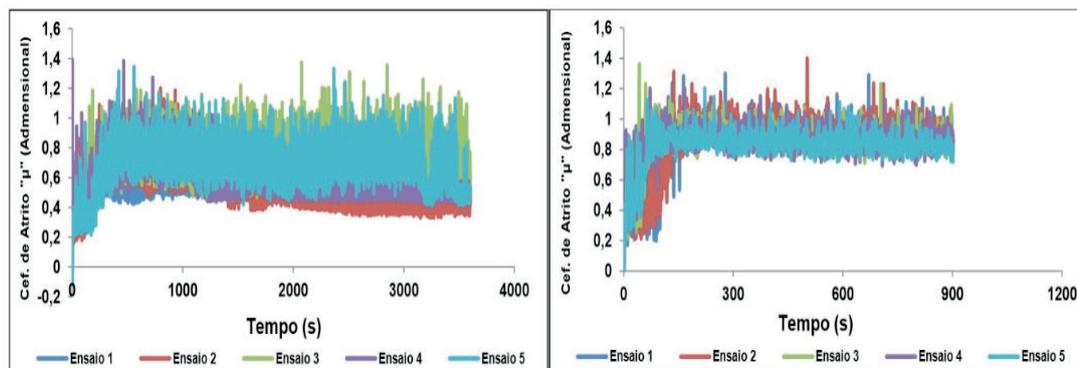


Figura 5. Curvas de coeficiente de atrito em função do tempo de deslizamento sob uma carga normal de 35 e 70 N, respectivamente.

Fonte: GRUPO GPEMAT.

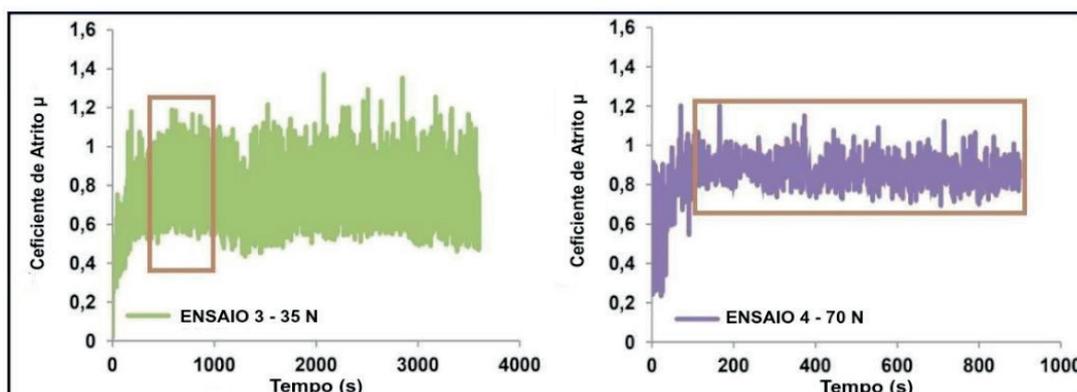


Figura 6. Valores do coeficiente de atrito para os ensaios 3 e 4 em função do tempo de deslizamento sob uma carga normal de 35 N e 70 N, respectivamente.

Fonte: GPEMAT GROUP.

A tabela 1 faz um resumo dos valores calculados do coeficiente de atrito no regime permanente para cada ensaio, bem como a média e o desvio padrão (DesvPad), em seguida a fig. 7 apresenta um gráfico comparando esses valores.

PINO 340 HV X DISCO 380 HV		
	Coeficiente de atrito ( $\mu$ )	
Ensaio	35 N	70 N
1	0,50	0,90
2	0,53	0,92
3	0,75	0,87
4	0,57	0,87
5	0,70	0,85
<b>Média</b>	<b>0,61</b>	<b>0,88</b>
<b>DesvPad</b>	0,11	0,03

Tabela 1. Coeficientes de atrito médios no regime permanente para cada ensaio estudado.

Fonte: GRUPO GPEMAT.

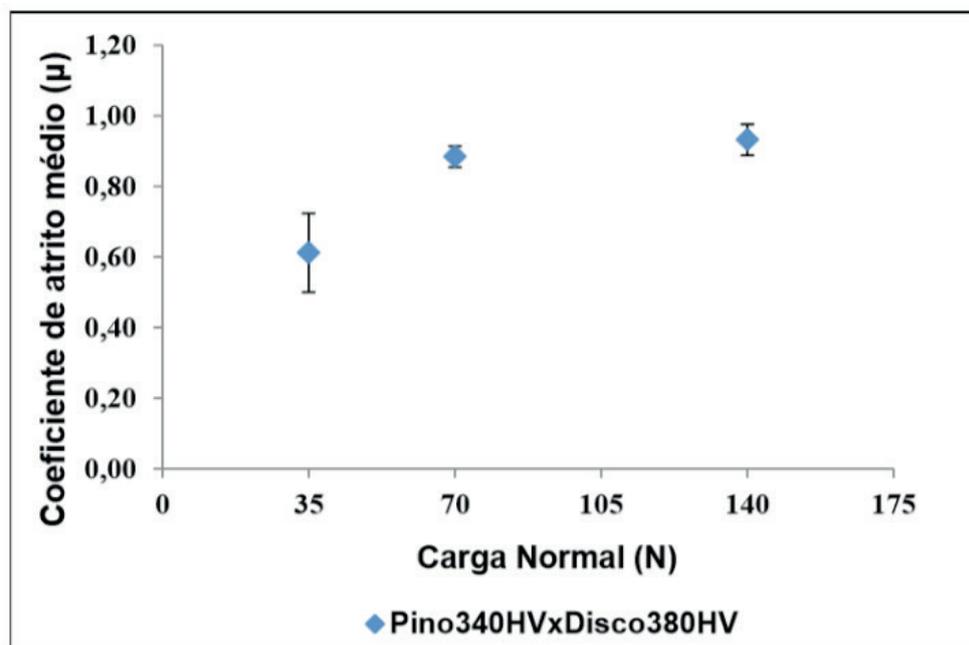


Figura 7. Comparação dos coeficientes de atrito médio no regime permanente para cada ensaio estudado.

Fonte: GRUPO GPEMAT.

### 3.1 Desgaste

O efeito de desgaste nas amostras submetidas aos testes de deslizamento é representado pelas medições de perda de massa de pinos e discos desgastados. Para a carga normal de 35 N, o tempo de escorregamento foi de 3.600 s. O desgaste é muito pronunciado durante o teste 4 para a carga de 70N, o dobro do usado no teste 3, o que reduziu o tempo de escorregamento para 900s. Como a carga normal de 70 N, duas vezes a usada no teste 3, era muito alta para o teste, decidiu-se reduzir o tempo de escorregamento para 900 s nos outros quatro testes.

Os gráficos da fig. 8 mostram os resultados da perda de massa média (em mg / m) para os pinos e discos, após cinco repetições de testes de deslizamento, para as

duas cargas normais aplicadas. Observa-se que os gráficos mostram comportamento similar, a perda de massa para os pinos é maior que nos discos. Com a força de 70 N, a perda de massa do pino começa a obter valores maiores em relação ao disco.

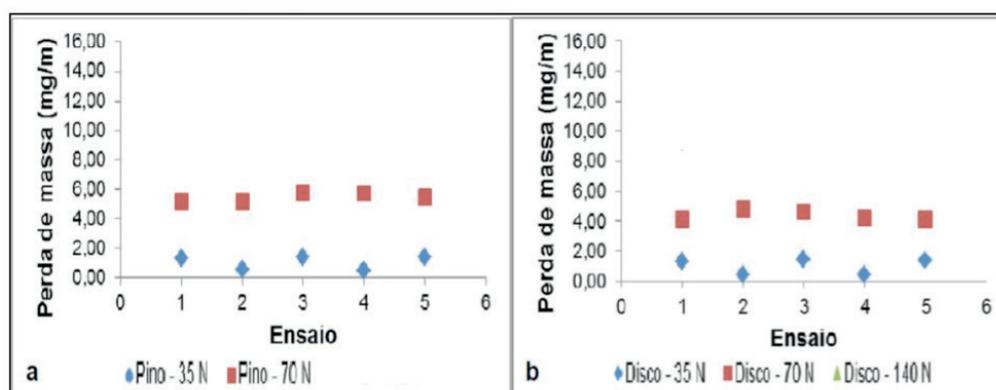


Figura 8. Resultados da perda de massa dos pinos (a) e discos (b) após os cinco testes de desgaste deslizante, com uma dureza de 380 HV.

Fonte: GRUPO GPEMAT.

A tabela 2 faz um resumo e mostram os valores de perda de massa para cada ensaio, bem como a média e desvio padrão. Nelas percebe-se a variação em cada condição, confirmando o comportamento apresentado no gráfico anterior.

PERDA DE MASSA (mg/m) DOS PINOS (340HV) E DISCOS (380 HV)				
Ensaio	Carga 35 N		Carga 70 N	
	Pino	Disco	Pino	Disco
1	1,35	1,35	5,17	4,17
2	0,55	0,46	5,19	4,83
3	1,38	1,44	5,79	4,61
4	0,53	0,42	5,75	4,25
5	1,40	1,42	5,48	4,18
<b>Média</b>	<b>1,04</b>	<b>1,02</b>	<b>5,48</b>	<b>4,41</b>
<b>Desvpad</b>	<b>0,46</b>	<b>0,53</b>	<b>0,29</b>	<b>0,30</b>

Tabela 2. Resultados de perda de massa (em mg/m) de todos os ensaios pino 340 HV x disco 380 HV, para as três cargas normais aplicadas.

Fonte: GRUPO GPEMAT.

### 3.2 Análise da superfície desgastada

O estudo das superfícies dos espécimes foi feito por meio do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV). Um par pin-para-disco foi usado para cada condição de teste. Nestas imagens é visto como a mudança no comportamento de desgaste das superfícies é afetada com o aumento da força normal aplicada.

A figura 9 mostra imagens do MEV de um par pino-disco, pode-se ver nas imagens dos pinos as marcas de deformação plástica que são melhor evidenciadas (a) na imagem, no aumento da carga a imagem ( b) mostra além da deformação plástica também a formação das bordas laterais (c) e (d) removidas no modo de elétrons secundários (es) mostra maiores expansões da região de desgaste com a variação da carga aplicada.

A superfície do disco (e) mostra a presença de partículas removidas do pino (mais macio) juntamente com marcas de deformação plásticas, menos evidentes do que na superfície do pino. Com o crescimento normal da força, a superfície do disco (f) mostra marcas muito mais pronunciadas de adesão e deformação plástica.

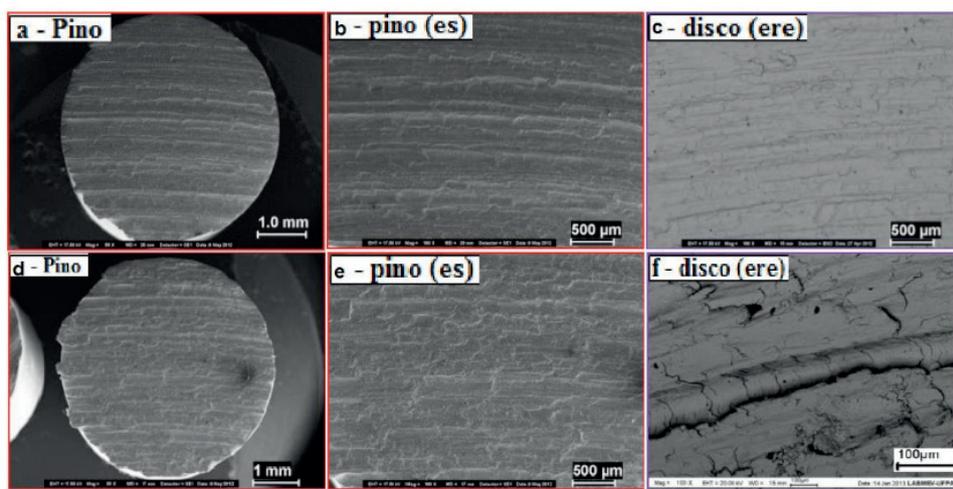


Figura 9. Imagens (MEV) das superfícies desgastadas de um par de discos de 340 pinos x 380 HV, carga normal de 35 N e 70 N, (a) e (b) superfícies de pinos com cargas diferentes. Imagens do pino em elétrons secundários em (c) e (d). Imagens do disco em elétrons retro espalhados (e) e (f).

Fonte: GRUPO GPEMAT.

Para mostrar de forma resumida como o desgaste afeta o deslizamento nas superfícies ensaiadas, construiu-se um quadro comparativo na fig. 10 com as micrografias do MEV destacando as principais diferenças entre os mecanismos de desgaste atuantes nos pinos e discos.

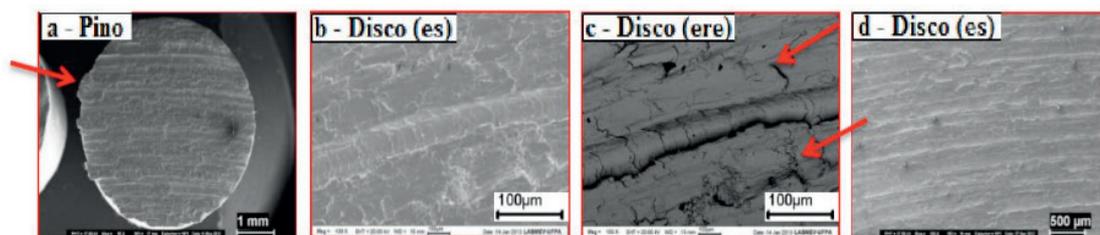


Figura 10. Comparação das micrografias do MEV das superfícies desgastadas. (a) Pino ensaiado com carga de 70 N; (b) Disco ensaiado com carga de 70 N (modo elétrons secundários); (c) Disco ensaiado com carga normal de 70 N (modo elétrons retro espalhados); (g) Disco ensaiado com carga de 35 N (modo elétrons secundários).

Fonte: GRUPO GPEMAT.

Analisando a fig. 10, observam-se claramente as principais diferenças nas micrografias. Nas micrografias “a” e “b” têm-se um pino e um disco, respectivamente, do mesmo ensaio. Neles são percebidas fortes marcas de deformação plástica, típicas de um mecanismo severo de desgaste, criando bordas nas laterais do pino (seta vermelha) e marcas de desgaste acentuadas no disco. Outras características importantes são mostradas na micrografia “c”. Trata-se de imagem do disco no modo elétrons retro espalhados, nas quais é possível de perceber trincas de deformação (seta vermelha) na micrografia, causadas provavelmente pelo contato metálico contínuo entre o pino e o disco, em uma carga normal alta (70 N). A micrografia “d” é de um disco ensaiado com carga normal 35 N, onde pode-se observar marcas de deformação plástica e pequenas partículas de adesão.

### 3.3 Medidas de microdureza

As superfícies desgastadas foram caracterizadas por medidas de microdureza nas trilhas de desgaste. A figura 11 (a) mostra um gráfico de microdureza em função da carga normal aplicada. Os valores de microdureza para a carga normal 0 N correspondem aos valores nas regiões dos corpos de prova que não foram submetidos aos testes, de modo que foi possível comparar quanto a dureza foi modificada após o desgaste.

O gráfico da fig. 11 (a) mostra que os valores de microdureza dos pinos são próximos aos dos discos e que aumentaram com o aumento da carga normal aplicada. Este aumento na dureza pode estar relacionado a uma deformação plástica a frio.

Para fazer uma comparação da magnitude do endurecimento nas superfícies desgastadas, foi estipulado o incremento da microdureza em termos percentuais. Os resultados mostraram que o disco apresentou uma microdureza maior que a do pino nas duas cargas normais aplicadas, embora o pino tenha mais enrijecimento (média de 101%) que o disco (média de 45%) em todas as cargas aplicadas. Além disso, observa-se que os pinos possuem maior variação de dureza do que os discos para as cargas normais aplicadas.

A figura 11 (b) mostra o gráfico da plotagem de endurecimento de pinos e discos para cada carga normal aplicada no disco rígido de 380 HV, os resultados foram calculados por meio medida a dureza antes e pós ensaio, a variação da dureza é o encruamento. Acredita-se que o pino apresenta uma variação de dureza maior quando comparado ao disco por ter sido flexionado excessivamente durante seus ciclos do ensaio, sendo exposto além de seus parâmetros de projeto.

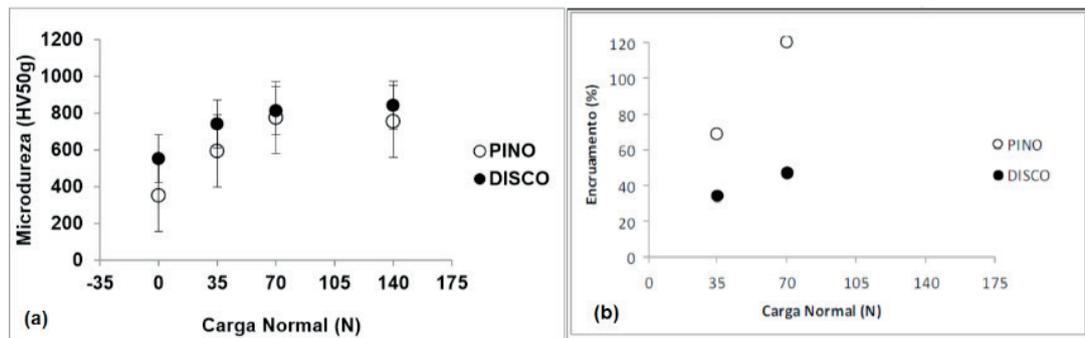


Figura 11. Gráfico de microdureza das superfícies do disco do pino 340 HV x 380 HV em função da carga normal (a) e Variação do encruamento nas superfícies do par pino 340 HV x disco 380 HV em função da carga normal (b).

Fonte: GRUPO GPEMAT.

#### 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo evidencia o comportamento comum entre os parâmetros, com o aumento da carga normal aplicada há o crescimento dos valores de coeficiente de atrito, perda de massa, microdureza e maior desgaste mostrado pelo MEV. Há uma considerável diferença entre elas na diminuição da rodagem, isto é, devido ao fato de uma forte aderência das superfícies, em que se provoca uma deformação plástica dos pinos.

O valor do coeficiente de atrito no regime permanente apresenta as mesmas características de acordo com o aumento da força normal, visto que a média dos coeficientes de atrito é de 0,61 e 0,81 para as cargas de 35 N e 70 N, respectivamente. O aumento ocorre em consequência à diminuição do tempo de amaciamento.

Note que com o aumento da carga, a perda de massa dos pinos aumenta em relação aos discos do mesmo teste, nas cargas de 35, 70 N os discos tiveram média de 1,02 e 4,41 mg/m, respectivamente, enquanto os pinos tiveram medias de 1,04, 5,48 mg/m, respectivamente, pode-se observar que os pinos sofreram uma taxa de desgaste (perda de massa), mas acentuada do que os discos, devido ao fato de o pino apresentar menor dureza que o disco.

A micrografia apresenta, com o aumento da carga aplicada, marcas notáveis de deformação plástica e de adesão, característica de um mecanismo de desgaste severo, assim foram cada vez mais evidentes o surgimento de sulcamentos e trincas causadas pelo forte contato metálico contínuo.

Os resultados de microdureza mostram pouca variação quando a carga aplicada aumenta. Para os discos houve ligeiro aumento de endurecimento, já que os pinos no teste com a força de 70 N obtiveram muito maior endurecimento, o alto encruamento nos pinos, visto que o aumento percentual médio foi de 101 %, bem elevado em comparação ao disco que teve um aumento médio de 45%, está

possivelmente relacionado a uma maior interação com as asperezas.

## AUTORIZAÇÃO/RECONHECIMENTO

Ao submeter o trabalho, os autores Eric Elian Lima Espíndola, Matheus José Araújo de Souza, Beatriz Seabra Melo, Vinicius Silva dos Reis, Clóvis Iarlande Oliveira Santana, Carlos Vinicius de Paes Santos, Emerson Rodrigues Prazeres, José Maria do Vale Quaresma tornam-se responsáveis por todo o conteúdo da obra.

## REFERÊNCIAS

ASM HANDBOOK. **Friction, Lubrication, and Wear Technology**, vol. 18. ASMInternational Handbook Committee, EUA, 1992.

HOLMBERG, K; FOLKESSON, A. **Operational reliability and systematic maintenance**. London: Elsevier Applied Science, 1991.

LEITE, M.V. **Conformação mecânica: efeito da topografia na transferência de material e no atrito**. Tese (Doutorado em engenharia mecânica) - Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2010.

NADCA. **Recommended Procedures for H13 Tool Steel**, EUA, 1997.

ROCHA, M. A. C. **Análise das propriedades Mecânicas do aço SAE 4140 com estrutura bifásica**. 2004. 10f. Artigo (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2004.

VIÁFARA, C.C., SINÁTORA, A. **The effect of hardness of sliding bodies on the wear regime transition of steels**. First International Brazilian Conference on Tribology TriboBr, 2010, Rio de Janeiro, Brazil.

## **SOBRE A ORGANIZADORA**

**Franciele Braga Machado Tullio** - Engenheira Civil (Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG/2006), Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho (Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/2009, Mestre em Ensino de Ciências e Tecnologia (Universidade Tecnológica federal do Paraná – UTFPR/2016). Trabalha como Engenheira Civil na administração pública, atuando na fiscalização e orçamento de obras públicas. Atua também como Perita Judicial em perícias de engenharia. E-mail para contato: francielebmachado@gmail.com

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Aço inoxidável 178, 181  
Aproveitamento de costaneira 81  
Argamassa de revestimento 35, 36, 42, 44, 45  
Argila montmorilonítica 167, 168

### C

Carga normal 68, 71, 73, 74, 75, 77, 78, 79  
Cisalhamento 21, 23, 24, 27, 31, 32, 33, 34, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 203, 217  
CLT 97, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 155, 156, 157  
Coeficiente de atrito 68, 71, 73, 74, 79  
Comparação 7, 13, 14, 23, 40, 56, 57, 58, 61, 63, 73, 75, 77, 78, 79, 86, 133, 135, 140, 145, 206, 209, 244, 245, 247  
Compartimentação horizontal 108, 110, 111, 118  
Compressão 24, 25, 28, 29, 33, 48, 114, 115, 135, 137, 145, 147, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 158, 159, 160, 161, 164, 165, 166, 201  
Concreto 21, 22, 23, 24, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 37, 44, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 61, 97, 117, 118, 123, 145, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 190  
Concreto armado 21, 22, 23, 33, 34, 37, 123, 148, 156, 157  
Conforto acústico 45  
Conforto térmico 45, 47, 50, 53, 122  
Construção civil 12, 18, 22, 23, 36, 44, 45, 49, 50, 51, 52, 55, 56, 57, 59, 65, 96, 97, 98, 108, 110, 128, 132, 144, 145, 146, 147, 149, 150, 156, 187  
Construções leves 55, 56, 60, 61, 65, 66  
Corrosão 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 23, 112, 113, 181, 195  
Corymbia citriodora 81, 82, 83, 84, 85, 92, 93  
Cura 15, 22, 35, 43, 44, 145, 152, 156

### D

Densidade 5, 10, 12, 13, 15, 16, 18, 47, 51, 63, 108, 110, 111, 113, 114, 115, 145, 149, 150, 151, 153, 155, 156, 157, 158, 160, 161, 162, 163, 165, 166, 187, 190, 191, 207  
Descolamento 31, 32, 33, 38, 121, 124, 125, 126, 127, 128, 130, 131, 132  
Desgaste deslizante 68, 76  
Detalhe construtivo 94  
Durabilidade 36, 50, 56, 57, 64, 94, 96, 97, 98, 99, 103, 106, 107, 115, 122  
Dureza Janka 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166

### E

Eletroquímica 1, 2, 196, 197  
Ensaio de caracterização 35, 39, 40, 42

Escória 35, 41, 43, 44, 188

Eucalipto 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 55, 56, 57, 58, 59, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 82, 93, 101, 136, 144, 148, 158, 159, 160, 161

## F

Fachadas de edifícios 121, 123, 132

Fachadas em madeira 94, 95, 96, 100

Fiação por sopro em solução 167, 168, 169, 170, 171, 176

Flexão 10, 13, 17, 21, 24, 31, 32, 114, 135, 136, 137, 141, 142, 143, 158, 159, 160, 161, 163, 164, 165, 166, 201

Forças de corte 178, 179, 180, 181, 183

Forno didático 185, 191, 192

## M

Madeira 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 24, 52, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 81, 82, 83, 84, 85, 88, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 106, 107, 119, 129, 133, 134, 135, 139, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 156, 157, 158, 159, 160, 163, 164, 165, 166

Manifestação patológica 35

Materiais alternativos 19, 45, 47

Materiais compósitos de PRFC 21

Metal 1, 2, 5, 6, 178, 180, 181, 182, 206, 207, 210, 212, 213, 214, 215, 229

Microfresamento 178, 180, 181, 183

Microusinagem 178, 179, 180, 181

## N

Nanofibras de sílica 167, 168, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 177

## P

Painéis de madeira 11, 18, 19, 20, 81, 83, 97, 157

Parede corta-fogo 108, 119

Patologia 121, 123

Pinus 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 55, 56, 57, 58, 59, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 101, 143, 144, 145, 151

Poliamida 66 167, 168, 170, 173, 174, 175

Prática acadêmica 185

Processo de fundição 185

Projeto de revestimento 121

Proteção contra incêndio 108

## R

Reforço estrutural 21, 22, 25

Resíduo de madeira 81, 92

Revestimento cerâmico 121, 122, 126, 128, 130, 132

Revestimento em madeira 94

## **S**

Sistema construtivo em placas de silicato de cálcio 108

Solo 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 65, 100, 134, 231

## **T**

Tecnologia de vedações verticais leves 108

Tubulação 1

## **V**

Vermiculita 45, 47, 49, 50, 51, 52, 53

Vigas 21, 22, 23, 24, 27, 28, 29, 30, 32, 33, 34, 37, 114, 123

## **W**

Wood frame 55, 56, 57, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67

