

COLEÇÃO  
**DESAFIOS**  
DAS  
**ENGENHARIAS:**

**ENGENHARIA DE MATERIAIS E METALÚRGICA 2**



**HENRIQUE AJUZ HOLZMANN**  
(ORGANIZADOR)

**Atena**  
Editora  
Ano 2021

COLEÇÃO  
**DESAFIOS**  
DAS  
**ENGENHARIAS:**

**ENGENHARIA DE MATERIAIS E METALÚRGICA 2**



**HENRIQUE AJUZ HOLZMANN**  
(ORGANIZADOR)

**Atena**  
Editora  
Ano 2021

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2021 Os autores

Copyright da edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. 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.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial**

**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

**Diagramação:** Maria Alice Pinheiro  
**Correção:** Flávia Roberta Barão  
**Indexação:** Gabriel Motomu Teshima  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Henrique Ajuz Holzmann

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia de materiais e metalúrgica 2 / Organizador Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-551-5

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.515210610>

1. Engenharia de Materiais. 2. Metalúrgica. I. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. Título. CDD 669

**Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166**

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

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

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, desta forma não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

## APRESENTAÇÃO

A engenharia de materiais, se tornou um dos grandes pilares da revolução técnica industrial, principalmente quando se diz a indústria 4.0, devido a necessidade de desenvolvimento de novos materiais, que apresentem melhores características e propriedades físico-químicas. Para obtenção desses novos materiais, muitos processos precisaram de alterações e de novos métodos, exigindo um desprendimento de força elevado nesta área. Grandes empresas e centros de pesquisa investem maciçamente em setores de P&D a fim de tornarem seus produtos e suas tecnologias mais competitivas.

Destaca-se que a área de material compreende três grandes grupos, a dos metais, das cerâmicas e dos polímeros, sendo que cada um deles tem sua importância na geração de tecnologia e no desenvolvimento dos produtos. Aliar os conhecimentos pré-existentes com novas tecnologias é um dos grandes desafios da nova engenharia.

Neste livro são explorados trabalhos teóricos e práticos, relacionados as áreas de materiais, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente. Apresenta capítulos relacionados ao desenvolvimento de novos materiais, com aplicações nos mais diversos ramos da ciência, bem como assuntos relacionados a melhoria em processos e produtos já existentes, buscando uma melhoria e a redução dos custos.

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.

Boa leitura a todos.

Henrique Ajuz Holzmann




## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **STRESS-CRACKING: UM ESTUDO BIBLIOMÉTRICO DOS ÚLTIMOS 21 ANOS DE PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS**


Vinícius Pereira Bacurau  
Ana Larissa Soares Cruz  
Nicolas Moreira de Carvalho Gomes  
Ermeson David dos Santos Silva  
Thalia Delmondes de Souza  
Leonardo Alves Pinto  
Edvânia Trajano Teófilo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5152106101>

### **CAPÍTULO 2..... 18**

#### **ESTUDO DA INFLUENCIA DA ADIÇÃO DO WC NANOESTRUTURADO NAS PROPRIEDADES DO AÇO MA957**


Kívia Fabiana Galvão de Araújo  
Maria José Santos Lima  
Fernando Erick Santos da Silva  
Cléber da Silva Lourenço  
Uilame Umbelino Gomes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5152106102>

### **CAPÍTULO 3..... 30**

#### **CARACTERIZAÇÃO DA TRANSFORMAÇÃO MARTENSÍTICA EM AÇOS INOXIDÁVEIS AUSTENÍTICOS E DEFORMADOS POR DIFERENTES PROCESSOS DA ÁREA NUCLEAR**


Jamil Martins Guimarães Júnior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5152106103>

### **CAPÍTULO 4..... 38**

#### **TRÊS MÉTODOS PARA MELHORAR AS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE LIGAS DE ALUMÍNIO**


Juan José Arenas Romero  
Jesús García Lira  
Martín Castillo Sánchez





 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5152106104>

### **CAPÍTULO 5..... 45**

#### **IMPACT OF ZINC CONCENTRATION AND pH IN THE ELECTROPLATING PROCESS IN AN ACID SULFATE-BASED SOLUTION**

Gabriel Abelha Carrijo Gonçalves  
Pedro Manoel Silveira Campos  
Tácia Costa Veloso  
Vera Rosa Capelossi


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.5152106105>

<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>56</b>
INSPEÇÃO ATRAVÉS DO ENSAIO VISUAL Marta Alves Marques  <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.5152106106">https://doi.org/10.22533/at.ed.5152106106</a>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>78</b>
RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS NO BRASIL: UMA ABORDAGEM SOBRE ARTIGOS CIENTÍFICOS E POLÍTICAS NACIONAIS NO ÚLTIMO QUINQUÊNIO Mariana Cordeiro Magalhães Fernanda Nadier Cavalcanti Reis Peolla Paula Stein Tatiane Benvenuti Tácia Costa Veloso  <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.5152106107">https://doi.org/10.22533/at.ed.5152106107</a>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>84</b>
PRODUÇÃO DE JANELAS INTELIGENTES BASEADAS EM POLÍMEROS NATURAIS Márcio Roberto da Silva Oliveira  <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.5152106108">https://doi.org/10.22533/at.ed.5152106108</a>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>94</b>
BENEFÍCIOS NA UTILIZAÇÃO DE TUBOS DE PAPELÃO ESTRUTURAL COMO SISTEMA CONSTRUTIVO Gabriela Santos Pereira Lopes de Barros  <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.5152106109">https://doi.org/10.22533/at.ed.5152106109</a>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>106</b>
ADIÇÃO DE BORRACHA DE PNEUS ORIUNDA DE CAPEAMENTO NO CONCRETO ESTRUTURAL – UMA AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS Myrelle Pinheiro e Silva Maria Letícia Ferreira da Silva Daniele Gomes Carvalho  <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.51521061010">https://doi.org/10.22533/at.ed.51521061010</a>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>132</b>
AVALIAÇÃO DA BORRACHA NATURAL EPOXIDADA COMO UM POSSÍVEL MATERIAL AUTORREPARÁVEL Duane da Silva Moraes Helena Mesquita Biz Tatiana Louise Avila de Campos Rocha Cristiane Krause Santin  <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.51521061011">https://doi.org/10.22533/at.ed.51521061011</a>	

**CAPÍTULO 12..... 149**

**LAJOTAS DE PISO TÁTIL PREPARADAS COM ADIÇÃO DE *FLAKES* DE POLIESTIRENO RECICLADO COMO AGREGADO MIÚDO EM ARGAMASSA**


Debora Scopel  
Mateus Vosgnach  
Vinicio Ceconello  
Ana Maria Coulon Grisa  
Edson L. Francischetti  
Mara Zeni Andrade

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.51521061012>

**CAPÍTULO 13..... 159**

**ADSORCION DE XANTATO ISOPROPILICO DE SODIO EN LA GALENA**


Claudia Veronica Reyes Guzman  
Leonor Muñoz Ramírez  
Sergio García Villarreal  
Gloria Guadalupe Treviño Vera  
Aglae Davalos Sánchez  
Gema Trinidad Ramos Escobedo  
Manuel García Yregoi  
Evelyn Rodríguez Reyna  
Samuel Chacón de la Rosa  
Luis Rey García Canales

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.51521061013>

**CAPÍTULO 14..... 170**

**ADSORCION DE CIANURO EN CARBON ACTIVADO DE CASCARA DE TAMARINDO**

Claudia Veronica Reyes Guzmán  
Leonor Muñoz Ramírez  
Sergio García Villarreal  
Gloria Guadalupe Treviño Vera  
Aglae Davalos Sánchez  
Gema Trinidad Ramos Escobedo  
María Gloria Rosales Sosa  
Evelyn Rodríguez Reyna  
Samuel Chacón de la Rosa  
Luis Enrique Barajas Castillo


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.51521061014>

**CAPÍTULO 15..... 180**

**DESENVOLVIMENTO DE MEMBRANAS DE QUITOSANA/GELATINA/FÁRMACO PARA REGENERAÇÃO DA SUPERFÍCIE OCULAR**

Amanda Eliza Goulart Gadelha  
Wladýmjr Jéfferson Bacalhau Sousa  
Albaniza Alves Tavares  
Rossembérg Cardoso Barbosa  
Maria Dennise Medeiros Macêdo

Thiago Cajú Pedrosa  
Ana Caroline Santana de Azevedo  
Fernando Melo Gadelha  
Kleilton Oliveira Santos  
Marcus Vinícius Lia Fook

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.51521061015>

**CAPÍTULO 16..... 194**

**META-ARAMIDAS: DE UMA PERSPECTIVA DE PROTEÇÃO PESSOAL A UMA PERSPECTIVA AMBIENTAL**


Natália de Oliveira Fonseca  
Íris Oliveira da Silva  
Francisco Claudivan da Silva  
Késia Karina de Oliveira Souto Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.51521061016>

**CAPÍTULO 17..... 205**

**USINAS TERMELÉTRICAS E A SIDERURGIA**

Késsia de Almeida Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.51521061017>

**SOBRE O ORGANIZADOR..... 209**

**ÍNDICE REMISSIVO..... 210**

# CAPÍTULO 2

## ESTUDO DA INFLUENCIA DA ADIÇÃO DO WC NANOESTRUTURADO NAS PROPRIÉDADES DO AÇO MA957

Data de aceite: 01/10/2021

Data de submissão: 18/07/2021

### **Kívia Fabiana Galvão de Araújo**

Programa de Pós Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais - UFRN  
Natal – Rio Grande do Norte  
<http://lattes.cnpq.br/7417492840221304>

### **Maria José Santos Lima**

Programa de Pós Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais - UFRN  
Natal – Rio Grande do Norte  
<http://lattes.cnpq.br/6128055245350646>

### **Fernando Erick Santos da Silva**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
- UFRN  
Natal – Rio Grande do Norte  
<http://lattes.cnpq.br/9074860488805508>

### **Cléber da Silva Lourenço**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
- UFRN  
Natal – Rio Grande do Norte  
<http://lattes.cnpq.br/2466694241417558>

### **Uilame Umbelino Gomes**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
- UFRN  
Natal – Rio Grande do Norte  
<http://lattes.cnpq.br/9858094266525225>

**RESUMO:** O Aço MA957 é um aço inoxidável com bom desempenho em suas aplicações, porém exibe uma deficiência na dureza quando

comparado com aços de aplicações semelhantes. Isso pode ser resolvido através da adição de materiais de reforço, formando assim um material compósito. Desse modo, neste trabalho estudou-se o comportamento do Aço MA957 reforçado com WC nanoestruturado. Iniciando pela síntese do WC nanoestruturado e pela moagem do cavaco de Aço MA957. Em seguida estes pós foram misturados através da moagem de alta energia nas proporções de 5% e 10% em peso do reforço, sendo estes caracterizados por FRX, DRX e MEV. A análise de FRX, revelou que as amostras não foram contaminadas pelo processo de moagem. As análises de DRX mostraram que o WC foi obtido como tamanho de cristalito nanométrico e sem a presença de fases indesejadas. No MEV observa-se que houve uma boa dispersão e redução do tamanho médio das partículas do Aço MA957-WC. Após a compactação das amostras e sinterização em temperatura de 1450°C, os corpos-de-prova foram caracterizados através dos ensaios de MEV, densidade Arquimedes e microdureza Vickers. Apresentando uma boa densidade, porém a amostra reforçada com 5% de WC apresentou menor densidade (87%) e menor porosidade que a amostra reforçada com 10% de WC (93%). As análises MEV confirmaram a presença dos poros na estrutura do sinterizado. A microdureza para a amostra com 10% de WC (153,56 Hv) foi maior que a microdureza para a amostra com 5%. (144,44 Hv).

**PALAVRAS - CHAVE:** Aço MA957; WC nanoestruturado; Síntese; Compósito de Matriz Metálica.

# STUDY OF THE INFLUENCE OF THE ADDITION OF NANOSTRUCTURED WC ON MA957 STEEL PROPERTIES

**ABSTRACT:** The MA957 steel is a stainless steel with good performance in its applications, but exhibits a deficiency in hardness when compared to steels of similar applications. This can be solved by adding reinforcing materials, thus forming a composite material. Thus, in this work, the behavior of steel MA957 reinforced with nanostructured WC was studied. Starting with the synthesis of the nanostructured WC and the grinding of the MA957 steel chip. Then these powders were mixed by high-energy grinding in proportions of 5% and 10% by weight of the reinforcement, these were characterized by FRX, DRX and MEV. FRX analysis revealed that the samples were not contaminated by the milling process. The XRD analysis showed that the WC was obtained as a nanometric crystallite size and without the presence of unwanted phases. In the SEM it is observed a good dispersion and reduction in the average particle size of Steel MA957-WC. After compaction of the samples and sintering at a temperature of 1450°C, the specimens were characterized using SEM, Archimedes density and Vickers microhardness tests. Presenting a good density, but the sample reinforced with 5% WC had lower density (87%) and lower porosity than the sample reinforced with 10% WC (93%). SEM analyzes confirmed the presence of pores in the sintered structure. The microhardness for the sample with 10% WC (153.56 Hv) was greater than the microhardness for the sample with 5%. (144.44 Hv).

**KEYWORDS:** MA957 steel; Nanostructured WC; Synthesis; Metallic Matrix Composite.

## 1 | INTRODUÇÃO

Estudos já realizados comprovam a melhoria das propriedades dos aços com a adição de partículas de óxidos ou carbeto dispersos na matriz metálica, pois estes atuam como mecanismo de impedimento do movimento das discordâncias que consequentemente evita a propagação de trincas e melhora a resistência à fluência e à fadiga (OLIVEIRA et al., 2015).

Os reforços particulados apresentam vantagens em comparação com as fibras contínuas, pois possuem menor custo de manufatura e possibilitam a utilização nos processos metalúrgicos convencionais, seguidos pelos processos de pós-processamento (OLIVEIRA et al., 2015). Assim, as propriedades do aço podem ser melhoradas de acordo com o tamanho de partículas, distribuição entre as fases, composição do material e microestrutura (SHON et al., 2007). Desse modo, carbeto de metais refratário como o WC nanoestruturados podem ser utilizados como reforços para os aços (OLIVEIRA et al., 2015).

A liga MA957 é um aço ferrítico fortalecido por Dispersão de Óxidos (ODS) (CUNNINGHAM et al., 2016) e tem como composição nominal de Fe, 14% em peso de Cr, 0,9% de Ti, 0,3% de Mo e 0,25%  $Y_2O_3$  (MIAO et al., 2007; MILLER et al., 2004). É composta principalmente por nanopartículas coerentes finamente dispersas na matriz. As partículas com diâmetro superior a 5 nm são principalmente identificadas como partículas do tipo

pirocloro( $Y_2Ti_2O_7$ ) (CUNNINGHAM et al., 2016; RIBIS; LOZANO-PEREZ, 2014), é também composta de grãos de ferrita em escala fina alongados na direção da extrusão, exibindo uma microestrutura uniforme de grãos alongados e algumas cavidades (MIAO et al., 2007).

No presente estudo, pós de composição nominal 90%p.Aço MA957 com 5%p.WC e 10%p.WC foram processados via moagem de alta energia por 10 horas e posteriormente processados por sinterização, visando avaliar seu potencial para aplicações em ferramentas de corte, brocas e micro brocas. A microestrutura e as propriedades mecânicas foram avaliadas usando técnicas avançadas de caracterização de materiais.

## 2 | METODOLOGIA

Para a preparação dos pós iniciais, o aço MA957 foi refinado por meio do moinho SPEX em agitação constante, por 16 minutos, usando jarra de WC, com carga (relação massa-bola) de 1:10, a seco. Seguido do peneiramento a 60 mesh (0,250 mm) de abertura.

O WC nanoestruturado, foi sintetizado de acordo com a metodologia indicada por (OLIVEIRA et al., 2015). Posteriormente, fez-se a mistura dos pós nas proporções de 5%p.WC e 10%p.WC no aço MA957, utilizando um moinho de alta energia, cadinho e esferas de metal duro. Sob rotação de 400 rpm, durante 10 horas, com uma proporção de massa de pó para massa de esferas de 1:20, utilizando a acetona como meio úmido.

Com o propósito de analisar a influência da etapa de moagem na morfologia deste pó, realizou-se uma mistura de forma manual em um almofariz de alumina com pistilo para a composição de 10% em peso de WC nanoestruturado.

Os pós de partida, assim como os pós já misturados foram caracterizados por XRF (SHIMADZU EDX-720), por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). O equipamento utilizado foi o FEG / ZEISS AURIGA (equipado com detector EDS), XRD (SHIMADZU XRD-6000, Cu-K $\alpha$ , a 30 kV e 30 mA, 2 °.min<sup>-1</sup>).

Foi utilizada 1 grama dos pós moídos, para cada amostra compactada, nas proporções de 5%p.WC e 10%p.WC, em uma matriz de 8 mm sob prensagem uniaxial a 400 MPa. Após isso, fez-se as medições dos corpos-de-prova (CPs) compactados (Tabela 1), para calcular as suas respectivas densidades.

A sinterização ocorreu em um forno acoplado ao dilatômetro a uma temperatura de 1450°C, seguida das medições (Tabela 1) e caracterizações por MEV equipado com detector de Espectroscopia de Dispersão de Energia (EDS). O equipamento utilizado foi o FEG / ZEISS AURIGA (equipado com detector EDS). A densidade aparente e a porosidade aparente das amostras sinterizadas foram determinadas pelo princípio de Arquimedes usando água destilada como meio de imersão. A microdureza Vickers foi determinada em um microdureto digital PANTEC (modelo: MV2000A) sob carga de 100g por 15 segundos em 5 pontos distintos, sendo esses no centro e nas 4 bordas, com distância de 2 mm do centro.

Sinterização	Amostras	Diâmetro (mm)	Altura (mm)
Antes	Aço MA957-5%WC	8,24	4,26
	Aço MA957-10%WC	8,26	4,02
Após	Aço MA957-5%WC	7,36	3,89
	Aço MA957-10%WC	7,27	3,77

Tabela 1. Dimensões dos corpos de prova antes e após a sinterização (Autora).

Amostra	Peso submerso	Peso úmido	Peso seco
Aço MA957-5%WC	0,8113 g	0,9583 g	0,9533 g
Aço MA957-10%WC	0,8002 g	0,9303 g	0,9242 g

Tabela 2. Valores dos pesos das amostras em diferentes condições (Autora).

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Caracterização do WC

As análises de FRX e DRX indicaram que a síntese resultou em um WC puro e sem indícios de contaminação, apresentando 100% de W. Na Figura 1 são apresentados os padrões experimentais de DRX com apenas os picos característicos de WC identificados, observa-se também picos alargados e com baixa intensidade, fato que caracteriza a formação do WC nanoestruturado. Com isso, mostra-se a eficácia do processo de síntese adotado neste trabalho.

Através do software X-Pert HighScore Plus, as fases dos pós foram identificadas e o tamanho médio de cristalito foi calculado fazendo uso da equação de Scherrer, disponível no software. Para o cálculo do tamanho de cristalito foram utilizados os dados dos picos mais intensos (100), (101) e (110) do difratograma. Sendo assim possível encontrar uma carta padrão de DRX para o WC, codificada com a referência (NR:00-051-0939) na base de dados cristalográficos.

A análise confirmou a formação do WC de estrutura hexagonal e tamanho médio de cristalito de 15 nm.



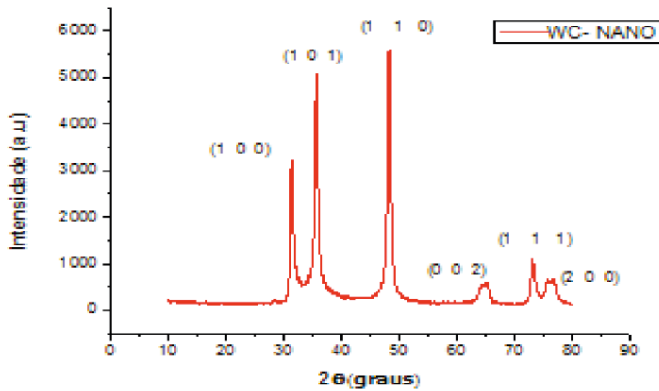


Figura 1. Difratoograma de Raios-X do WC manométrico (Autora).

O MEV-FEG do WC, Figura 2 (a) e (b), apresentou para o produto resultante da carborredução uma morfologia, predominantemente, uniforme formada de pequenas e finas partículas, algumas interligadas e outras não. Partículas finas, normalmente na escala nanométrica, possuem grandes áreas superficiais e frequentemente, na tentativa de minimizar a superfície total ou a energia de interface do sistema, aglomeram-se formando partículas secundárias (EDELTEIN; CAMMARATA, 1996; FERREIRA; RANGEL, 2009), fato observado na Figura 2 (b).

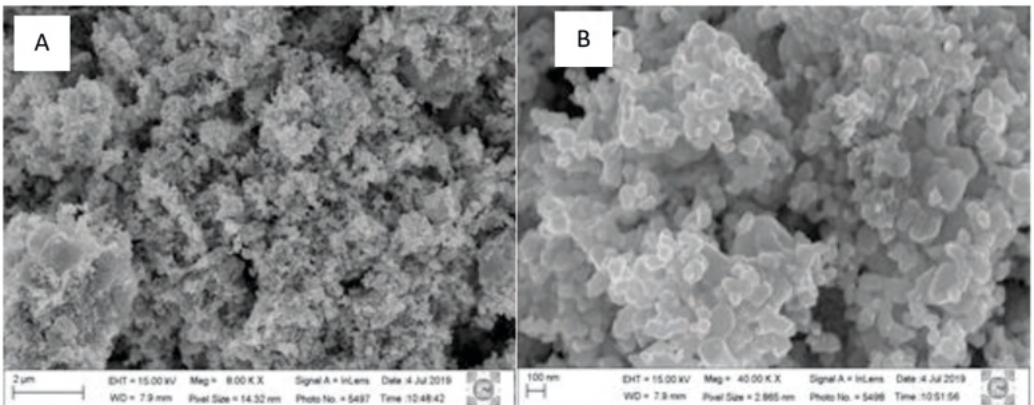


Figura 2. Micrografias via MEV do WC sintetizados com aumento de (a) 8.000x e (b) 40.000 x (Autora).

### 3.2 Caracterização do Aço MA957

A análise de FRX do aço indicou a seguinte composição: 84,031% Fe; 13,687% Cr; 0,995% Ti; 0,701% Mo; 0,307% Al; 0,206% Si; e 0,074 %Ni. Sendo esta equivalente à composição característica do Aço MA957, sem indicação de contaminantes.

Através da análise de DRX do aço MA957 (Figura 3), foi possível identificar os picos característicos do aço, através da carta padrão Fe-Cr (NR:00-034-0396), e o mesmo apresenta uma estrutura cristalina cúbica.

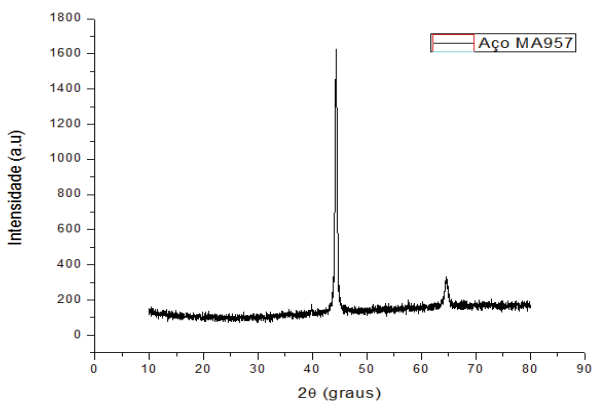


Figura 3. Difratograma de raio X do Aço MA957 (Autora).

As análises do MEV (Figura 4) revelaram a morfologia das partículas com tamanhos e formas variadas, confirmando a necessidade do refinamento do pó, este feito via MAE.

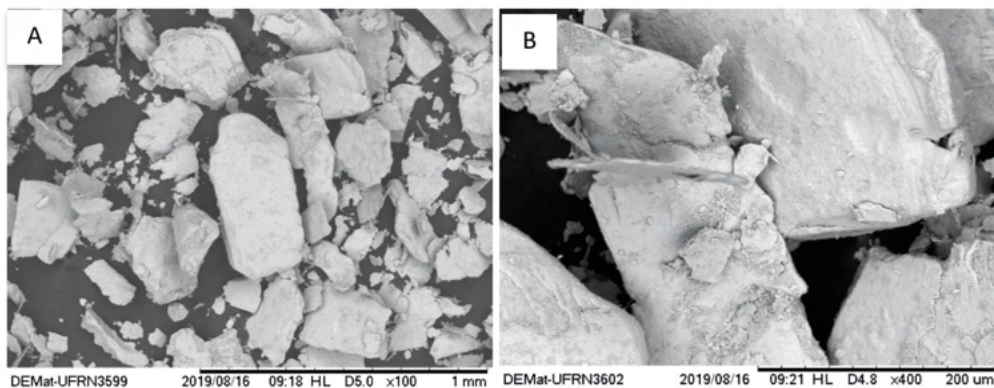


Figura 4. Micrografias via MEV do Aço MA957 com aumento de (a) 100 x e (b) 400 x (Autora).

### 3.3 Caracterização do CMM Aço MA957-WC

#### 3.3.1 Aço MA957-10%WC misturado mecanicamente

A análise de MEV do Aço MA957-10%WC misturado mecanicamente (Figura 5) mostra que não apresenta mudanças significativas na morfologia, quando comparado com

o do pó inicial (Figura 4). Na Figura 5 (b), as partículas do WC apresentam-se de cor mais clara, estando estas sobre as superfícies das partículas do aço, e se apresentam com tamanho inferior às do aço.

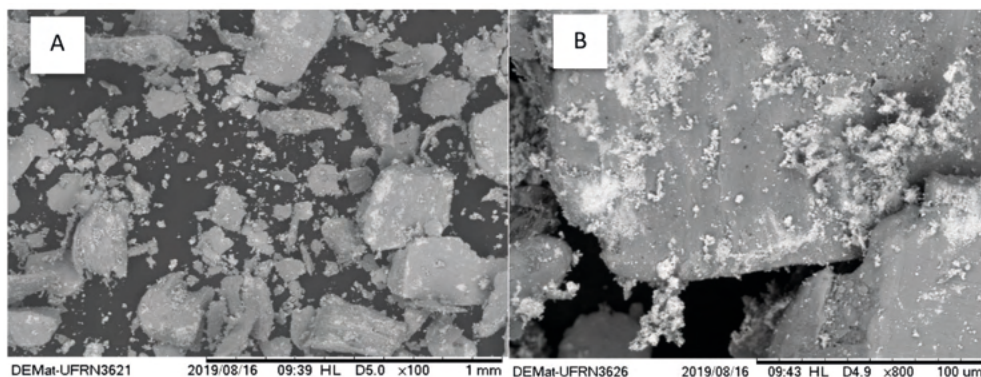


Figura 5. Micrografias Via MEV do Aço MA957-10%WC sem moagem com aumento de (a) 100 x e (b) 800 x (Autora).

### 3.3.2 Aço MA957-5%WC com moagem

A Figura 6 referente à micrografia do Aço MA957-5%WC submetido à MAE, mostra que houve o refinamento e a mudança na morfologia das partículas, em forma de placas, que é um indicativo de ocorrência de fragmentação das partículas do aço durante o processo de moagem dos pós. Nota-se, ainda na Figura 6 (b), a ocorrência da impregnação do WC sobre a superfície do aço.

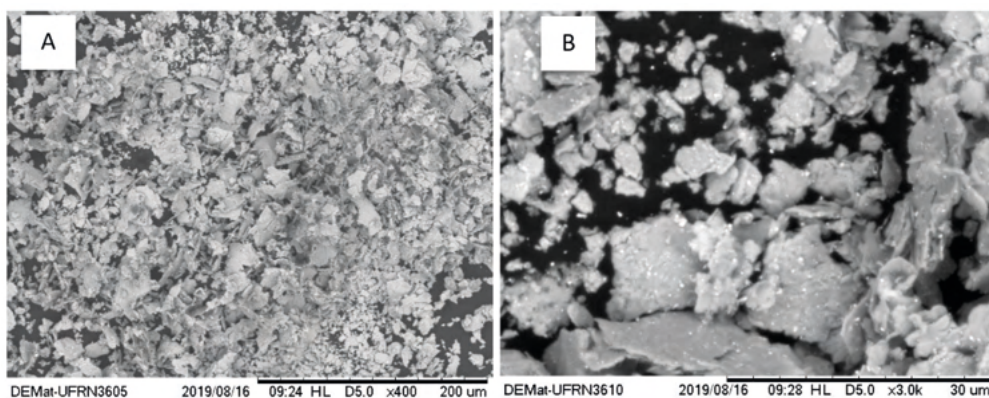


Figura 6. Micrografias via MEV do Aço MA957-5%WC com moagem com aumento de (a) 400 x e (b) 3000 x (Autora).

### 3.3.3 Aço MA957-10%WC com moagem

A Figura 7 apresenta a micrografia do Aço MA957-10%p.WC submetido à MAE, mostrando partículas em formas de placas, semelhante ao MA957-5%WC (Figura 6) não havendo, portanto, diferença significativa entre a morfologia e tamanho das partículas. Entretanto, a Figura 7 (b) revela uma maior quantidade de partículas de WC nas superfícies do aço, além de uma maior aglomeração, já esperada, devido a maior porcentagem de WC.

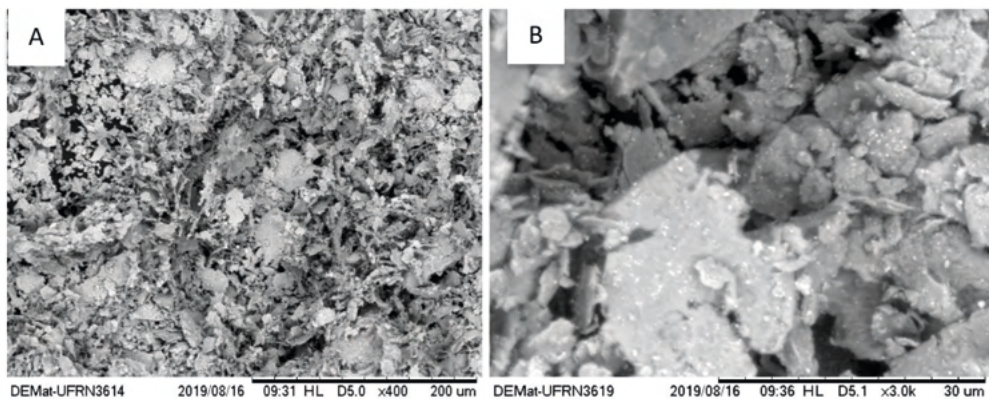


Figura 7. Micrografias via MEV do Aço MA957-10%WC com moagem (a) Aumento de 400 x (b) Aumento de 3000 x (Autora).

### 3.4 Fluorescência de Raio X

Na Tabela 3 estão expostos os resultados da análise de FRX das misturas nas proporções de 5%p.WC e 10%p.WC, indicando que não houve contaminação durante a moagem, e certificando as proporções de WC desejadas.

	Ferro (%)	Cromo (%)	Tungstênio (%)	Titânio (%)	Molibdênio (%)	Níquel (%)
Aço MA957-5%WC	79.070	15.203	3.812	0.976	0.867	0.071
Aço MA957-10%WC	78.217	12.744	7.409	0.886	0.659	0.084

Tabela 3. Resultados da Fluorescência de raio X para ambas as composições (autora).

### 3.5 Difratoograma de Raio X

A Figura 8, apresenta o difratograma do Aço MA957-5%WC, através dessa análise foi possível identificar os picos característicos das fases C, WC e do aço MA957, pelas respectivas cartas padrão NR:03-065-6212, NR:01-072-0097 e NR:03-065-7753. Apresentando estrutura cristalina Hexagonal (C e WC) e cúbica (aço MA957).



Já para o Aço MA957-10%WC (Figura 9) foi identificados apenas picos característicos das fases WC e aço MA957, pelas cartas padrão do WC (NR:01-073-0471) e do aço MA957 (NR:03-065-7753), apresentando estrutura cristalina hexagonal e cúbica, respectivamente.

Nota-se também uma maior intensidade nos picos de WC da Figura 9, que os da Figura 8, isso ocorre devido às quantidades distintas de WC nanoestruturado. Enquanto que os picos referentes ao Aço MA957 não apresentam uma diferença significativa na intensidade entre essas figuras, pois ambas foram submetidas ao mesmo tempo de moagem.

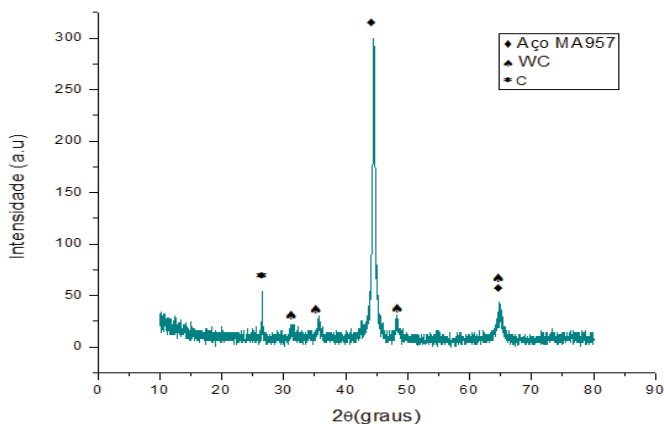


Figura 8. Difratoograma de raio X do Aço MA957-5%WC (autora).

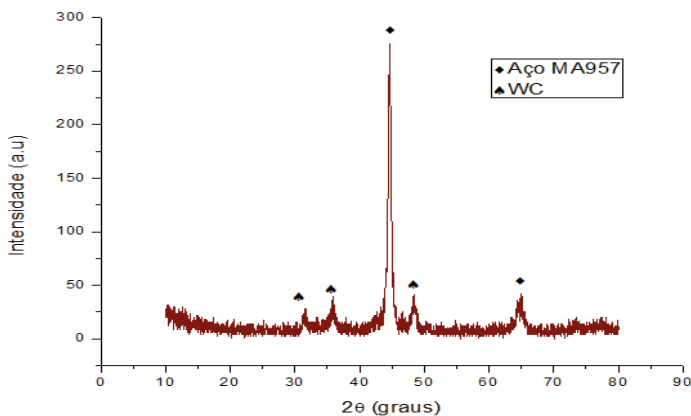


Figura 9. Difratoograma de raio X do Aço MA957-10%WC (autora).

### 3.6 Micrografia Eletrônica de Varredura (MEV)

As micrografias do Aço MA957-WC (Figuras 10 e 11) em ambas as proporções do reforço possibilita perceber uma considerável quantidade de poros.

Na Figura 11 (b) há contornos de grãos do aço em uma tonalidade mais clara, o que, acredita-se ser a concentração do WC neste local, pois não ocorreu o mesmo na amostra com 5% de WC (Figura 10), crê-se, portanto, que essa proporção é insuficiente para exibir tal comportamento. Ainda na Figura 11 (b), acredita-se que a fase mais escura corresponde à impregnação nos poros da solução de alumina, utilizada durante o processo de polimento da amostra. Entretanto, só é possível confirmar através da análise por MEV-EDS.

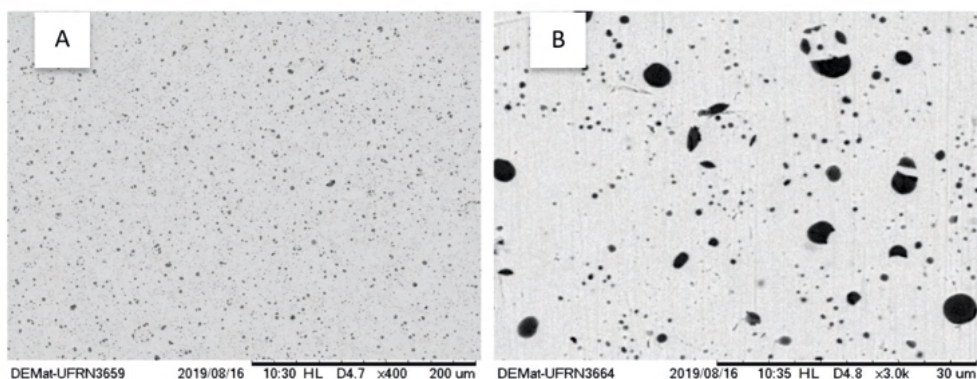


Figura 10. Micrografias via MEV do Aço MA957-5%WC com aumento de (a) 400 x (b) 3000 x (autora).

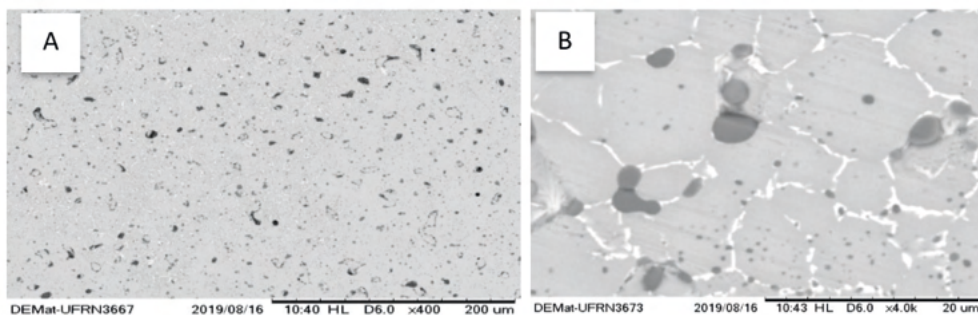


Figura 11. Micrografias via MEV do Aço MA957-10%WC com aumento de (a) 400x e (b) 4000x (autora).

### 3.7 Densidade

As densidades calculadas com base nos valores da Tabela 2 e a porosidade são apresentadas na Tabela 4. Esta indica, portanto, que o Aço MA957-10%WC possui uma maior quantidade de poros que o MA957-5%WC, justificado pela quantidade de WC, já que pós nanométricos tende a se aglomerar e formar poros em compactados (FERREIRA;

RANGEL, 2009; FERNANDES et al., 2014). Podendo também ser consequência do método de sinterização utilizado que difere de outros métodos com densidades próximas a 100% e alta redução dos poros.

O MA95710%WC exibe maior porcentagem de porosidade e maior densidade, isso porque o WC possui alta densidade teórica (15,63 g/cm<sup>3</sup>).

As densidades relativas obtidas para o Aço MA957-5%WC e Aço MA95710%WC foram respectivamente, 87% e 93%.

Amostra	Porosidade (%)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
Aço MA957-5%WC	3,4014	6,4850
Aço MA957-10%WC	4,6887	7,1038

Tabela 4. Resultados das densidades das amostras (autora).

### 3.8 Dureza

A Tabela 5 apresenta os valores de microdureza para o aço MA957 sem reforço e de ambas as composições do CMM. Com isso, observa-se que o valor da microdureza aumenta de forma diretamente proporcional ao aumento da quantidade de WC, o mesmo é notado nos valores da densidade (Tabela 4).

Amostra	Aço MA957	Aço MA957-5%WC	Aço MA957-10%WC
Microdureza (HV)	137,4	144,44	153,56

Tabela 5. Medidas de microdureza das amostras sinterizadas (autora).

## 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho, portanto, possibilitou perceber que a adição do WC nanoestruturado beneficia as propriedades mecânicas do aço MA957, mais precisamente a dureza, de maneira proporcional ao aumento do reforço. Assim como, mostrou que o refinamento dos pós de partida através da MAE e a sinterização de partículas em escala nanométrica são fundamentais para obter uma boa dispersão na matriz. Já que, a mistura mecânica não apresentou bons resultados de dispersão e refinamento. A partir disso, garante-se uma maior uniformidade das propriedades da peça, entretanto partículas com alta energia superficial tendem a se aglomerar, resultando em uma quantidade considerada de poros, podendo ser resolvido alterando a técnica de sinterização.

## AGRADECIMENTOS

À CNPq; À CAPES e À UFRN.

## REFERÊNCIAS

CUNNINGHAM, N.J. et al. **On nano-oxide coarsening kinetics in the nanostructured ferritic alloy MA957: A mechanism based predictive model.** Materials Science and Engineering: A, v.655, 8 February 2016, pages 355–362.

EDELSTEIN, A.S. E CAMMARATA, R. C., **Nanomaterials: synthesis, properties and applications,** Physics Publishing, London, 1996.

FERNANDES, C.M. et al. **Mechanical Characterization of WC-10% AISI 304 Cemented Carbides,** Materials Science & Engineering A, 618(2014) p. 629-636.

FERREIRA, H. S.; RANGEL, M. C. **Nanotecnologia: aspectos gerais e potencial de aplicação em catálise.** Química Nova, [s.l.], v. 32, n. 7, p.1860-1870, 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422009000700033>.

MIAO, P. et al. **The microstructure and strength properties of MA957 nanostructured ferritic alloy joints produced by friction stir and electro-spark deposition welding.** Journal Of Nuclear Materials, [s.l.], v. 367-370, p.1197-1202, ago. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnucmat.2007.03.232>.

MILLER, M. K et al. **Nanometer scale precipitation in ferritic MA/ODS alloy MA957.** Journal Of Nuclear Materials, [s.l.], v. 329-333, p.338-341, ago. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnucmat.2004.04.085>.

OLIVEIRA, L. A. et al. **Metal Matrix Composites Added of Nanostructured Tantalum Carbide, Sintering Techniques of Materials,** Arunachalam Lakshmanan, IntechOpen, Abril, 2015. DOI: 10.5772/59187.

RIBIS, J.; **Lozano-Perez, S. Nano-cluster stability following neutron irradiation in MA957 oxide dispersion strengthened material.** Journal of Nuclear Materials, v. 444, Issues 1–3, January 2014, p. 314–322.

SHON, In-jin et al. **Sintering behavior and mechanical properties of WC–10Co, WC–10Ni and WC–10Fe hard materials produced by high-frequency induction heated sintering.** Ceramics International, [s.l.], v. 35, n. 1, p.339-344, jan. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2007.11.003>.



## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Aço MA957 4, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28

Aços inoxidáveis 4, 30, 31, 36

Adsorción 159, 160, 162, 163, 165, 167, 168, 170, 171, 172, 174, 175, 176, 177, 178

Alumínio 4, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 95, 141

Argamassa 6, 112, 149, 150, 156, 157, 158

Austenita 30, 31, 36

Autorreparação 132, 133, 134, 136, 138, 143, 144, 145, 146, 147

### B

Biomateriais 180, 181, 182

Biopolímeros 172, 181, 187

Borracha 5, 90, 106, 108, 115, 116, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 125, 127, 129, 130, 132, 133, 134, 135, 137, 140, 147

### C

Cascara 6, 170, 171, 173, 174, 175, 176, 177, 178

Cianuro 6, 170, 171, 174, 175, 176, 177, 178

Combustível nuclear 30

Compressão 30, 31, 33, 36, 40, 41, 96, 106, 108, 112, 113, 119, 121, 124, 125, 128, 129, 149, 150, 151, 154, 155, 158

Concreto 5, 100, 106, 107, 108, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 119, 120, 121, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 150, 157, 158

Conforto Humano 149

### D

Deformação a Frio 38, 40, 41, 42

Desorción 160

### E

Eficiência de corrente 46

Eletrocromismo 84

Eletrodeposição reversível 84, 85, 86, 87

Eletrogalvanização 45, 46

ENR50 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146

Ensaio visual 56, 57, 58

Estudo Bibliométrico 4, 1, 2

## **F**

Fármaco 6, 180, 181, 183, 185, 186, 187, 188, 189, 190

Ferritoscopia 30, 31, 35, 36

## **G**

Galena 6, 159, 160, 161, 162, 164, 165, 166, 167, 168, 169

Geotêxteis 194, 201, 202

## **I**

Incêndios florestais 194, 195, 199, 200

## **L**

Lajota Piso Tátil 149

Laminação 30, 31, 32, 34, 35, 36, 39, 69

## **M**

Martensita 30, 31, 36

Meta-Aramidas 7, 194, 195, 196, 197, 199, 200, 203

Morfologia do revestimento 46

## **P**

Parâmetros operacionais 46

Poliestireno 6, 14, 15, 133, 149, 150, 156, 157, 158, 185

Polímeros 3, 5, 1, 2, 3, 6, 7, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 82, 84, 86, 90, 147, 158, 182, 192, 195, 196, 203

## **R**

Resíduos 5, 78, 79, 80, 82, 83, 94, 99, 103, 106, 107, 108, 110, 116, 119, 123, 125, 127, 129, 130, 131, 157

Reticulação com peróxido 132

Revestimento metálico 46

## **S**

Síntese 18, 21, 158

Soldagem 41, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 209

Superfície ocular 6, 180, 181, 182, 190, 191, 193

Sustentabilidade 103, 104, 106, 108, 127, 149

Sustentável 80, 81, 94, 98, 99, 106, 107, 108, 116, 127, 130, 150

## **T**

Tamarindo 6, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179

Textura 30, 36, 37, 150

Tratamentos Térmicos 38, 39, 41

Tubos de papelão 5, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 103, 104, 105

## **W**

WC nanoestruturado 4, 18, 20, 21, 26, 28

# COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

## ENGENHARIA DE MATERIAIS E METALÚRGICA 2

- 
- 🌐 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
  - ✉ [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
  - 📷 @atenaeditora
  - 📘 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

COLEÇÃO

# DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE MATERIAIS E METALÚRGICA 2

- 
- 🌐 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
- ✉ [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
- 📷 @atenaeditora
- 📘 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)