

## **NANOARTE: CIÊNCIA E TECNOLOGIA DOS MATERIAIS**

### **NANOARTE: SCIENCE AND TECHNOLOGY OF MATERIALS**

Brendon Willian Guedes Barbosa<sup>1</sup>  
Luiz Fernando Vargas Malerba Fernandes<sup>1</sup>  
Bianca Siqueira Martins Domingos<sup>1</sup>  
Wellington de Oliveira<sup>1</sup>  
Jorge Luiz Rosa<sup>2</sup>  
Fernando Vernilli Júnior<sup>2</sup>  
Rosinei Batista Ribeiro<sup>1</sup>

\*Autor para correspondência: bwillianbw13@gmail.com  
*Artigo selecionado do IX Workshop de e III Congresso  
Internacional Design & Materiais - 2019*

**Resumo:** Os objetivos principais são evidenciar a parceria e a interlocução entre as áreas de engenharia de materiais, *design* e comunicação social que foram possíveis por meio da colaboração entre o Centro Universitário Teresa D'Ávila (Unifatea) e a Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo (EEL-USP), no Departamento de Materiais, contribuir com a popularização da nanociência e da nanotecnologia e ajudar na evolução das pesquisas relacionadas às áreas envolvidas. A metodologia foi baseada em duas etapas: a obtenção de micrografias em escala nanométrica mediante o microscópio eletrônico de varredura (MEV), com uma amostra de óxido de alumínio e de terra de diatomáceas, e o processamento digital das micrografias com a utilização de *softwares* de edição de imagens. As micrografias obtidas via MEV assemelham-se a imagens do nosso cotidiano, ou até mesmo a paisagens encontradas na natureza, abrindo, dessa forma, espaço para reflexões acerca da vida e da ciência.

**Palavras-chave:** nanoarte; nanotecnologia; microscópio eletrônico de varredura.

**Abstract:** The main objectives are to highlight the partnership and dialogue between the areas of materials engineering, design and media that were made possible through the partnership between Centro Universitário Teresa D'Ávila (Unifatea) and Escola de Engenharia de Lorena at the Universidade de São Paulo (EEL-USP), in the Materials Department, to contribute to the popularization of nanoscience and nanotechnology and to assist in the evolution of research related to the areas involved. The methodology was based on two steps: obtaining nanoscale micrographs using the scanning electron microscope (SEM)

---

1 Centro Universitário Teresa D'Ávila (Unifatea) – Lorena (SP), Brasil.

2 Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo (EEL-USP) – Lorena (SP), Brasil.

with a sample of aluminum oxide and diatomaceous earth, and digital processing of the micrographs using of image editing software. The micrographs obtained via SEM resemble the images of our daily lives, or even landscapes found in nature, thus opening space for reflections on life and science.

**Keywords:** nanoart; nanotechnology; scanning electron microscope.

## INTRODUÇÃO

A nanoarte não tem apenas o simples objetivo de desenvolver arte por meio das estruturas visualizadas nas micrografias geradas pelos diversos microscópios de nível atômico, mas expor essas configurações de forma compreensível até para os mais leigos. Este trabalho foi realizado em parceria com o Grupo de Pesquisa Materiais Cerâmicos, do Departamento de Engenharia de Materiais (Demar) da Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo (EEL-USP), e com o Grupo de Pesquisa Projetos de Produto e Tecnologias Sociais, do Laboratório de Materiais, Texturas e Modelagens (professor doutor Wilson Kindlein Júnior) – Centro Universitário Teresa D'Ávila (Unifatea).

As micrografias foram obtidas via microscópio eletrônico de varredura (MEV) nos laboratórios da EEL-USP, em que foram conhecidos todos os processos para fazer a análise de material e obter as micrografias, e em seguida ocorreram o processamento digital e a análise das imagens no laboratório do Unifatea, sendo discutidos e estudados aspectos das micrografias, quais cores usar e como dar sentidos as micrografias originais.

A fim de promover a popularização da nanociência, propôs-se a trabalhar com a nanoarte em diversas micrografias eletrônicas de varredura obtidas pelos grupos de pesquisa Materiais Cerâmicos e Projetos de Produto e Tecnologias Sociais, promovendo a reflexão acerca dos avanços dessa tecnologia e, portanto, sua evolução pensando nos benefícios para a sociedade.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### Nanociência e nanotecnologia

A nanociência consiste no estudo dos fenômenos e na manipulação de materiais nas escalas atômica, molecular e macromolecular, cujas propriedades diferem significativamente daquelas em escala maior. Já a nanotecnologia compreende a produção e a utilização de dispositivos e sistemas que manipulam materiais em escala nanométrica. Nanociência e nanotecnologia comumente são interpretadas como a mesma coisa, apesar de terem definições diferentes (CARVALHO, 2011).

Um nanômetro, reconhecido no Sistema Internacional de Unidades (SI) pela sigla nm, corresponde a 1 metro dividido por 1 bilhão, o equivalente a  $10^{-9}$  m. Para se ter uma ideia, isso equivale ao tamanho 100 mil vezes menor que o de um fio de cabelo (CDMF, 2015).

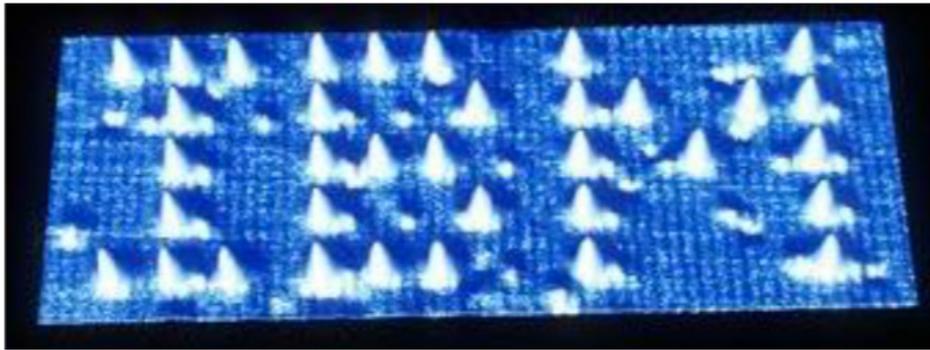
Desde a Antiguidade, a nanotecnologia já estava presente, porém os povos não tinham discernimento sobre ela nem sobre a manipulação nanométrica em si. Gregos produziam vasos com qualidades plásticas e cores que eram geradas por partículas nanométricas, e romanos desenvolviam vidros multicoloridos aplicando uma mistura de pó de ouro e prata que, por meio do reflexo da luz em contato com o vidro, mudava de cor (CDMF, 2015).

Em 29 de dezembro de 1959, Richard Feynman palestrou sobre o conceito de nanotecnologia, mas sem utilizar esse termo, para a Sociedade Americana de Física, sendo o precursor da nanotecnologia. O vocábulo nanotecnologia só foi criado em 1974 pelo professor japonês Norio Taniguchi. Na década de 1980, a nanotecnologia começou a se popularizar por conta da invenção do microscópio de corrente de tunelamento (STM) por cientistas da International Business Machines Corporation (IBM) em 1981, que permite obter imagens de

átomos e moléculas em nível atômico, e do lançamento do livro *Engines of Creation*, em 1986, escrito por Eric Drexler, o primeiro cientista doutor em nanotecnologia.

Em 1989, Don Eigler, cientista da IBM, utilizando o STM, posicionou 35 átomos de xenônio individualmente sobre uma superfície de níquel para formar a palavra IBM. Eigler foi o primeiro cientista a manipular os átomos, e essa demonstração a primeira da nanotecnologia. Na Figura 1, pode-se ver uma imagem dos estudos da IBM.

**Figura 1** – Átomos individualmente manipulados sobre uma superfície usando o microscópio de corrente de tunelamento (STM) formando a sigla International Business Machines Corporation (IBM)



Fonte: IBM Atom Manipulation Demonstration (1989)

A nanotecnologia já tem aplicações na sociedade e é muito promissora. Como exemplos de aplicações atuais, temos os semicondutores, *chips* de computadores, dispositivos para testes clínicos e biomateriais (STRAMBI, 2015). Seus conhecimentos podem ser aplicados em praticamente qualquer área científica, como nas áreas física, química, biológica, eletrônica, computacional e médica, representando assim uma futura revolução dos métodos e conhecimentos científicos atuais. Trata-se, portanto, de uma revolução tecnológica.

As leis tradicionais da física ou da química não se adaptam perfeitamente ao estudo das nanoestruturas. Por isso, diversas áreas estão construindo juntas um novo conhecimento, baseadas nas relações que regem os fenômenos da nanoescala. Expressões como “futuro brilhante”, “quinta revolução industrial” ou “tecnologia/ciência revolucionária” têm sido usadas para designar a nanotecnologia e a nanociência (N&N) (CARVALHO, 2011, p. 21).

É possível utilizar a nanociência, como uma tecnologia moderna, para suprir necessidades, e, com a manipulação de átomos, podem-se criar novas necessidades e demandas que, por sua vez, criam a necessidade de obter conhecimentos avançados não só sobre técnicas e tecnologias atuais, mas novas também (FONSECA, 2013).

Como em qualquer outra área, discussões sobre ética estão presentes na nanotecnologia. Ao passo que as pesquisas sobre nanotecnologia avançam indicando cada vez mais o controle total do homem sobre a natureza, iminentemente os possíveis riscos dessa prática emergem como questionamentos.

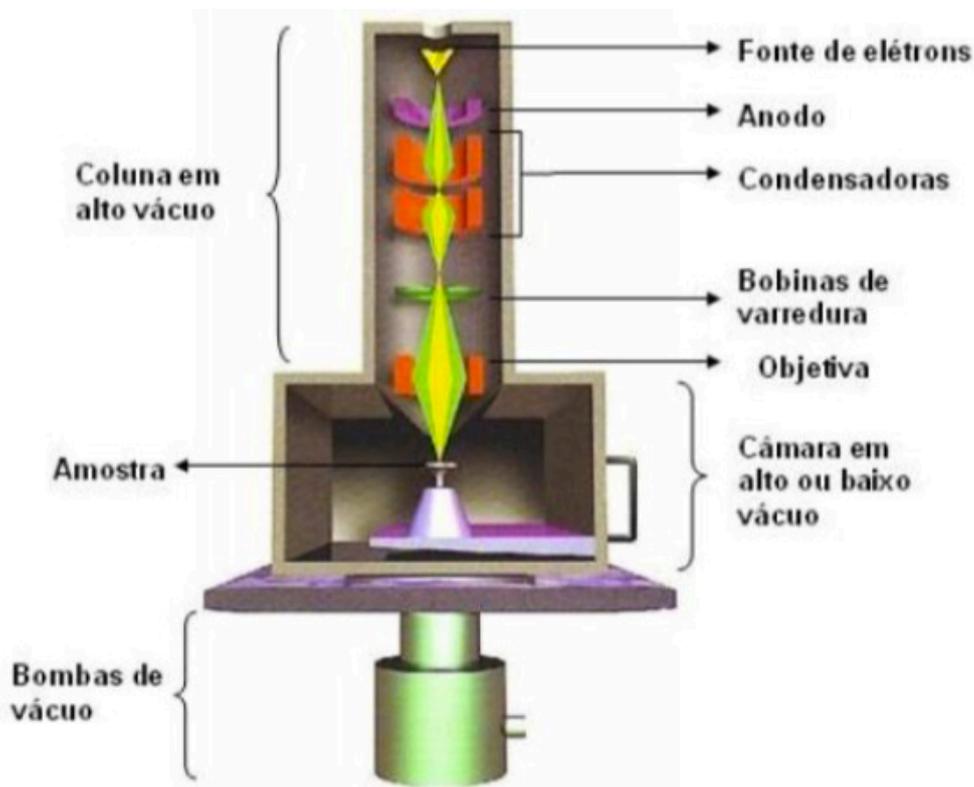
Existe muito debate acerca das implicações futuras da nanotecnologia, pois os desafios são semelhantes aos de desenvolvimento de novas tecnologias, o que inclui questões a respeito da toxicidade e dos impactos ambientais dos nanomateriais e dos efeitos potenciais na economia global, assim como da especulação sobre cenários futuros (HERMES; BASTOS, 2014).

Um dos principais problemas conhecidos sobre o qual os cientistas já começaram a advertir é a nanopoluição. Os nanopoluentes, gerados na criação e/ou manipulação de nanomateriais, podem viajar pelo ar e por grandes distâncias, sendo capazes de penetrar em células de seres humanos, animais e plantas. Por serem produzidos artificialmente, a natureza não possui artifícios contra eles, podendo ocasionar danos inimagináveis (FORMIGA, 2016).

## Microscópio eletrônico de varredura

O MEV é um equipamento para observação e análise da microestrutura de materiais sólidos. Diferentemente dos microscópios ópticos, utiliza feixe de elétrons em vez de fótons, o que permite que imagens em escala nano e de alta qualidade sejam geradas. A Figura 2 é representada por todas as etapas do MEV.

**Figura 2** – Desenho esquemático da coluna do microscópio eletrônico de varredura (MEV)



Fonte: Microscopia Eletrônica de Varredura, 2018

Um feixe de elétrons, geralmente produzido por um filamento de tungstênio (W) aquecido, varre a superfície da amostra linearmente. A tensão criada entre o filamento e o ânodo acelera o feixe. Depois, o feixe é direcionado à superfície da amostra por meio de lentes. A interação do feixe com a amostra produz elétrons e fótons que são detectados e convertidos para a imagem computadorizada. Geralmente são mais utilizados os elétrons secundários e/ou dos retroespalhados para tal, e a resolução espacial depende da energia em que esses raios produzidos são detectados (DEDAVID; GOMES; MACHADO, 2007).

Os elétrons secundários são produzidos pela interação do feixe de elétrons com a amostra. Possuem baixa energia, menor que 50 eV, e formam micrografias de alta resolução. Os elétrons retroespalhados (ERE) têm energia entre 50 eV até a energia dos elétrons primários. Os ERE com energia próxima dos elétrons primários sofreram espalhamento elástico, formando a maioria dos sinais de ERE. Os ERE de alta energia provêm de camadas mais superficiais da amostra, tendo poucas informações de profundidade. A intensidade dos ERE está relacionada com o número atômico da amostra: quanto maior o número, maior o retroespalhamento (DEDAVID; GOMES; MACHADO, 2007).

## Processamento digital e análise de imagens

Os materiais antes de serem analisados pelo MEV devem passar por um processo de preparo, para que seja possível a geração das micrografias. Em síntese, o material a ser

analisado deve ter sua estrutura interna exposta, para que o feixe de elétrons consiga revelar a estrutura. Se a amostra é muito pequena, faz-se necessário moldá-la com resina de cura a frio antes do lixamento. Para isso, usa-se um recipiente removível como molde, coloca-se a amostra, adiciona-se a resina e espera-se esfriar ao tempo. As duas amostras foram moldadas com essa resina, por causa do seu pequeno tamanho.

A amostra deve passar pelo processo de lixamento. Para serem niveladas, existem diversas numerações de lixas; quanto menor o número, mais espessa e agressiva é a lixa, e vice-versa. Às vezes, as lixas produzem deformações na amostra, sendo preciso utilizar lixas menos espessas para remover os artefatos. As duas amostras foram lixadas com um disco abrasivo de diamante, utilizando sequencialmente # 220, 500, 1.200 e 2.000.

Por fim, caso a amostra não seja eletrocondutora, deve-se incorporar algum material com essa característica na amostra, como por exemplo ouro ou cobre, para que ocorra o aterramento de elétrons, auxiliando na construção da imagem. As duas amostras estudadas neste trabalho, por serem materiais cerâmicos, precisaram incorporar algum material eletrocondutor.

Após todos os procedimentos, as amostras foram para a sessão de MEV. As análises dos materiais cerâmicos e terras de diatomáceas selecionados ocorreram com o MEV Hitachi TM3000. A amostra preparada foi colocada dentro da câmara do equipamento. Fez-se a geração das micrografias por meio de um *software*, e nele se controlaram diversos aspectos da micrografia a ser gerada, sendo possível ajustar o nível de ampliação da micrografia, o brilho, o contraste e o foco.

## Nanoarte

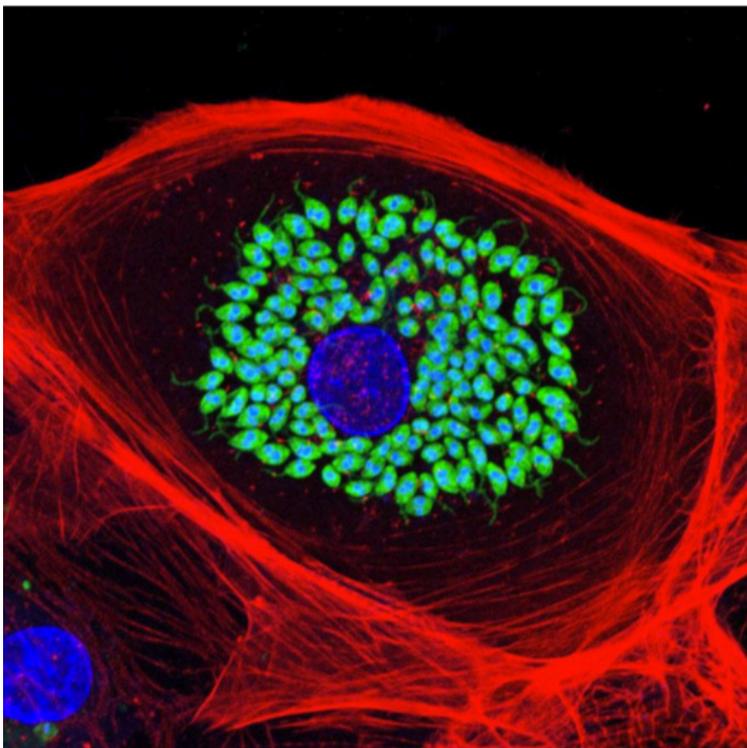
Nanoarte é toda forma de arte vinculada à nanociência ou à nanotecnologia que trabalha tanto com as tecnologias e os experimentos científicos em si quanto com os conceitos advindos dos fenômenos quânticos. Faz parte da corrente de manifestações artísticas contemporâneas na qual arte, ciência e tecnologia se unem cada vez mais (CARVALHO, 2011).

Por conseguinte, possibilita a participação de todos na evolução da nanociência, promovendo o pensamento filosófico e crítico por trás dessas figuras, que, por obra do acaso, se assemelham com as figuras presentes em nosso cotidiano e nos dizem muito sobre o comportamento das moléculas provenientes da física quântica.

Victoria Vesna, dos Estados Unidos, e o nanocientista escocês James Gimzewski são dois dos principais divulgadores da nanoarte. Ambos desenvolvem obras de arte e projetos educacionais de nanotecnologia. Em 2008, trouxeram para o Brasil a exposição *Nano: a poética de um mundo novo*, no Museu de Arte Brasileira da Fundação Armando Álvares Penteado (MAB-FAAP), em São Paulo, que teve o objetivo de aproximar o público das últimas descobertas no campo da nanociência, sempre estimulando as reflexões acerca dessas descobertas (BARROS, 2008).

Usado para divulgar a ciência, o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) criou um prêmio chamado Fotografia – Ciência & Arte, que no ano de 2019 está na sua 8.<sup>a</sup> edição, premiando fotografias em duas categorias. Na categoria 1, estão imagens produzidas por câmeras fotográficas sobre ambientes naturais e antrópicos. Pertencem à categoria 2 imagens produzidas por equipamentos especiais, sendo estes instrumentos ópticos eletromagnéticos e eletrônicos. Nos anos anteriores, 2017 e 2018, as fotos vencedoras da segunda categoria utilizaram os princípios da nanoarte recorrendo ao MEV, como evidenciado nas Figuras 3 e 4.

**Figura 3** – Fotografia vencedora do VII Prêmio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) de Fotografia – Ciência & Arte 2017



Fonte: disponível em: <<http://premios.cnpq.br/web/pfca/imagens-premiadas>>. Acesso em: 2019

**Figura 4** – Fotografia vencedora do VI Prêmio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) de Fotografia – Ciência & Arte 2018



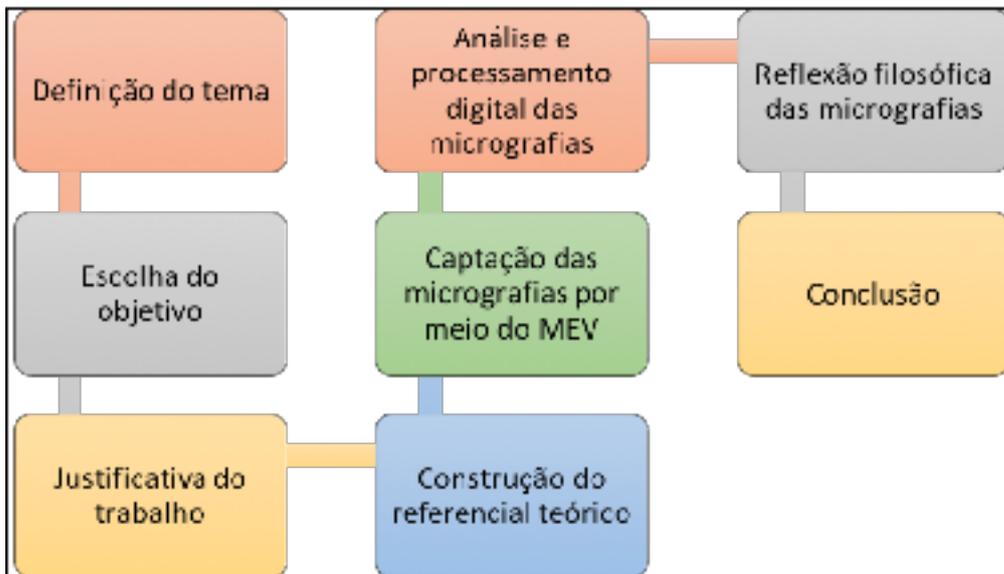
Fonte: disponível em: <<http://premios.cnpq.br/web/pfca/imagens-premiadas>>. Acesso em: 2019

O *site* infelizmente não disponibiliza informações sobre as microfotografias expostas. Esse incentivo evidencia a importância de se trabalhar com a nanoarte e como ela divulga a ciência de modo alternativo.

## METODOLOGIA

A metodologia do trabalho baseia-se na pesquisa empírica em parceria com a EEL-USP, com o objetivo de pensar a nanoarte como uma reflexão filosófica. Foram feitos contato e fechamento de uma parceria entre o Unifatea e a EEL-USP, e, com isso, fizeram-se a confecção do referencial teórico e as imagens que serviram de objeto de estudo. As etapas da metodologia são apresentadas na Figura 5.

**Figura 5** – Mapeamento da metodologia utilizada para o desenvolvimento do projeto



MEV: microscópio eletrônico de varredura

Fonte: primária

Este trabalho começou com a parceria entre as instituições Unifatea (Grupo de Pesquisa Projetos de Produto e Tecnologias Sociais, do Laboratório de Materiais, Texturas e Modelagens Prof. Dr. Wilson Kindlein Júnior) e EEL-USP (Demar). Os dois professores orientadores deste projeto, professor doutor Rosinei Batista Ribeiro (Unifatea) e professor doutor Fernando Vernilli Junior (EEL-USP), juntamente com alunos pesquisadores do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (Pibiti) envolvidos neste projeto, nessa ocasião definiram o tema nanoarte como foco, envolvendo a interdisciplinaridade nas áreas de engenharia de materiais, *design* e comunicação social, além da interinstitucionalidade entre EEL-USP e Unifatea.

Os objetivos foram definidos em conversas e discussões entre as instituições. O primeiro objetivo foi evidenciar a parceria entre ambas, entre os diferentes departamentos e entre as várias áreas abordadas no trabalho, que são engenharia de materiais, *design* e comunicação social. Outros objetivos deste trabalho foram a divulgação científica de forma simplificada e de fácil compreensão e a utilização de elementos da comunicação social, *design* e engenharia de materiais para a popularização da ciência.

A justificativa do estudo é devolver para a sociedade o investimento da bolsa concedida pelo CNPq por meio deste trabalho, que visa divulgar e popularizar a pesquisa científica e a ciência como um todo.

O referencial teórico foi construído com base em constantes pesquisas sobre os temas nanociência, nanotecnologia, nanoarte, engenharia de materiais, *design* e comunicação social, dando base para o seguimento da nossa proposta, de nossos objetivos e justificativas.

As captações das micrografias foram obtidas com visitas na EEL-USP, no Departamento de Materiais Cerâmicos, para aprender sobre o processo de utilização do MEV, conhecendo o

processo de preparação de amostra, que passa por um metalizador. Depois disso, a amostra é colocada dentro do MEV, e dali é movida para ser analisadas a sua superfície e suas microestruturas, suas topografias e morfologias. Com a amostra dentro do MEV, as micrografias são capturadas e salvas. Essas microestruturas, originalmente cruas, são nas cores preto e branco. As Figuras 6 e 7 são do aparelho metalizador e do MEV.

**Figura 6** – Aparelho metalizador para revestimento condutor das amostras para a análise via microscopia eletrônica de varredura.



Fonte: primária (2018)

**Figura 7** – Microscópio eletrônico de varredura (MEV)



Fonte: primária (2018)

As discussões referentes ao processamento digital das micrografias e as análises filosóficas foram feitas no Laboratório de Materiais, Texturas e Modelagens Prof. Dr. Wilson Kindlein Júnior (Figura 8).

Avaliaram-se primeiramente as micrografias originais para verificar pontos que se relacionam com o nosso cotidiano, semelhanças de aspectos naturais, releituras de obras artísticas e representação da filosofia oriental que trabalha sua filosofia, também por meio de pinturas de jardins e paisagens. Logo depois, observou-se o que a micrografia representava. Com o *software* Adobe Photoshop, foram aplicados filtros e cores com base na psicologia das cores, para transmitir o que observamos em cada micrografia.

**Figura 8** – Laboratório de Materiais, Texturas e Modelagens Prof. Dr. Wilson Kindlein Júnior



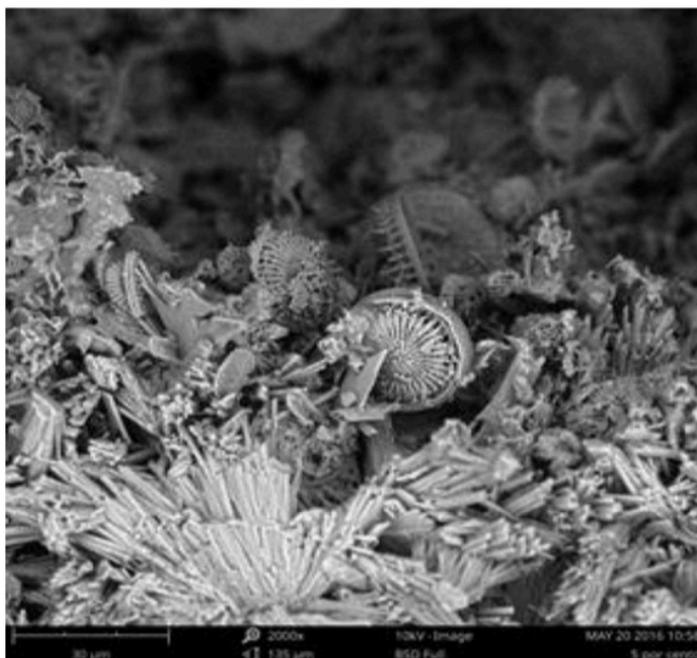
Fonte: primária (2018)

A conclusão que se tira deste trabalho é a importância da parceria interdisciplinar e interinstitucional para a divulgação e popularização da ciência e como a sociedade vai enxergar a ciência por meio disso. Foi de grande relevância a parceria com o Demar (EEL-USP), para o desenvolvimento deste estudo, por conta dos equipamentos de obtenção das micrografias e da riqueza de conhecimento da área de engenharia de materiais, contribuindo muito para o projeto; e com o Unifatea, que disponibilizou o laboratório para o tratamento das micrografias.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

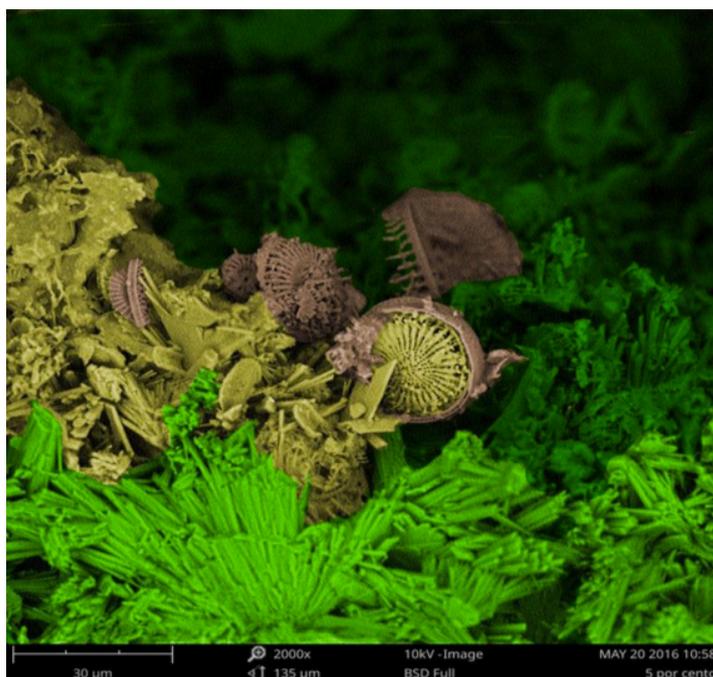
A primeira amostra de micrografia foi desenvolvida numa parceria entre o Unifatea e a Universidade Federal de Itajubá (Unifei). Nela se utilizou o descarte de terra de diatomáceas empregado em produções cervejeiras no Brasil que trabalham na produção do gesso TD para a análise desse material. A Figura 9 mostra a micrografia obtida da terra de diatomáceas, e a Figura 10 apresenta a mesma micrografia após a análise e o processamento digital por meio do *software* Adobe Photoshop.

**Figura 9** – Micrografia da amostra de terra de diatomáceas



Fonte: primária

**Figura 10** – Micrografia com processamento digital denominado de Nas Profundezas do Mar



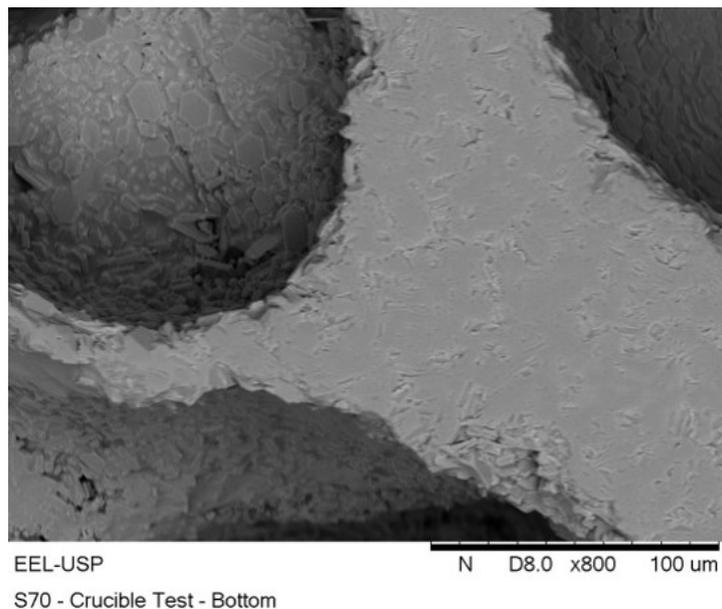
Fonte: primária

Na Figura 10 a micrografia é caracterizada pelas vegetações marinhas, inspirada no movimento artístico impressionismo, cuja premissa trata das percepções do mundo natural, do modo como se via, e comumente suas obras são retratações de paisagens naturais, plantas, céu, mar, entre outros aspectos naturais. No impressionismo se tem preocupação com luzes e efeitos, suas variações, mutações, superfície e com os detalhes que caracterizam a impressão conforme o natural (STRAMBI, 2015).

Para fazer o processamento digital da imagem colocando características do impressionismo (iluminação, variação e superfície) e características da natureza como o fundo do mar, foram utilizadas cores como o verde em duas tonalidades, para dar noção de proximidade e profundidade, assim como filtros para clarear e escurecer alguns pontos da micrografia. Aplicamos a cor amarela para remeter aos corais e às composições da vegetação marinha, assim como a cor marrom, que também foi usada para compor a vegetação.

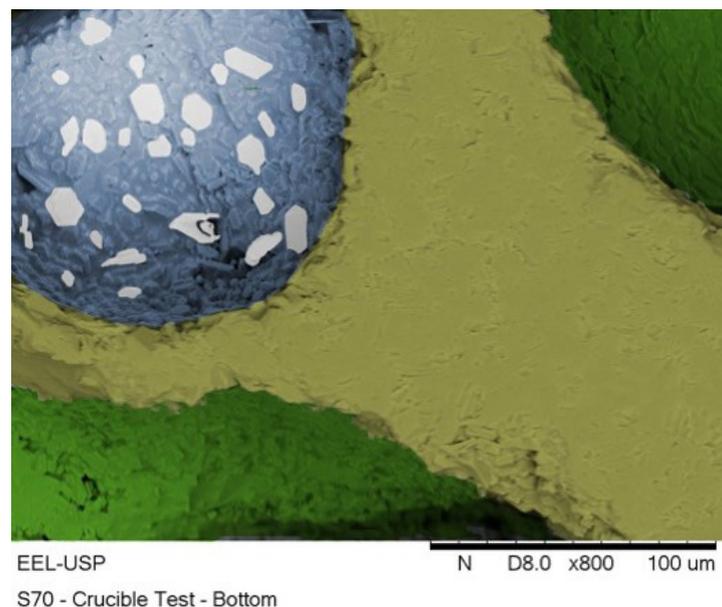
A segunda micrografia foi uma amostra do material cerâmico em alumina ( $Al_2O_3$ ) que faz parte de um estudo que analisa a superfície do material, sua composição e as microestruturas, para entender o motivo das fraturas que esses materiais sofrem. As Figuras 11 e 12 representam a micrografia original preta e branca e a micrografia após o processamento digital.

**Figura 11** – Micrografia eletrônica de varredura de óxido de alumina



Fonte: primária (2018)

**Figura 12** – Micrografia eletrônica de varredura de óxido de alumina com processamento digital denominado de *Bandeira do Brasil*



Fonte: primária (2018)

A Figura 12 tem grandes semelhanças com a bandeira do Brasil, sobre a qual foi discutida com o grupo de pesquisa mediante aspectos do nosso cotidiano, e foram trabalhadas as cores da bandeira brasileira.

A cor verde foi aplicada nos extremos da micrografia para remeter à parte externa da bandeira do Brasil, que representa as matas e as florestas do país. Empregou-se a cor amarela na transversal da micrografia em formato quadrilátero no meio da bandeira, representando as riquezas. No canto superior esquerdo da micrografia foi empregada a cor azul, remetendo-se ao círculo central da bandeira, que equivale ao céu e aos mares, e a cor branca aplicada nas cadeias da micraestrutura representam as estrelas da bandeira do Brasil, indicando o desejo pela paz.

Percebeu-se nas micrografias obtidas e trabalhadas que há semelhança com elementos comuns do cotidiano, ou até mesmo com a natureza, abrindo espaço assim para a reflexão acerca da vida e do trabalho.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho contribuiu significativamente no campo interdisciplinar nas áreas da engenharia de materiais, *design* e comunicação social por meio da obtenção das micrografias eletrônicas de varredura de diferentes materiais cerâmicos e terras de diatomáceas.

Estrategicamente, destacaram-se as relações interinstitucionais entre os diferentes grupos de pesquisa credenciados pelo CNPq e o estreitamento dos laços de pesquisa entre o Unifatea e a EEL-USP.

Evidenciou-se que nos estudos avançados no tocante à obtenção das micrografias eletrônicas de varredura, a nanoarte colabora com a leitura mais lúdica acerca da ciência da natureza e dos aspectos cotidianos, valorizando a identidade das riquezas nacionais.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq a concessão da bolsa do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (Pibiti).

## REFERÊNCIAS

BARROS, A. **Nano arte, a poética metafórica**. 2008. Disponível em <<http://anpap.org.br/anais/2008/artigos/142.pdf>>. Acesso em: 29 mar. 2018.

CARVALHO, R. S. H. de. **Nanoarte: a poética do espírito**. 103f. Dissertação (Mestrado em Artes) – Universidade de Brasília, Brasília, 2011. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/10032>>. Acesso em: 29 mar. 2018.

CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS FUNCIONAIS (CDMF). **Nanoarte: a arte de fazer arte**. São Carlos: Apor, 2015.

DEDAVID, B. A.; GOMES, C. I.; MACHADO, G. **Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007. Disponível em: <<http://www.pucrs.br/edipucrs/online/microscopia.pdf>>. Acesso em: 29 mar. 2018.

FONSECA, L. S. G. Tecnologias contemporâneas: ainda há o que temer? **Pensando**, Piauí, 2013. Disponível em: <<http://www.ojs.ufpi.br/index.php/pensando/article/view/1327>>. Acesso em: 29 mar. 2018.

FORMIGA, M. A. **Uma abordagem introdutória de alguns conceitos e aplicações de nanotecnologia no ensino médio**. 23f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2016. Disponível em: <<http://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/handle/123456789/10071>>. Acesso em: 29 mar. 2018.

HERMES, E. G. C.; BASTOS, P. R. H. de O. Nanotecnologia: progresso científico, material, global e ético. **Persona y Bioética**, Chia, v. 18, n. 2, p. 107-118, dez. 2014.

IBM ATOM MANIPULATION DEMONSTRATION. **Finarteamerica**, 2018. Disponível em: <<https://tecnoblog.net/247956/referencia-site-abnt-artigos/>>. Acesso em: 15 set. 2019.

MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA. **Departamento Física Aplicada Instituto de Física USP**. 2018. Disponível em: <<http://fap.if.usp.br>>. Acesso em: 2 jun. 2018.

STRAMBI, M. L. *Aurum in connection*: investigações em nanoarte. **Visuais**, v. 1, n. 1, 2015. Disponível em: <<https://www.publionline.iar.unicamp.br/index.php/visuais/article/view/349/348>>. Acesso em: 29 mar. 2018.