

IMPACTOS DAS TECNOLOGIAS NA ENGENHARIA DE MATERIAIS E METALÚRGICA

**Henrique Ajuz Holzmann
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia
(Organizadores)**

Atena
Editora

Ano 2019

Henrique Ajuz Holzmann
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia
(Organizadores)

Impactos das Tecnologias na Engenharia de Materiais e Metalúrgica

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

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)

I34 Impactos das tecnologias na engenharia de materiais e metalúrgica
[recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann,
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia. – Ponta Grossa (PR): Atena
Editora, 2019.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: World Wide Web.

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-235-7

DOI 10.22533/at.ed.234190204

1. Engenharia – Tecnologia. 2. Metalurgia. I. Holzmann, Ajuz. II.
Biscaia, Ricardo Vinicius Bubna.

CDD 620.002854

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

APRESENTAÇÃO

A engenharia de materiais e metalúrgica, vem cada vez mais ganhando espaço nos estudos das grandes empresas e de pesquisadores. Esse aumento no interesse se dá principalmente pela escassez de matérias primas, a necessidade de novos materiais que possuam melhores características físicas e químicas e a necessidade de reaproveitamento dos resíduos em geral.

Neste livro são apresentados trabalho teóricos e práticos, relacionados a área de materiais e metalurgia, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente.

A caracterização dos materiais é de extrema importância, visto que afeta diretamente aos projetos e sua execução dentro de premissas de desempenho técnico e econômico. Ainda são base da formação do engenheiro projetista cujo ofício se fundamenta na correta escolha de materiais e no processo de obtenção do mesmo, estando diretamente relacionados a área de metalurgia.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais.

Aos autores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ENGENHARIA METALÚRGICA NA UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS: ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DO CURSO	
<i>Kelly Cristina Ferreira</i>	
<i>Júnia Soares Alexandrino</i>	
<i>Telma Ellen Drumond Ferreira</i>	
DOI 10.22533/at.ed.2341902041	
CAPÍTULO 2	8
EVOLUÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA DE MINAS NA UEMG/JOÃO MONLEVADE EM SEUS 10 ANOS DE EXISTÊNCIA	
<i>Kelly Cristina Ferreira</i>	
<i>Júnia Soares Alexandrino</i>	
<i>Telma Ellen Drumond Ferreira</i>	
DOI 10.22533/at.ed.2341902042	
CAPÍTULO 3	15
ACUMULADORES PB-ÁCIDO: CONCEITOS, HISTÓRICO E APLICAÇÃO	
<i>Abdias Gomes dos Santos</i>	
<i>Flávio José da Silva</i>	
<i>Magda Rosângela Santos Vieira</i>	
DOI 10.22533/at.ed.2341902043	
CAPÍTULO 4	21
ANÁLISE PRELIMINAR DA APLICABILIDADE DA SEPARAÇÃO BASEADA EM SENSORES EM MINA DE CALCÁRIO DE CAÇAPAVA DO SUL (RS)	
<i>Evandro Gomes dos Santos</i>	
<i>Régis Sebben Paranhos</i>	
<i>Carlos Otávio Petter</i>	
<i>Aaron Samuel Young</i>	
<i>Moacir Medeiros Veras</i>	
DOI 10.22533/at.ed.2341902044	
CAPÍTULO 5	30
DESEMPENHO DE REAGENTES NA FLOTAÇÃO COLETIVA DE SULFETOS DE UM REJEITO AURÍFERO PARAIBANO	
<i>Marcelo Rodrigues do Nascimento</i>	
DOI 10.22533/at.ed.2341902045	
CAPÍTULO 6	40
UTILIZAÇÃO DE SULFONATO DE ALQUILBENZENO LINEAR (LAS) E POLICARBOXILATO ÉTER (PCE) COMO REAGENTES PARA FLOTAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO	
<i>José Maria Franco de Carvalho</i>	
<i>Mariane Batista de Oliveira Vasconcelos</i>	
<i>Luanne Phâmella da Silva Henriques e Moreira</i>	
<i>Julia Castro Mendes</i>	
<i>Carlos Alberto Pereira</i>	
<i>Ricardo André Fiorotti Peixoto</i>	
DOI 10.22533/at.ed.2341902046	

CAPÍTULO 7 50

COMPORTAMENTO EM TRAÇÃO DE COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIÉSTER E FIBRAS DE CURAUÁ E BANANEIRA CONTÍNUAS E ALINHADAS

Michel José Caldas Carvalho

Douglas Santos Silva

Roberto Tetsuo Fujiyama

DOI 10.22533/at.ed.2341902047

CAPÍTULO 8 64

EFEITO DE UM ADITIVO ENZIMÁTICO COMERCIAL NA DEGRADAÇÃO DE PEBD EM MEIO SALINO

Jéssica Pereira Pires

Gabriela Messias Miranda

Gabriela Lagranha de Souza

Flávia Stürmer de Fraga

Alessandro da Silva Ramos

Rosane Angélica Ligabue

Jeane Estela Ayres de Lima

Rogério Vescia Lourega

DOI 10.22533/at.ed.2341902048

CAPÍTULO 9 81

PREPARAÇÃO DE MICROESFERAS DE QUITOSANA/ARGILA PARA USO COMO SISTEMA CARREADOR DO IBUPROFENO

Matheus Aleixo Maciel

Bárbara Fernanda Figueiredo dos Santos

Hanniman Denizard Cosme Barbosa

Albaniza Alves Tavares

Pedro Henrique Correia de Lima

Suédina Maria de Lima Silva

DOI 10.22533/at.ed.2341902049

CAPÍTULO 10 97

CONSOLIDAÇÃO POR SINTERIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DE ALUMÍNIO RECICLADO A PARTIR DE LATAS DE BEBIDA VIA METALURGIA DO PÓ

José Raelson Pereira de Souza

Regina Bertília Dantas de Medeiros

Mauricio Mhirdau Peres

DOI 10.22533/at.ed.23419020410

CAPÍTULO 11 113

ELETRODEPOSIÇÃO DE FILMES DE POLIPIRROL EM SUPERFÍCIES DE ALUMÍNIO 2024: INFLUÊNCIA DO ELETRÓLITO

Andrea Santos Liu

Alex Fernandes de Souza

Liu Yao Cho

DOI 10.22533/at.ed.23419020411

CAPÍTULO 12	128
UMA REVISÃO SOBRE A TECNOLOGIA DE PROCESSAMENTO DE LIGAS METÁLICAS NO ESTADO SEMISSÓLIDO	
<i>Luis Vanderlei Torres</i>	
DOI 10.22533/at.ed.23419020412	
CAPÍTULO 13	141
INFLUÊNCIA DA TAXA DE RESFRIAMENTO SOBRE MACROESTRUTURA DA LIGA DE ALUMÍNIO SAE 323 SOLIDIFICADO EM MOLDE DE AREIA	
<i>Rafael Brasil da Costa</i>	
<i>Rodrigo da Silva Miranda</i>	
<i>Adilto Pereira Andrade Cunha</i>	
DOI 10.22533/at.ed.23419020413	
CAPÍTULO 14	149
INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS OPERACIONAIS DA MESA CONCENTRADORA WILFLEY NA CONCENTRAÇÃO DE ESCÓRIA METALÚRGICA DA LIGA FESIMN	
<i>Raulim de Oliveira Galvão,</i>	
<i>Filipe Brito Marinho de Barros</i>	
<i>José Carlos da Silva Oliveira</i>	
DOI 10.22533/at.ed.23419020414	
CAPÍTULO 15	161
INFLUÊNCIA DO ENSAIO METALÚRGICO DE TEMPERA NA MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS AÇOS	
<i>Rodrigo da Silva Miranda</i>	
<i>Adilto Pereira Andrade Cunha</i>	
DOI 10.22533/at.ed.23419020415	
CAPÍTULO 16	171
ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA DISTÂNCIA ENTRE CAMADAS NA TÉCNICA DE RECONSTRUÇÃO 3D POR SEÇÃO SERIAL	
<i>Wesley Luiz da Silva Assis</i>	
<i>Talita Fonseca dos Prazeres</i>	
<i>Ana Beatriz Rodrigues de Andrade</i>	
<i>Douglas de Oliveira</i>	
DOI 10.22533/at.ed.23419020416	
SOBRE OS ORGANIZADORES	179

INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS OPERACIONAIS DA MESA CONCENTRADORA WILFLEY NA CONCENTRAÇÃO DE ESCÓRIA METALÚRGICA DA LIGA FESIMN

Raulim de Oliveira Galvão,

Universidade Federal de Mato Grosso, UFMT
Instituto de Engenharias de Várzea Grande
Cuiabá – Mato Grosso

Filipe Brito Marinho de Barros

Universidade Federal de Pernambuco, UFPE.
Recife – Pernambuco

José Carlos da Silva Oliveira

Universidade Federal de Pernambuco, UFPE.
Recife – Pernambuco

RESUMO: A produção da liga metálica ferrosiliciomanganês (FeSiMn) está diretamente relacionada aos processos pirometalúrgicos conduzidos em fornos elétricos à arco submerso. Devido às limitações desse processo, observa-se um elevado percentual da liga FeSiMn nas pilhas de rejeito. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi realizar um planejamento fatorial 2^3 na recuperação da liga FeSiMn presente nas pilhas de rejeito, utilizando uma mesa oscilatória Wilfley. Para o estudo foi utilizada cerca de 40 kg de escória metalúrgica da liga FeSiMn. Analisaram-se as influências de 3 parâmetros fundamentais da mesa: granulometria (-115# +250# e - 60# + 115#), inclinação (2° e 4°) e amplitude (12 e 14 mm). As influências dos parâmetros da mesa oscilatória foram analisadas pela variação do teor do concentrado, das recuperações

mássica e metalúrgica. Para determinar o teor do concentrado empregou-se a técnica de fluorescência de raios-X (FRX). Com isso, constatou-se que os parâmetros granulometria, inclinação e amplitude apresentaram variação significativa na recuperação metalúrgica. Observou-se, também, uma interação de segunda ordem significativa dos fatores Inclinação e Amplitude. Assim, pode-se concluir que neste estudo a configuração que gerou uma maior eficiência no processo de concentração da liga FeSiMn, utilizando a mesa oscilatória Wilfley foi: granulometria (-115# +250#); inclinação de 2° e amplitude de 14 mm. Essa configuração apresentou uma recuperação metalúrgica de aproximadamente 50% da liga FeSiMn.

PALAVRAS-CHAVE: Liga FeSiMn, Escória, Mesa Oscilatória, FRX, Planejamento fatorial.

ABSTRACT: Ferrosiliciomanganese (FeSiMn) alloy production is directly related to the pyrometallurgical processes conducted in submerged arc furnaces. Due to the limitations of this process, a high percentage of the FeSiMn alloy is observed in the tailings. In this context, the objective of this work was to carry out a factorial design 2^3 in the recovery of the FeSiMn alloy present in the tailings, using a Wilfley oscillating table. For the study, about 40 kg of FeSiMn alloy metallurgical slag was used. The influences of 3 fundamental parameters of

the table were analyzed: grain size (-115 # + 250 # e - 60 # + 115 #), slope (2 ° and 4 °) and amplitude (12 and 14 mm). The influences of the parameters of the oscillatory table were analyzed by the variation of the content of the concentrate, of the mass and metallurgical recoveries. X-ray fluorescence (FRX) technique was used to determine the content of the concentrate. With this, it was verified that the grain size, slope and amplitude parameters presented significant variation in the metallurgical recovery. It was also observed a significant second-order interaction of the Inclination and Amplitude factors. Thus, it can be concluded that in this study the configuration that generated a greater efficiency in the process of concentration of the FeSiMn alloy using the Wilfley oscillatory table was: granulometry (-115 # + 250 #); inclination of 2 ° and amplitude of 14 mm. This configuration showed a metallurgical recovery of approximately 50% of the FeSiMn alloy.

KEYWORDS: FeSiMn Alloy, Slag, Oscillatory Table, FRX, Factorial Planning.

1 | INTRODUÇÃO

O manganês é um elemento de transição da família do ferro e representa cerca de 0,1%, em peso, dos constituintes do planeta (WILLS, 1992). Depois do ouro e das pedras preciosas, foi o manganês um dos primeiros recursos minerais a despertar interesse no Brasil (ABREU, 1973). Como insumo mineral, tem um papel importante na indústria metalúrgica devido às suas características físico-químicas. Suas aplicações neste setor industrial estão vinculadas a produção de ferro-ligas, que são utilizadas para a fabricação do aço (GONÇALVES E SERFATY, 1976). Uma das ligas metálicas comumente utilizadas na produção de aço é a liga ferrosiliciomanganês (FeSiMn). Seu uso está associado a propriedade dessulfurante, e desoxidante, relacionada ao manganês e ao silício, respectivamente. Essas propriedades são fundamentais para a produção de aços mais resistentes (OLSEN E TANGSTAD, 2004). Isso mostra a importância do manganês no setor mineral e em suas aplicações nos produtos metalúrgicos.

A produção de ligas metálicas está diretamente relacionada à processos metalúrgicos, em especial a pirometalúrgia. No entanto, devido às limitações do processo metalúrgico, observa-se um elevado percentual das ligas metálicas em pilhas de rejeito (RICHTER, 2009; GALVÃO, 2016). A preocupação com os princípios de proteção do meio ambiente e a visão econômica de reprocessar materiais de baixo teor, tem gerado um maior aproveitamento desses rejeitos, tanto na mineração quanto nas siderúrgicas (REIS, 2005; GALVÃO, 2016). Porém, para que seja possível o reprocessamento das pilhas de materiais de baixo teor é necessário aumentar a concentração do material, para isso é possível utilizar técnicas de concentração de materiais. Dentre as técnicas de concentração, a gravimétrica é comumente utilizada nessa etapa do processo.

Essa técnica de concentração é baseada na diferença de densidade existente

entre os materiais presentes, utilizando-se de um meio fluido (água ou ar) para que ocorra a efetiva separação. A aplicação adequada de processos de concentração nas plantas siderúrgicas poderá aumentar, potencialmente, o aproveitamento de seus rejeitos. Isso indica que a escolha do método de concentração a ser aplicado nas pilhas de rejeito metalúrgico deve satisfazer condições técnicas e econômicas ideais para a sua implantação (REIS, 2005). Com isso, fica claro a importância do estudo sobre técnicas de concentração para o reprocessamento de escoria metalúrgica.

Em estudos de avaliação econômica muitas vezes é necessário tomar decisões baseadas em observações do fenômeno que se está avaliando. Para isso, deve-se decidir se um novo método que está sendo proposto é melhor do que métodos já utilizados. Para tomar tais decisões, necessita-se estabelecer critérios. Com isso, surgem as técnicas estatísticas como um suporte na tomada de decisão, como o planejamento fatorial. Onde através do uso dessa técnica busca-se extrair dos experimentos novas soluções para as questões comuns ou inovadoras da indústria (ANJOS, 2005). O planejamento fatorial 2^3 permite determinar qual a resposta final da interação de três fatores que variam em dois níveis. Em linguagem estatística, explica-se como o interesse em descobrir como a resposta de um ensaio dependerá dos três fatores investigados. Com isso o planejamento fatorial completo passará a necessitar da realização de 8 ensaios, que quando realizados em duplicata, triplicata permitem conhecer a variância do estudo.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi determinar através de um planejamento fatorial 2^3 os parâmetros adequados de uma mesa oscilatória Wilfley, visando a maior concentração do material. Para o estudo foi utilizado escoria metalúrgica da liga FeSiMn proveniente da Empresa de Ferro Ligas Marabá. Analisou-se as influências de 3 parâmetros fundamentais da mesa oscilatória: granulometria (-60# +115# e -115# +250#), inclinação (2° e 4°) e amplitude (12 e 14 mm). Para determinar a influência dos parâmetros da mesa oscilatória foi observado a variação do teor do concentrado e das recuperações mássica e metalúrgica. Para avaliar quantitativamente os teores do produto da concentração gravimétrica, empregou-se a técnica de fluorescência de raios X (FRX).

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Preparação e caracterização da amostra

Para este estudo, foi utilizada uma amostra de escória da liga FeSiMn de aproximadamente 40 kg, proveniente da Empresa de Ferro Ligas Marabá. A amostra foi britada utilizando britadores de mandíbula e de rolos. O material britado foi classificado entre 2 mm (10 malhas). O produto dessa britagem foi homogeneizado e quarteado em amostras de 4 kg. Essas amostras foram novamente quarteadas em alíquotas de 500 g, as quais foram moídas utilizando um moinho de disco. O produto da moagem

foi peneirado gerando duas alíquotas -60# +115# (grossa) e -115# +250# (fina)

Realizou-se uma caracterização das amostras empregando a técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV), analisada por energia dispersiva de raios-X (EDS – Energy Dispersal Spectroscopy). A Figura 1 apresenta o espectro obtido pelo EDS da liga FeSiMn e uma imagem microscópica (ES) da partícula da amostra. Foi observado a presença dos elementos: Ferro (Fe); Alumínio (Al); Manganês (Mn); e Silício (Si). Isso comprova a presença da liga FeSiMn na amostra estudada.

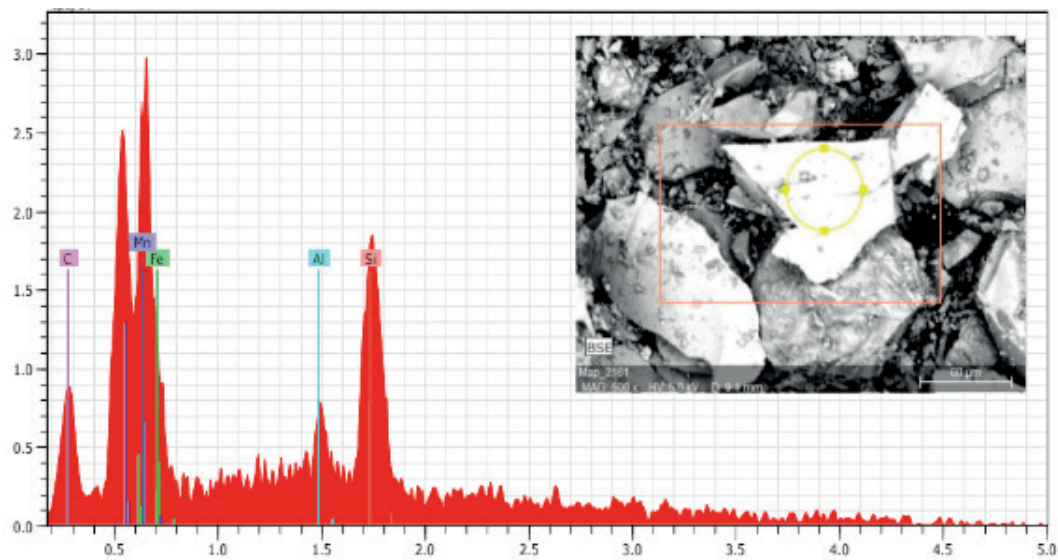


Figura 1 - Espectro EDS da análise pontual na partícula da liga FeSiMn e uma imagem morfológica da partícula da liga, por elétrons secundários.

2.2 Planejamento fatorial

Para os ensaios deste estudo foi utilizado um planejamento fatorial 2^3 para prever as influências das variáveis em níveis (mínimos e máximos) com os outros possíveis fatores fixados. A tabela 1 mostra as variáveis e níveis utilizados nos testes. A matriz de planejamento fatorial 2^3 mostra todas as combinações possíveis dos testes. O cálculo dos efeitos foi realizado com auxílio de uma tabela de coeficientes de contraste. Nessa tabela é adicionada uma coluna com sinais positivos (M) para o cálculo da média dos ensaios e as outras colunas são obtidas na multiplicação dos fatores, elemento a elemento, e substituída pelos sinais algébricos. Assim foram 3 efeitos principais, 3 efeitos das interações de dois fatores e um efeito das interações de 3 fatores.

Para calcular os efeitos, foi escolhida a coluna apropriada e aplicada seus sinais às respostas correspondentes, realizada a soma algébrica e finalmente dividindo-se o resultado por 4. A primeira coluna, que só contém sinais positivos, serve para calcular a média global de todos os ensaios, e nesse caso o divisor é 8. Os ensaios foram realizados em duplicata e em ordem aleatória.

Fatores	(-)	(+)	
A: Granulometria	-115# +250#	-60# +115#	
B: Inclinação	2°	4°	
C: Amplitude	12mm	14mm	
Ensaio	A	B	C
1	-	-	-
2	+	-	-
3	-	+	-
4	+	+	-
5	-	-	+
6	+	-	+
7	-	+	+
8	+	+	+

Tabela 1 - Planejamento fatorial dos testes de concentração na mesa oscilatória

As variáveis e os níveis estudados tiveram como referência os ensaios exploratórios avaliados preliminarmente e os estudos de Reis (2005), que avaliou a concentração de minério de manganês em mesa oscilatória variando a inclinação em 3° e 5°, assim como nos trabalhos de Kusno (2011) que verificou melhores recuperações metalúrgicas de manganês nas faixas de passante em 40 mesh e retido em 100 mesh e os desenvolvidos por Legorreta-garcía (2010) que analisou a distribuição de partículas de Fe_2O_3 e TiO_2 em amostras de caulim nas frequências de 220 rpm, 270 rpm e 320 rpm. Os resultados obtidos no processo de concentração da liga de FeSiMn presente na escória foram analisados percentualmente por recuperação mássica e metalúrgica e pelo teor do concentrado.

2.3 Concentração gravimétrica

Para a etapa da concentração gravimétrica utilizou-se uma mesa oscilatória do tipo Wilfley. Foi utilizado cerca de 250g de amostra em cada ensaio. Neste estudo foram avaliados 3 parâmetros principais do funcionamento da mesa, os quais são vinculados a eficiência do processo de concentração: (i) Granulometria; (ii) Amplitude; e (iii) Inclinação. Para cada parâmetro foi empregado dois valores distintos. A Tabela 2 apresenta as configurações empregadas na mesa em cada ensaio. Alguns parâmetros da mesa foram fixados: fluxo de água 60 L/h; frequência de 360 rpm; e taxa de alimentação 1 kg/h. A amostra de escória foi descarregada na mesa em forma de polpa e de forma manual. Utilizando bandejas de aço, coletou-se os produtos da mesa oscilatória, denominadas de concentrado (porção com maior concentração da liga) e de leve (rejeito). Cabe ressaltar que os ensaios da mesa oscilatória foram realizados em duplicata, para garantir a reprodutibilidade dos ensaios. Os resultados obtidos no processo de concentração da liga de FeSiMn presente na escória foram analisados

percentualmente por recuperação mássica e metalúrgica e pelo teor do concentrado.

Ensaio	Granulometria(μm)- A	Inclinação($^{\circ}$)- B	Amplitude(mm)- C
1	-115# +250#	2	12
2	-60# +115#	2	12
3	-115# +250#	4	12
4	-60# +115#	4	12
5	-115# +250#	2	14
6	-60# +115#	2	14
7	-115# +250#	4	14
8	-60# +115#	4	14

Tabela 2 - Parâmetros utilizados nos testes de concentração em mesa oscilatória Wilfley.

2.4 Fluorescência de raios-x

Foi empregado o FRX para analisar, de forma quantitativa, a composição das amostras de alimentação da mesa oscilatória e das faixas concentradas do produto de cada ensaio. Cada amostra foi adequada a análise, ou seja, sua granulometria foi reduzida a um tamanho de partícula inferior a 75 μm , por meio de almofariz e pistilo.

Uma alíquota de cada amostra foi secada em estufa a 110 $^{\circ}\text{C}$. Uma porção da alíquota seca foi levada a uma mufla a 1000 $^{\circ}\text{C}$ por 2 horas para determinação da perda ao fogo. A outra porção da alíquota foi prensada em cápsulas de alumínio aplicando 30 toneladas de força. As pastilhas prensadas foram analisadas em espectrômetro de fluorescência de raio-X Rigaku Modelo ZsX Primus II, equipado com tubo de Rh e 7 cristais analisadores. A Tabela 3 apresenta os dados obtidos pela análise FRX para as duas alimentações.

Alimentação	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MnO	Fe ₂ O ₃	BaO
-115# +250#	0.07	9.45	22.34	0.02	4.33	1.12	53.05	2.53	5.37
-60# +115#	0.06	9.63	22.73	0.01	4.42	1.1	52.68	1.91	5.64

Tabela 3 - Percentual de óxidos constituintes das amostras de alimentação determinado por espectrometria FRX após perda ao fogo a 1000 $^{\circ}\text{C}$.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Concentração gravimétrica

A Figura 2 apresenta um comparativo entre a recuperação mássica (Rms) e a metalúrgica (Rmt) obtidas em cada ensaio do estudo. Inicialmente observou-se que os ensaios 2 (Rms = 2,81%; Rmt = 18,05%) e 8 (Rms = 3,06%; Rmt = 20,53%) apresentam os menores índices de recuperação mássica e metalúrgica. Em contraponto, os ensaios 5 (Rms = 5,86%; Rmt = 52,64%) e 6 (Rms = 5,96%; Rmt = 44,63%) obtiveram

as recuperações metalúrgica e mássica mais elevadas. Estes dados corroboram o estudo realizados por Reis (2005) que estudou a recuperação de minérios de manganês em mesa oscilatória em ângulos de 3° e 5°. Os resultados obtidos foram de maior recuperação em todas as faixas granulométricas estudadas (global, + 0,074 mm e - 0,074 mm) para o menor ângulo de inclinação. O Ensaio 3 embora tenha apresentado o maior valor de recuperação mássica esse comportamento não refletiu em uma recuperação metalúrgica acentuada em decorrência do baixo teor de liga metálica obtido no produto concentrado.

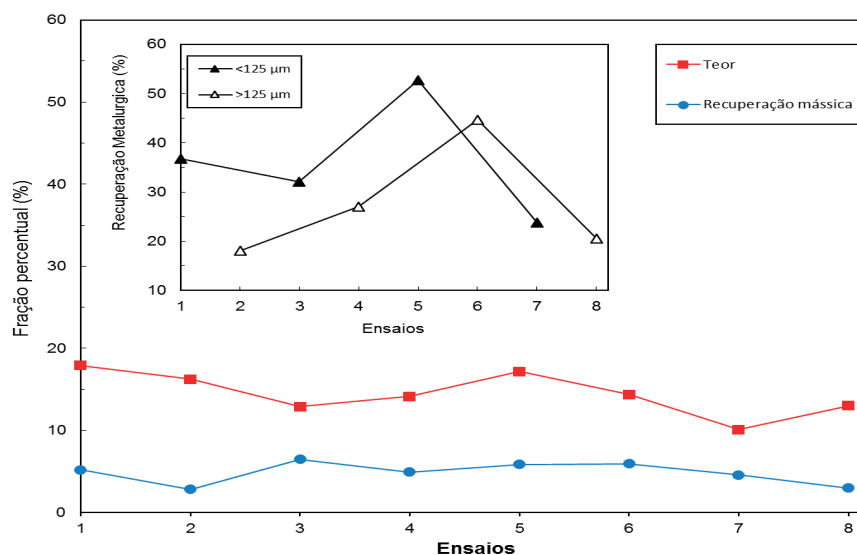


Figura 2 - Gráfico da recuperação em massa versus recuperação metalúrgica.

A Figura 3 (a, b, c, d, e, f) mostra os perfis de distribuição das partículas sobre a mesa ao atingir o regime de separação gravimétrica nas condições específica de cada ensaio. Observou-se que os ensaios 1 e 2 (com inclinação em 2° e amplitude de 12 mm), na Figura 3 (a, b), apresentaram uma redução na recuperação metalúrgica: de 36,74% para 18,05 % ao mudar de granulometria fina para granulometria grossa, consecutivamente. A baixa recuperação metalúrgica verificada no ensaio 2 sugere estar em função do estreitamento entre as faixas de concentrado e rejeito sobre a superfície da mesa Wilfley, provocadas pela baixa aceleração longitudinal, resultado de uma menor amplitude (12mm).

Nos ensaios com os parâmetros fixados de granulometria fina e amplitude de 14 mm (ensaios 5 e 7) observou-se a diminuição na recuperação metalúrgica: de 52,64% para 23,81 % ao variar de uma inclinação de 2° para 4°. Pode-se observar esse efeito na Figura 3 (c) e (d). Os ensaios 4 e 8 com granulometria grossa e inclinação em 4° tiveram decréscimo nos valores de recuperação metalúrgica: de 27,07% para 20,53 % ao variar de uma amplitude em 12 mm para 14 mm, respectivamente. Interessante destacar, que para os ensaios 1 e 5, em que ocorreram em granulometria fina e inclinação de 2°, o aumento da amplitude promove maior recuperação metalúrgica, de

36% para 52%, respectivamente.

Este efeito oposto obtido nos ensaios 1 e 5 nos permite afirmar que em menores inclinações e granulometrias mais finas as partículas densas são as últimas a sofrer o efeito do filme líquido. Em contrapartida são as primeiras a sofrerem o efeito com o aumento do movimento oscilatório, justificando assim a boa recuperação metalúrgica no ensaio 5. De modo contrário utilizando maior inclinação o efeito no escorregamento é maior para as partículas grossas densas, quando comparadas com as finas densas, sendo o oposto no movimento oscilatório com menor efeito nas grossas densas do que nas finas densas. Em síntese, a explanação acima obtida a partir da análise dos trabalhos de Burt (1984), permite compreender a menor recuperação metalúrgica para o ensaio 8.

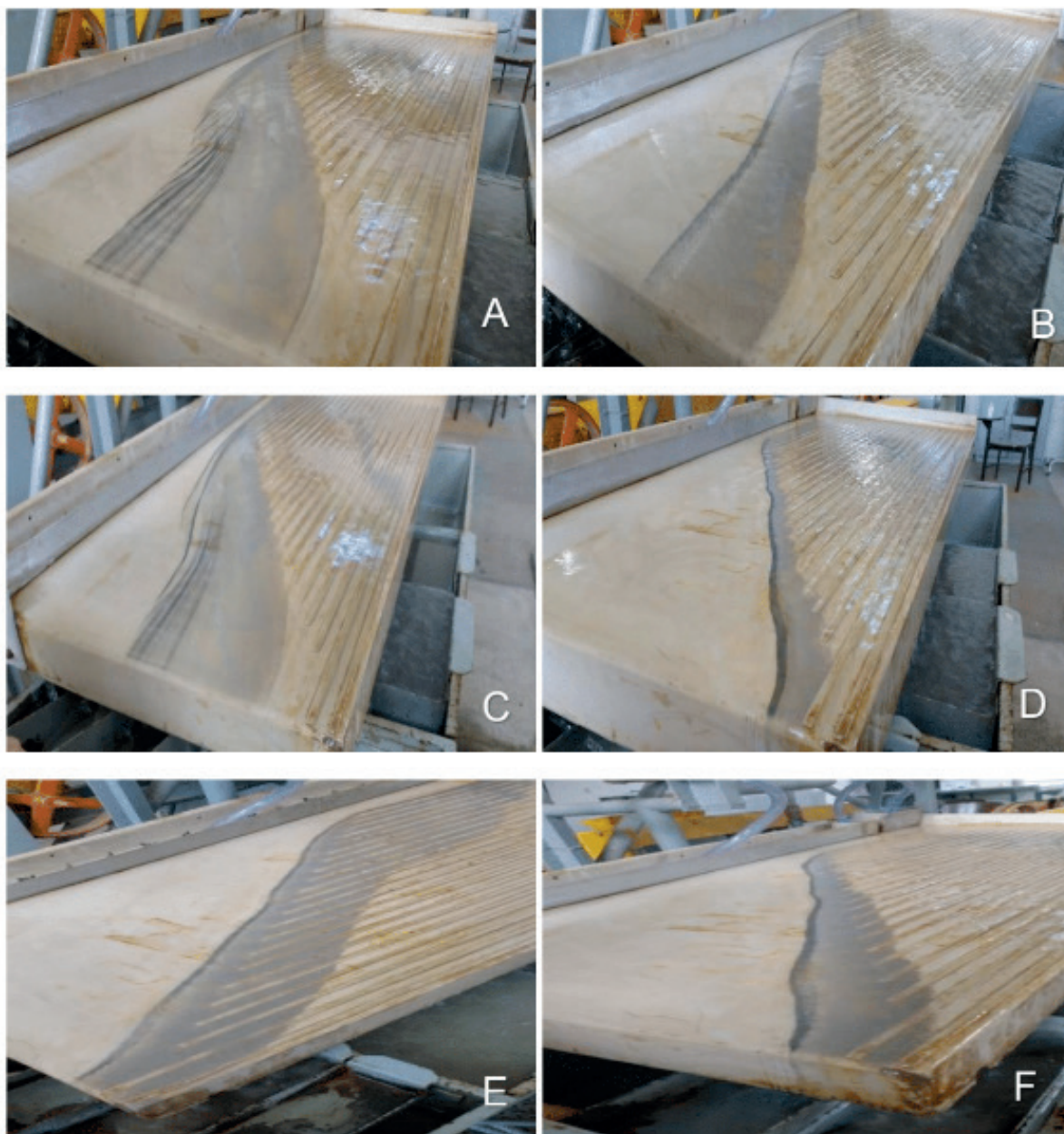


Figura 3 - Perfil de separação nos ensaios 1 (a), 2 (b), 5 (c), 7 (d), 4 (e), 8 (f).

3.2 Análise dos efeitos e interações na recuperação metalúrgica

A Figura 4 representa a análise estatística da variância para os ensaios na mesa oscilatória, em nível de confiança de 95%. O gráfico exibe os valores dos efeitos traçados em um gráfico normal. Observamos que os efeitos A, B, C e BC são os pontos que não se ajustam à uma reta e portanto são entendidos como efeitos significativos. Já os demais pontos representam “efeitos” sem nenhum significado físico.

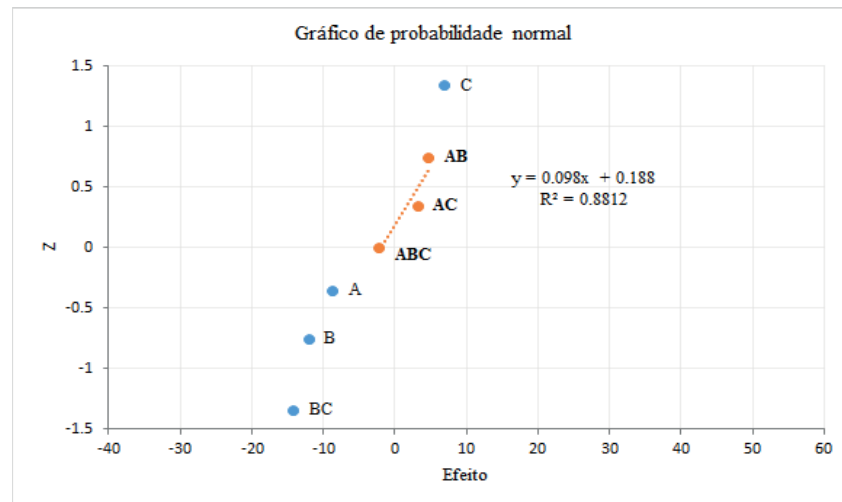


Figura 4 - Análise por gráfico normal dos valores dos efeitos e interações sobre a recuperação mássica. Só os efeitos AB, AC e ABC parecem não significativos.

A análise da influência da granulometria (A) e da inclinação do deque (B) podem ser interpretadas em conjunto pois a mudança de um nível inferior (-) para um nível superior (+) gera uma resposta negativa na recuperação metalúrgica de 8,7% e de 12%, respectivamente. O oposto foi verificado para o fator de amplitude de oscilação (C), ocorrendo uma resposta positiva de 7% ao variar de 12 mm para 14 mm.

A análise dos ensaios pareados (1-2 e 7-8) teve efeito na diminuição média da recuperação metalúrgica: de 36,74% para 18,05 % e de 23,81% para 20,53%, sucessivamente, ao mudar de granulometria fina para granulometria grossa. De fato, o ensaio 1 foi promissor por obter uma boa recuperação em massa associado a um alto teor no concentrado, enquanto oposto foi verificado no ensaio 2.

A análise dos ensaios pareados (1-3 e 5-7) teve efeito na diminuição na recuperação metalúrgica: de 36,74% para 32,08% e de 52,64% para 23,81%, sucessivamente ao variar de uma inclinação de 2° para 4°.

A análise dos ensaios pareados (1-5 e 4-8) teve efeito diverso na recuperação metalúrgica: de 36,74% para 52,64% e de 27,07% para 20,53 % ao variar de uma amplitude em 12 mm para 14 mm. As discussões acerca das diferenças na comparação dos ensaios 1 e 5 com os ensaios 4 e 8 permite concluir que para inclinações menores e granulometrias finas, as partículas densas são as últimas a sofrer o efeito do filme líquido. Em contrapartida, são as primeiras a sofrer efeito do aumento do movimento oscilatório, justificando assim a boa recuperação metalúrgica no ensaio 5. Diversamente, para uma maior inclinação o efeito no escorregamento é maior para as

partículas grossas densas, quando comparadas com as finas densas, e o contrário no movimento oscilatório, com menor efeito nas grossas densas do que nas finas densas, permitindo assim compreender a menor recuperação metalúrgica para o ensaio 8.

Em termos gerais os ensaios com elevadas recuperações metalúrgicas decorreram da maior distribuição das partículas sobre a mesa resultando em maior recuperação mássica (4,91%) com melhor teor (14,14%) para o ensaio 4.

Sampaio e Tavares (2005) estudou os ângulos críticos para o escorregamento, no sentido lateral da mesa, em partículas de ouro ($d = 19 \text{ g/cm}^3$), quartzo ($d = 2,65 \text{ g/cm}^3$), wolframita ($d = 7,5 \text{ g/cm}^3$) e carvão ($d = 1,3 \text{ g/cm}^3$). Os dados obtidos permitiram afirmar que partículas densas requerem maior ângulo para o início do escorregamento quando comparadas com partículas leves. Considerando estas conclusões, entende-se que nos ensaios para inclinações em 2° as partículas densas não sofreram grandes velocidades de escorregamento, ficando mais suscetíveis às forças de oscilação longitudinal do deque, permitindo melhor separação e estratificação entre os produtos liga metálica e escória. Isso é facilmente visualizado pela espessura da faixa de concentrado denso, nas tonalidades escuras.

Avaliando as maiores inclinações entende-se que em 4° há escorregamento significativo das partículas densas, confirmada pela faixa estreita na separação entre os dois produtos. Associando uma maior amplitude nestes ensaios percebe-se uma maior dificuldade de segregação, o que de maneira oposta não se observa na menor amplitude, onde grande parte da massa conseguiu-se distribuir mais internamente entre os rifles, o que fez resultar em melhor recuperação metalúrgica.

4 | CONCLUSÕES

O processo de beneficiamento gravimétrico por mesa oscilatória se mostrou eficiente para a concentração da liga metálica de FeSiMn. Destaca-se que as três variáveis estudadas foram significativas na recuperação metalúrgica. Observou-se que os ensaios com granulometria grossa e fina em amplitudes de 14 mm e inclinação de 2° promoveram recuperações metalúrgicas de 52% e 44,66%, respectivamente.

As variáveis inclinação e amplitude interagem entre si, de maneira a trazer efeitos sinérgicos na recuperação em massa e na recuperação metalúrgica. A avaliação desta interação de segunda ordem permitiu concluir que os melhores benefícios na recuperação da liga metálica com melhores taxas de operação na mesa se dão em condições de inclinação elevada com baixa amplitude de oscilação.

Em termos gerais, os resultados dos testes de concentração em mesa oscilatória mostraram que a maior recuperação metalúrgica da liga de FeSiMn, ocorre com a variável de inclinação em 2° e amplitudes mais elevadas. Assim pode-se confirmar a partir dos ensaios 5 e 6 ótimos resultados na recuperação metalúrgica, tanto nos ensaios com granulometrias fina e grossa.

Pelo exposto, pode-se perceber que o planejamento fatorial não determina valores ótimos em uma única etapa, porém este procedimento indica satisfatoriamente o caminho a ser tomado para que se possa atingir o objetivo proposto.

5 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao laboratório de tratamento de minérios (LTM) da Universidade Federal de Pernambuco pela disponibilidade do espaço para a realização dos ensaios, à Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) e à empresa Ferro Ligas Marabá (FERMAR) pela doação da escória para o estudo.

REFERÊNCIAS

ABREU, S.F (1973). **Recursos minerais do Brasil**. São Paulo, SP, Editora Edgard Blucher LTDA, vol.2, Cap.14, p.492-550.

ANJOS, A. **Curso planejamento de experimentos I**. Universidade Federal do Paraná. Departamento de estatística (notas de aulas). Curitiba, 2005.

BURT, R.O.; MILLS, C. **Gravity Concentration Technology (Developments in Mineral Processing)**. Elsevier: Volume 5. The Netherlands. Amsterdam 1984.

GONÇALVES, E.; SERFATY, A (1976). **Perfil Analítico do Manganês**. Departamento Nacional da Produção Mineral, DNPM, Brasília, DF, Boletim n° 37, 149 p.

GALVÃO, R. O. **Aplicação de um planejamento fatorial na recuperação de liga metálica (FeSiMn) de escória empregando-se mesa oscilatória do tipo wilfley**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, 2016.

KUSNO I., BIRAWIDHA, D. C. **Beneficiation of low grade iron ore with manganese content as raw material for ferro mineral**. International Journal of Engineering & Technology-Indonesian Institute of Science (LIPI). Vol: 11 n°: 03. Indonésia, 2011.

LEGORRETA-GARCÍA F., OLVERA-VENEGAS P.N., HERNÁNDEZ CRUZ L.E., VERGARA-GÓMEZ E., BOLARÍN-MIRÓ ANA M. e SÁNCHEZ DE JESÚS F. **Caracterización y separación gravimétrica de arenas de caolín procedente de Agua Blanca de Iturbide**, Hidalgo (México), 2010.

OLSEN, S.E. e TANGSTAD, M. **Silicomanganese production and process understanding**. Tenth International Ferroalloys Congress. Capetown, África do Sul, 2004.

REIS, E. L. **Caracterização de resíduos provenientes da planta de beneficiamento do minério de manganês sílico carbonatado da RDM-Unidade Morro da Mina**. Dissertação mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005.

RICHTER, D. **Uma rota de recuperação de metal a partir de escória secundária da produção de ferroníquel**. Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2006.

SAMPAIO, C.H. & TAVARES, L. M. M. **Beneficiamento Gravimétrico: uma introdução aos processos de concentração mineral e reciclagem de materiais por densidade**. Editora da UFRGS. Porto Alegre, 2005.

WILLS, B. A (1992). **Mineral processing Technology**. Pergamon Press, 5ª edição, New York, 855 p.

SOBRE OS ORGANIZADORES

Henrique Ajuz Holzmann - Professor assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia e Ciência dos Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

Ricardo Vinicius Bubna Biscaia - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia de Produção pela UTFPR. Trabalha com os temas: análise microestrutural e de microdureza de ferramentas de usinagem, modelo de referência e processo de desenvolvimento de produto e gestão da manutenção.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-235-7



9 788572 472357