

# **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)

134	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](http://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

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
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>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2341902041</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>8</b>
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>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2341902042</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>15</b>
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>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2341902043</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>21</b>
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>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2341902044</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>30</b>
DESEMPENHO DE REAGENTES NA FLOTAÇÃO COLETIVA DE SULFETOS DE UM REJEITO AURÍFERO PARAIBANO	
<i>Marcelo Rodrigues do Nascimento</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2341902045</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>40</b>
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>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2341902046</b>	

**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**

<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>128</b>
UMA REVISÃO SOBRE A TECNOLOGIA DE PROCESSAMENTO DE LIGAS METÁLICAS NO ESTADO SEMISSÓLIDO	
<i>Luis Vanderlei Torres</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.23419020412</b>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>141</b>
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>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.23419020413</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>149</b>
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>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.23419020414</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>161</b>
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>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.23419020415</b>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>171</b>
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>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.23419020416</b>	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES</b> .....	<b>179</b>

## ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA DISTÂNCIA ENTRE CAMADAS NA TÉCNICA DE RECONSTRUÇÃO 3D POR SEÇÃO SERIAL

### **Wesley Luiz da Silva Assis**

Universidade Federal Fluminense  
Volta Redonda – Rio de Janeiro

### **Talita Fonseca dos Prazeres**

Universidade Federal Fluminense  
Volta Redonda – Rio de Janeiro

### **Ana Beatriz Rodrigues de Andrade**

Universidade Federal Fluminense  
Volta Redonda – Rio de Janeiro

### **Douglas de Oliveira**

Universidade Federal Fluminense  
Volta Redonda – Rio de Janeiro

**RESUMO:** A caracterização em 3D vem ganhando grande importância junto as outras técnicas convencionais de análises metalográficas. O advento da computação impulsionou os desenvolvedores de softwares analisadores de imagem que possibilitam reconstruir e analisar as micrografias em três dimensões. Todavia, ainda não existe nenhum estudosistemáticosobreoserroscomputacionais intrínsecos ao processo de reconstrução microestrutural. O método estudado neste trabalho é o método do seccionamento em série seguido de reconstrução em 3D. Este trabalho estuda o efeito da quantidade de planos capturados a serem utilizados no processo de reconstrução 3D, na qualidade da microestrutura reconstruída. Neste estudo

foi utilizada uma microestrutura 3D virtual construída a partir de um processo de Poisson Voronoi. O processo de seccionamento em série foi aplicado nesta microestrutura simulada, logo após a separação dos planos que compõe a microestrutura, realizou-se a reconstrução. Ao final do trabalho foi possível observar que a quantidade de planos tem influência direta nas microestruturas reconstruídas em 3D. Em casos reduções de quantidade de planos mais severa, ocorreram até perdas completas de alguns grãos na microestrutura.

**PALAVRAS-CHAVE:** Seccionamento em série, reconstrução 3D, Poisson Voronoi, microestrutura 3D, caracterização 3D.

**ABSTRACT:** The 3D characterization has gained great importance as the other conventional techniques of metallographic analysis. The advent of computing has boosted image analysis software that enables the reconstruction and analysis of three-dimensional micrographs. There is no a systematic study about the computational errors intrinsic to the microstructural reconstruction process. The method studied in this work is the serial sectioning method of 3D reconstruction. This work studies the effect of the number of planes captured in 3D reconstruction processes on the quality of the reconstructed microstructure. In this work, a 3D virtual microstructure was constructed from



a Poisson Voronoi process. The serial sectioning process was applied in this simulated microstructure, just after the separation of the planes that make up a microstructure, a reconstruction was carried out. The work was able to observe the changes in the reconstructed microstructures in 3D. In cases of particle reductions of more severe planes, they were concluded based on some grains in the microstructure.

**KEYWORDS:** Serial sectioning, 3D reconstruction, Poisson Voronoi, 3D microstructure, 3D characterization.

## 1 | INTRODUÇÃO

Na caracterização dos materiais a estrutura é fator determinante de suas propriedades, que por sua vez, influem no desempenho em serviço dos materiais, o que resulta na relevância de seu estudo. Na avaliação tanto de microestruturas quanto macroestruturas de materiais metálicos, um dos problemas mais significativos se associa ao fato de técnicas analíticas disponíveis serem utilizadas para observação de seções bidimensionais de estruturas que são tridimensionais (Colpaert, 2008). Contudo, para o pleno entendimento da relação entre estrutura e propriedades, é fundamental que os pesquisadores de materiais compreendam a forma tridimensional da microestrutura (LANZAGORTA et al, 1998).

Nesse sentido, a reconstrução microestrutural em três dimensões fornece informação mais precisa em relação a morfologia do material (Cerqueira et al, 2015). A informação completa de espaço contida em imagens tridimensionais permite, dentre outras, estimativas de tamanho de partícula sem pressupostos de forma, análise direcional detalhada e percepções sobre a conectividade tridimensional em uma estrutura (Ohser; Schladitz, 2009). O seccionamento em série de seções microestruturais em duas dimensões, com reconstrução e visualização assistida por computador, tem sido cada vez mais utilizado como técnica para a visualização tridimensional de microestruturas (Sidhu; Chawla, 2004).

Basicamente, o método de seccionamento em série compreende a obtenção de uma série de imagens de caracterização bidimensional de uma microestrutura, a partir de seções planas da superfície de uma amostra onde, idealmente, uma profundidade constante de remoção de material ocorre a cada seção, ou seja, há um decréscimo em espessura a cada seccionamento. Em seguida, programas de computador são utilizados para construir uma matriz em 3D a partir da série de arquivos de dados de caracterização coletados em 2D, que podem ser posteriormente renderizados como uma imagem ou analisados para parâmetros morfológicos ou topológicos (Uchic, 2011).

A técnica pode ser realizada manualmente com equipamento de laboratório padrão, mas tem por desvantagem o fato de destruir o volume da amostra examinada durante a sequência de coleta de dados (Uchic; Groeber; Rollett, 2011). Acaba também

por ser um processo demorado na criação das imagens bidimensionais, devido ao volume necessário para se criar uma imagem tridimensional. Um aspecto essencial na aplicação da técnica está associada a quantidade do material que é retirada a cada seccionamento, que deve ser cuidadosamente controlada para reduzir a variabilidade e garantir consistência no processo (Barry, 2008). A cada remoção de material, incorre-se uma distância entre as seções. Sendo assim, este estudo propõe o estudo da influência da distância entre as seções na aplicação do método de seccionamento em série, visto ser um aspecto imprescindível à uma reconstrução confiável.

## 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Método de seccionamento em série

Conceitualmente o método é simples, sendo realizado iterativamente até o término do experimento (Uchic, 2011). Segundo Baldissera et al (2007), o processo consiste em obter uma imagem em microscópio de uma região do plano da microestrutura, com posterior polimento da amostra para retirada de pequenas camadas da mesma. Em seguida, novas imagens são obtidas, dos planos localizados exatamente abaixo dos planos anteriores. O procedimento é então realizado repetidas vezes para gerar uma pilha de seções que poderá ser renderizada para a visualização de uma microestrutura em 3D.

A Figura 1 ilustra as seções transversais para reprodução de uma forma esférica em três dimensões. De acordo com Alkemper e Voorhees (2001) são necessárias de 50 a 150 seções transversais para obtenção de uma boa informação de forma, e a preparação de uma única amostra pode levar semanas; porém, já existem técnicas que permitem a obtenção de 20 seções por hora. E, segundo os autores, um dos problemas associados a este método é garantir que a distância entre duas seções seja conhecida com precisão. Outras dificuldades estão relacionadas ao alinhamento das imagens em relação ao deslocamento e inclinação horizontal e ao tempo despendido no processo.

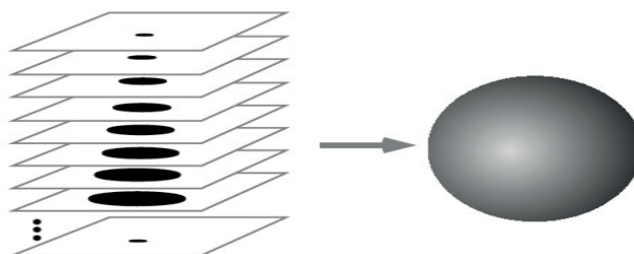


Figura 1: Seções transversais usadas para reconstruir uma forma em 3D.

Fonte: Alkemper; Voorhees, 2001.

## 2.2 Reconstrução microestrutural em 3D

Com o avanço das tecnologias e a transição para imagens digitais, os microscopistas tem manifestado uma necessidade ainda maior de programas computacionais capazes de organizar grandes quantidades de dados de imagem de seção serial, ao mesmo tempo que em facilitam medidas quantitativas e a visualização da estrutura em três dimensões (Fiala, 2005). A técnica de reconstrução microestrutural tridimensional permite visualizar as interconectividades, a morfologia, o tamanho e as distribuições espaciais de grãos e precipitados de qualquer perspectiva, com a possibilidade de retirada de qualquer porção do volume reconstruído com o intuito de facilitar a observação das áreas de interesse (FREITAS, 2008). A Figura 2 ilustra um volume de microestrutura reconstruída a partir do método de seccionamento em série e destaca um grão da mesma.

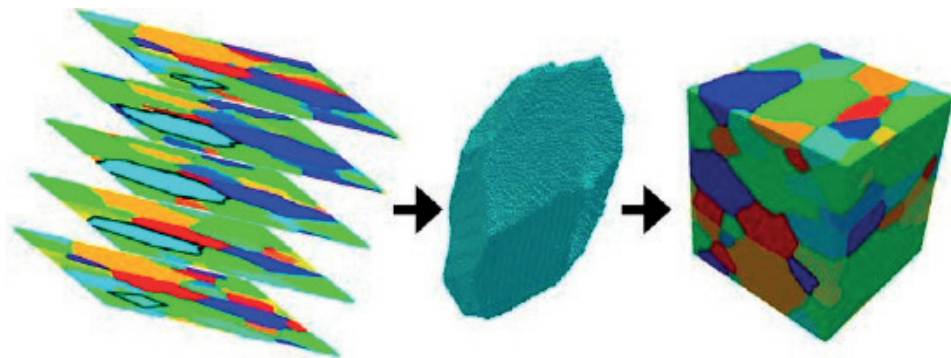


Figura 2: Seções transversais usadas para reconstruir uma forma em 3D.

Fonte: Alkemper; Voorhees, 2001.

Para Ghosh, Bhandari e Groeber (2008), é essencial que os modelos microestruturais sejam desenvolvidos com informações tridimensionais detalhadas. De acordo com os autores, modelos que envolvem extrapolações estatísticas de imagens de superfície ou de seção em 2D e os modelos morfologicamente “precisos” de reconstrução 3D de dados de seção serial gerados por FIB-SEM (Focused Ion Beam-Scanning Electron Microscope), que são métodos de reconstrução geralmente de natureza destrutiva, têm recebido considerável atenção.

Outros métodos de reconstrução em 3D incluem técnicas baseadas em ultra-som ou suas variantes, como microscopia acústica ou ultra-som a laser, que dependem de boas propriedades de reflexão e têm aplicação limitada em metais. Já os métodos de tomografia computadorizada de raios-X são largamente empregados na geração de modelos sólidos em 3D, mas geralmente deficientes na obtenção da resolução desejada para o estudo detalhado de metais policristalinos (Ghosh; Bhandari; Groeber, 2008).

### 3 | PROCEDIMENTO COMPUTACIONAL

Inicialmente gerou-se uma microestrutura virtual por simulação computacional. O processo de nucleação e crescimento de um material metálico puro genérico foi simulado pelo método do Cone Causal desenvolvido pelo grupo de pesquisa do Núcleo de Modelamento Microestrutural da Universidade Federal Fluminense. O modelo utilizado simula a reação de recristalização dos metais em estado sólido, e já foi validado e teve seus resultados em revistas internacionais e anais de congressos (Fonseca et al, 2018 e Alves et al, 2017). A microestrutura é formada por uma malha cúbica de  $200^3$  células totais em seu domínio. Dentro deste volume de controle discreto existem um total de 300 núcleos, que ao final da simulação computacional se tornaram grãos. Os grãos possuem formatos de poliedros de Voronoi devido a velocidade constante de crescimento e distribuição espacial aleatória. Estes parâmetros foram escolhidos devido aos bons resultados já obtidos e publicados em trabalhos prévios (Fonseca et al, 2018 e Alves et al, 2018).

Depois de ter a microestrutura simulada foi gerado um gráfico de visualização da mesma em 3D a partir do programa Tecplot 360®. No mesmo programa gerou-se as fatias em duas dimensões (plano XY) imagens (micrografias em cada plano na direção Z, para aplicar futuramente a técnica de reconstrução 3D via serial section.

A partir das micrografias, o próximo passo do experimento computacional foi realizar a reconstrução em 3D dos planos segmentados. Foram gerados 200 planos no total, todos extraídos da matriz original com auxílio do programa TecPlot306 ®. O valor 200 foi escolhido, porque é o máximo de planos que poderia ser gerado a partir da matriz virtual obtida por simulação computacional, uma vez que ela possui 200 pontos discretos em cada direção. Foram realizados cinco processos de reconstrução 3D com esta matriz. Variou-se o número de planos utilizados durante cada processo de reconstrução. No primeiro experimento foi utilizado o número máximo de planos, ou seja, 200. No segundo experimento utilizado somente 50% dos planos totais. E no terceiro experimento foram utilizados 25% dos planos totais, no quarto e no quinto, 12,5 e 6,25% dos planos totais respectivamente. A ideia foi reduzir sempre pela metade o número de planos na direção Z nas reconstruções subsequentes a primeira. Para a realização do processo de reconstrução em 3D, foi utilizado o programa ImageJ e o plugin Volume Viewer.

### 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 3 é a representação da microestrutura original gerada pela simulação computacional contendo os seus oito milhões de nós e visualizada a partir do programa de representação gráfica TecPlot 360 ®.

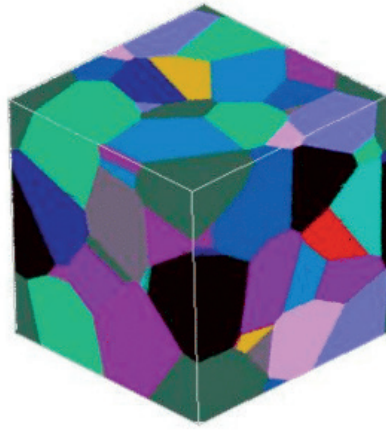


Figura 3 Imagem da microestrutura em 3D contendo  $200^3$  pontos em uma matriz cúbica.

Como foi dito na metodologia, em cada experimento computacional foi reduzido o número de planos (XY) para se realizar o processo de reconstrução em 3D. Na Figura 4 da representação “4 (a)” até a “4 (e)” observa-se uma queda na altura da microestrutura. O número de planos para a reconstrução em 3D foi reduzido pela metade em cada experimento numérico.

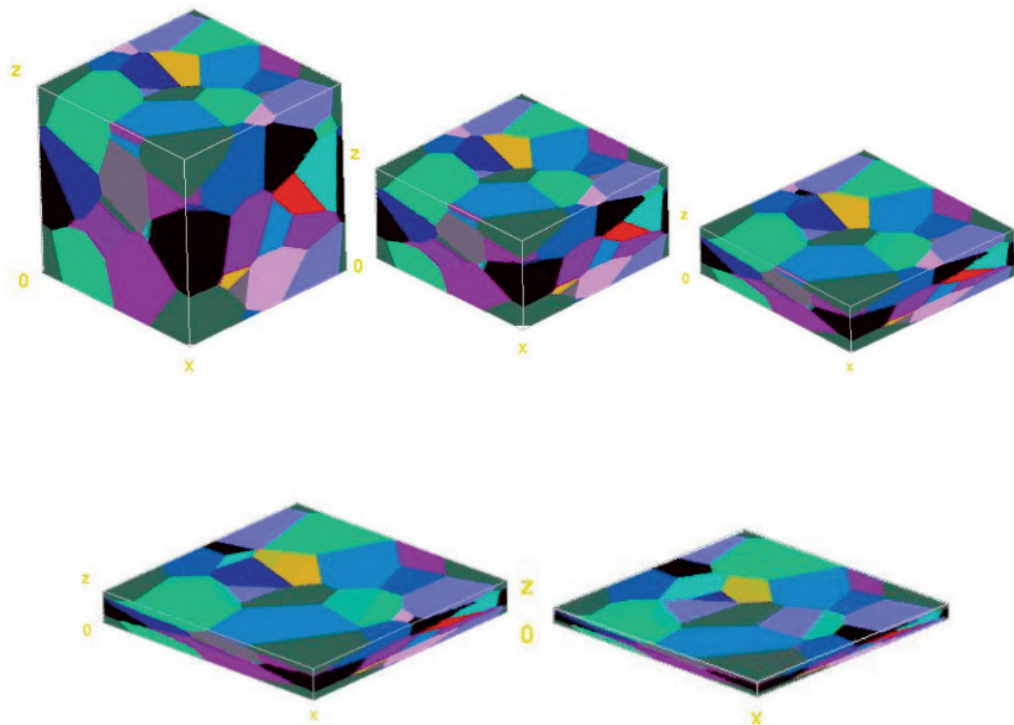


Figura 4 Microestrutura reconstruída em 3D com 100

A sequência de imagens na Figura 4 apresenta a redução de altura da microestrutura devido ao método utilizado. Foi realizada uma simples reconstrução com os planos disponíveis em cada experimento. O achatamento dos grãos ocorre, porque o volume de cada grão vai ser composto por um número de planos menor que na microestrutura original. A sequência de imagens da Figura 5 representa os mesmos experimentos da Figura 4, todavia, nas imagens da Figura 5 foram utilizados os preenchimentos dos

planos extraídos pela técnica de repetição dos planos superiores, até preencher os espaços vazios deixados entre dois planos.

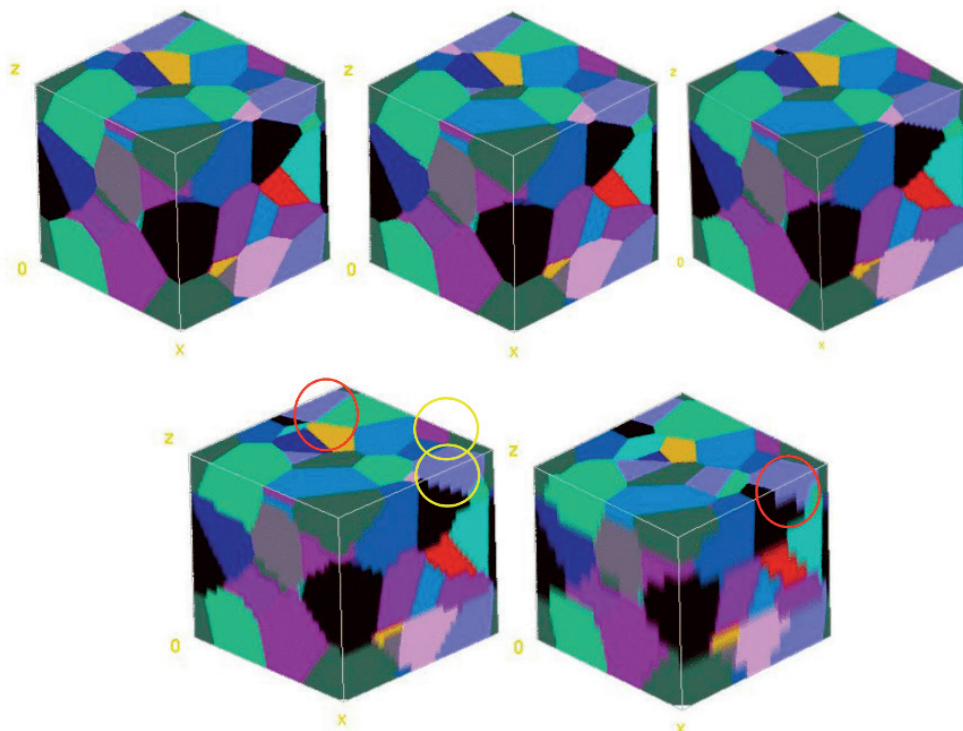


Figura 5 Microestrutura reconstruída em 3D com 200 planos

Observa-se uma queda de resolução da microestrutura reconstruída, de acordo com a diminuição do número de planos totais utilizados na reconstrução. Os dois métodos de reconstrução por *serial section* são importantes, porém, são muito sensíveis a redução do número de planos. Na figura 5 (e) foi destacada por um círculo vermelho um grão que perdeu totalmente a sua geometria inicial. Na figura 5 (e) também foi destacada por um círculo amarelo, um grão que sumiu completamente (grão rosa).

## 5 | CONCLUSÕES

A partir do experimento computacional foi possível observar que quanto menos planos são utilizados menor é a fidelidade geométrica dos grãos.

O achatamento dos grãos se torna visível a medida que se aumenta a distância entre os planos no eixo Z sem usar a correção de preenchimento do espaço entre planos.

Alguns grãos são completamente omitidos quando se utiliza uma distância muito grande entre os planos.

O estudo foi qualitativo, todavia mostra a grande importância de se escolher um grande número de seções 2D para realizar o processo de reconstrução 3D.

## REFERÊNCIAS

- ALKEMPER, J.; VOORHEES, P.W. **Quantitative serial sectioning analysis**. Journal of Microscopy, v. 201, Pt 3, pp. 388-394, march 2001.
- ALVES, ANDRÉ L.M.; ASSIS, W. L. S.; RIOS, P. R. **Computer simulation of sequential transformations**. ACTA MATERIALIA, v. 126, p. 451-468, 2017
- ALVES, ANDRÉ LUIZ MORAES; DA FONSECA, GUILHERME DIAS; DA COSTA, MARCOS FELIPE BRAGA ; ASSIS, W. L. S. ; RIOS, P. R. . **Evolution of Individual Grains in 3d Microstructure Generated by Computational Simulation of Transformations Involving Two Phases**. MATERIALS SCIENCE FORUM (ONLINE), v. 930, p. 305-310, 2018.
- BALDISSERA, M. R.; ASSIS, W. L. S; FREITAS, A. F. P.; RIOS, P. R. **Simulação do processo de reconstrução em três dimensões**. 62º Congresso Anual da ABM, Vitória - ES, 23 a 27 de julho de 2007.
- BARRY, E. P. **Three-dimensional reconstruction of microstructures in  $\alpha + \beta$  titanium alloys**. Thesis. Graduate School of The Ohio State University, 2008.
- COLPAERT, H. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns**. 4. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2008.
- CERQUEIRA, F. A.; NISHIKAWA, A. S.; GUESSER, W. L.; AZEVEDO, C. R. F. **Three-dimensional reconstruction of compacted graphite in vermicular cast iron by manual serial sectioning**. REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, 68 (3), pp. 307-312, jul./sep., 2015.
- FIALA, J. C. **Reconstruct: a free editor for serial section microscopy**. Journal of Microscopy, v. 218, Pt 1, 52–61, april 2005.
- FONSECA, GUILHERME DIAS ; ALVES, ANDRÉ LUIZ MORAES ; DA COSTA, MARCOS FELIPE BRAGA ; LYRIO, MARIANA SIZENANDO ; ASSIS, W. L. S. ; RIOS, P. R. **Modeling and Simulation of Nucleation and Growth Transformations with Nucleation on Interfaces of Kelvin Polihedra Network**. MATERIALS SCIENCE FORUM (ONLINE), v. 930, p. 299-304, 2018.
- FONSECA, GUILHERME DIAS DA ; SIQUEIRA, FELIPE DA SILVA ; ALVES, ANDRÉ LUIZ MORAES ; ASSIS, W. L. S. ; RIOS, P. R. **Microstructural descriptors to characterize computer simulated microstructures generated by nucleation on a Kelvin polyhedra network**. Journal of Materials Research and Technology-JMR&T, v. 7, p. 337-341, 2018.
- FREITAS, A. F. P. **Metalografia quantitativa tridimensional dos ferros fundidos nodular e cinzento**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Fluminense. 2008.
- GHOSH, S.; BHANDARI, Y.; GROEBER, M. **CAD-based reconstruction of 3D polycrystalline alloy microstructures from FIB generated serial sections**. Computer-Aided Design 40, pp. 293–310, 2008.
- LANZAGORTA, M.; KRAL, M. V.; SWAN II, J. E.; SPANOS, G.; ROSENBERG, R.; KUO, E. **Three-dimensional visualization of microstructures**. 1998.
- OHSER, J.; SCHLADITZ, K. **3D images of materials structures: Processing and analysis**. Weinheim: Wiley-VCH, 2009.
- SIDHU, R.S.; CHAWLA, N. **Three-dimensional microstructure characterization of Ag3Sn intermetallics in Sn-rich solder by serial sectioning**. Materials Characterization 52, pp. 225– 230, 2004.
- UCHIC, M. D.; GROEBER, M. A.; ROLLETT, A. D. **Automated serial sectioning methods for rapid collection of 3D microstructure data**. JOM, v. 63, pp. 25-29, 2011.
- UCHIC, M. D. **Serial sectioning methods for generating 3d characterization data of grain and precipitate-scale microstructures**. Computational Methods for Microstructure-Property Relationships, pp. 31-52, 2011.

## **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