



**CONFORME SOLICITAÇÃO DO AUTOR, ESTA
PRODUÇÃO INTELECTUAL POSSUI RESTRIÇÃO
DE ACESSO**

**CAXIAS DO SUL
2024**

Daniel Matté

**Exploring the mechanical behavior of friction
material composites using artificial intelligence**

Caxias do Sul - RS, Brazil

2024

Daniel Matté

Exploring the mechanical behavior of friction material composites using artificial intelligence

Work supervised by Cláudio Antônio Perotoni and presented to the Graduate Program in Engineering and Materials Science of the University of Caxias do Sul as a partial requirement for obtaining the Doctorate degree in Engineering and Materials Science.

University of Caxias do Sul – UCS
Graduate Program in Engineering and Materials Science

Supervisor: Cláudio Antônio Perotoni

Caxias do Sul - RS, Brazil

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Universidade de Caxias do Sul
Sistema de Bibliotecas UCS - Processamento Técnico

M435e Matté, Daniel

Exploring the mechanical behavior of friction material composites using artificial intelligence [recurso eletrônico] / Daniel Matté. – 2024.

Dados eletrônicos.

Tese (Doutorado) - Universidade de Caxias do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais, 2024.

Orientação: Cláudio Antônio Perottoni.

Modo de acesso: World Wide Web

Disponível em: <https://repositorio.ucs.br>

1. Materiais de atrito. 2. Aprendizado do computador. 3. Inteligência artificial. I. Perottoni, Cláudio Antônio, orient. II. Título.

CDU 2. ed.: 621:531.43

Catalogação na fonte elaborada pela(o) bibliotecária(o)
Márcia Servi Gonçalves - CRB 10/1500

Daniel Matté

Exploring the mechanical behavior of friction material composites using artificial intelligence

Work supervised by Cláudio Antônio Perotoni and presented to the Graduate Program in Engineering and Materials Science of the University of Caxias do Sul as a partial requirement for obtaining the Doctorate degree in Engineering and Materials Science.

Approved work. Caxias do Sul - RS, Brazil, December 11 th, 2024:

Cláudio Antônio Perotoni
Supervisor

Diego Masotti

Gustavo Roberto Ramos

Leandro Luis Corso

María Cristina Moré Farias

Caxias do Sul - RS, Brazil
2024

To my mother Lorilde (in memoriam), who is present every day of my life, and wherever she is, I am sure she will look after me. To my father Gilberto, who managed to keep the family together in difficult times and is an example for me.

Acknowledgements

I would like to thank my supervisor Cláudio Antônio Perottoni, for the guidance and vital support in carrying out this work.

I would like to thank Marcus Vinícius Libardi Pazini and Pedro Cordula de Sousa for their intellectual contributions during the execution of the work.

I would like to thank my wife Patricia Soares Matté, for her patience and love throughout my years of studies.

I would like to thank my family, especially my father, Gilberto Matté, and my brothers, Junior Matté and Thais Matté, for their encouragement and messages of support. My aunt Teresinha Matté was always present in my life and encouraged me during this period.

I would like to thank my friends for understanding my absence during this period.

I would like to thank the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) for providing my scholarship.

I would like to thank Frasle Mobility for the opportunity to develop this work.

Last but not least, I would like to thank God, the great scientist of the universe.

Resumo

A aplicação de técnicas de inteligência artificial está se tornando cada vez mais valiosa para diversas áreas do conhecimento, pois permite extrair informações, prever padrões, trabalhar com problemas complexos e gerar soluções que não seriam alcançáveis por outras técnicas sem um custo computacional extremamente elevado ou então, inúmeras experiências físicas, com altos custos de execução e que muitas vezes não alcançam o resultado desejado. Neste trabalho, a inteligência artificial (IA) foi utilizada para criar modelos matemáticos para quatro propriedades de compósitos de materiais de atrito a partir de um extenso banco de dados que contém a composição química e suas propriedades mecânicas. Foi proposto um algoritmo capaz de prever resultados mecânicos de materiais de atrito com base na composição química, otimizar uma composição existente e propor novas composições (até então inexistentes) com base nos valores desejados de cada propriedade mecânica. O algoritmo combina instruções baseadas em regras, redes neurais e otimização de enxame de partículas. Foram produzidas amostras físicas baseadas na previsão do algoritmo, que possibilitaram avaliar o poder preditivo dos modelos e entender melhor a necessidade de melhorias na ferramenta construída para previsão de novos materiais de atrito. Notavelmente, as redes neurais artificiais, uma vez treinadas, demonstraram um erro quadrático médio (RMSE) que foi 30,8 % menor em comparação com o uso de ajustes multilineares para prever novos resultados de composições anteriormente inexistentes.

Palavras-chave: materiais de atrito. aprendizagem de máquina. inteligência artificial.

Abstract

The application of artificial intelligence techniques is becoming increasingly valuable for several areas of knowledge, allowing extracting information, predict patterns, work with complex problems, and generate solutions that would not be achievable by other techniques without an extremely high computational cost or else numerous physical experiments, with high execution costs and which often do not achieve the desired result. In this work, artificial intelligence (AI) was used to create mathematical models for four properties of friction material composites from an extensive database containing the chemical composition and the respective mechanical properties. An algorithm capable of predicting mechanical results of friction materials based on chemical composition, optimizing an existing composition, and proposing new (previously nonexistent) compositions was proposed based on the desired values of each mechanical property. The algorithm combines rule-based instructions, neural networks, and particle swarm optimization. Physical samples based on the algorithm prediction were produced, making it possible to assess the predictive power of the models and better understand the improvements needed for predicting new friction materials. Notably, artificial neural networks, once trained, demonstrated an average root mean square error (RMSE) that was 30.8 % smaller compared to using multilinear fittings to predict new results from previously non-existent compositions.

Keywords: friction materials. machine learning. artificial intelligence.