

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**EMPREGO DAS NANOPARTÍCULAS DE PRATA VERDES COMO AGENTES
BIOCIDAS EM TINTAS PARA POSSÍVEL APLICAÇÃO NA ENGENHARIA**

VICTÓRIA SÃO MIGUEL GONÇALVES

ILHA SOLTEIRA SP

ABRIL 2024

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**EMPREGO DAS NANOPARTÍCULAS DE PRATA COMO AGENTES BIOCIDAS
EM TINTAS PARA POSSÍVEL APLICAÇÃO NA ENGENHARIA**

VICTÓRIA SÃO MIGUEL GONÇALVES

Orientadora: Profa. Dra. Marcia R. de Moura
Aouada

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira – UNESP, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Engenheiro Civil.

ILHA SOLTEIRA SP

ABRIL 2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvida pela Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

G635e Gonçalves, Victória São Miguel.
Emprego das nanopartículas de prata verdes como agentes biocidas em tintas para possível aplicação na engenharia / Victória São Miguel Gonçalves. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2024
27 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2024

Orientador: Marcia Redina de Moura Auoada
Inclui bibliografia

1. Nanopartícula. 2. Microrganismo. 3. Antimicrobiana.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Aluno: Victoria São Miguel Gonçalves

Titulo: **EMPREGO DAS NANOPARTÍCULAS DE PRATA VERDES COMO**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado como parte dos requisitos para obtenção do grau de Engenheiro Civil, junto ao Curso de Graduação em Engenharia Civil, da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Ilha Solteira

**AGENTES BIOCIDAS EM TINTAS PARA POSSÍVEL APLICAÇÃO NA
ENGENHARIA**

COMISSÃO EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **MARCIA REGINA DE MOURA AOUADA**
Data: 14/05/2024 17:06:36-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr.

UNESP – Campus de Ilha Solteira (Orientador)

Prof. Dr. *Ana Paula de Moura*

UNESP – Campus de Ilha Solteira

Documento assinado digitalmente
 **FABRICIO CERIZZA TANAKA**
Data: 08/05/2024 08:01:03-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr.

UNESP – Campus de Ilha Solteira

Ilha Solteira

_____/_____/_____

Dedicatória

Dedico esse trabalho ao meu pai, minha mãe e meu irmão, que sempre me apoiaram na realização dos meus sonhos e me ajudaram a conquistar minhas maiores vitórias.

Agradecimentos

Agradeço ao meu pai Fernando Luciano Gonçalves, a minha mãe Ana Paula Garcia São Miguel Gonçalves, ao meu irmão Leonardo São Miguel Gonçalves, a minha cachorra Amora, e ao meu namorado Gianluca Preto, pelo apoio em todos os momentos da minha vida. Estendo meus agradecimentos à FEIS – UNESP, seu corpo docente e direção que me possibilitaram diversas oportunidades de conhecimento e crescimento. Principalmente a minha orientador, Profa. Dra. Marcia R. de Moura Aouada que me deu a grande oportunidade de realizar esse trabalho.

Resumo

Nanomateriais são materiais cujas dimensões na escala nanométrica modificam suas características convencionais. As nanopartículas de prata metálica (NPsAg) demonstram uma eficácia superior em comparação com os íons de prata, apresentando propriedades notáveis de desinfecção e antissepsia. Atualmente, materiais nanoestruturados estão ganhando crescente destaque nas indústrias brasileiras. Entre esses materiais, as tintas com propriedades antimicrobianas estão em grande demanda no mercado, especialmente diante do surgimento de novos microrganismos. Isso impulsiona a necessidade de alternativas de produtos que ofereçam um excelente equilíbrio entre custo e benefício, bem como uma eficácia resolutive na prevenção da proliferação de microrganismos em ambientes com alta circulação de pessoas. Este trabalho investigou o efeito da adição de nanopartículas em tintas à base de água e caracterizou os filmes resultantes. As nanopartículas de prata foram preparadas e adicionadas às tintas acrílicas. A tinta foi incorporada com AgNPs na mesma proporção indicada de água, 10:03. Os filmes foram preparados e caracterizados quanto à espessura, microestrutura, hidrofobicidade, temperatura de degradação e interação química. Os resultados mostraram que as nanopartículas não afetaram significativamente as propriedades das tintas, mas aumentaram a estabilidade térmica dos filmes. Concluiu-se que as nanopartículas podem melhorar as propriedades das tintas, tornando-as mais resistentes a organismos prejudiciais.

Palavras-chave: Nanopartícula, tinta, antimicrobianas, microrganismo.

Abstract

Nanomaterials are materials whose dimensions at the nanoscale modify their conventional characteristics. Metallic silver nanoparticles (NPsAg) demonstrate superior efficacy compared to silver ions, exhibiting notable disinfection and antiseptic properties. Currently, nanostructured materials are gaining increasing prominence in Brazilian industries. Among these materials, paints with antimicrobial properties are in high demand in the market, especially in light of the emergence of new microorganisms. This drives the need for product alternatives that offer an excellent balance between cost and benefit, as well as effective resolution in preventing the proliferation of microorganisms in high-traffic environments. This study investigated the effect of adding nanoparticles to water-based paints and characterized the resulting films. Silver nanoparticles were prepared and added to acrylic paints. The paint was incorporated with AgNPs in the same proportion as water, 10:03. Films were prepared and characterized for thickness, microstructure, hydrophobicity, degradation temperature, and chemical interaction. The results showed that nanoparticles did not significantly affect the properties of paints but increased the thermal stability of the films. It was concluded that nanoparticles can enhance the properties of paints, making them more resistant to harmful organisms.

Keywords: Nanoparticle, paint, antimicrobial, microorganism.

SUMÁRIO

1. Introdução.....	8
2. Objetivos.....	10
3. Materiais e Métodos.....	10
3.1 Materiais.....	10
3.2 Metodologia.....	10
3.2.1 Preparo dos filmes.....	10
3.2.2 Determinação da espessura.....	10
3.2.3 Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	10
3.2.4 Análise de ângulo de contato.....	11
3.2.5 Termogravimetria (TG).....	12
3.2.6 Propriedades espectroscópicas e natureza hidrofílica.....	12
4. Resultados e Discussão.....	13
4.1 Homogeneidade da tinta.....	13
4.2 Determinação da espessura.....	16
4.3 FT-IR.....	17
4.4 Análise de ângulo de contato.....	18
4.5 Termogravimetria.....	18
4.6 Microscopia de varredura.....	18
5. Conclusões.....	22
6. Referências Bibliográficas.....	23

1. Introdução

Tinta é constituída por veículo, pigmento, solvente e aditivos. O primeiro são resinas que formam a película protetora que, quando seca, se converte na tinta. O pigmento pode ser ativo, possuem cor e poder de cobertura a tinta, e inertes, proporcionam dureza, lixabilidade e consistência. Os solventes são utilizados em várias fases da fabricação da tinta, é utilizado para melhorar a aplicação, regular a viscosidade da pasta de moagem e facilitar a fluidez dos veículos e das tintas prontas na fase de enlatamento.

A tinta pode ser, em função da posição que será aplicada, de fundo (primer), intermediária ou acabamento.

As tintas contêm diversos compostos que servem de nutrientes para microrganismos. Esse processo compromete em muitos casos as funções decorativas e protetoras do produto, obrigando os formuladores a adoção de medidas preventivas por meio do emprego de biocidas na composição dessas tintas.

Os fungos e microrganismos são capazes de transmitir doenças aos seres humanos, por isso, usa-se os agentes biocidas na composição de tintas para prevenir as contaminações microbiológicas podendo ocorrer tanto na tinta úmida quanto no filme seco.

As maiores quantidades de tintas biocidas são consumidas na indústria imobiliária, particularmente para produzir tintas de interior e exterior que são formuladas para prover proteção contra o crescimento de bolores e mofos. Outros ramos no qual o consumo de tintas biocidas está crescendo incluem hospitais, asilos, creches, aplicações médicas, indústrias alimentícias e farmacêuticas, entre outras (BELOTTI et al., 2015; DAVIDSON et al., 2007).

Dentre os materiais nanoestruturados as nanopartículas merecem destaque, devido ao grande número de estudos realizados com sistemas. As nanopartículas podem ser divididas em orgânicas (nanopartículas poliméricas) e inorgânicas (nanopartículas metálicas e óxidos). No presente projeto, visamos à síntese e utilização de nanopartículas inorgânicas (Ag) como materiais ativos no processamento de tintas imobiliárias funcionais e inteligentes (bioativas).

Destacando-se as nanopartículas de prata, elas possuem propriedades desinfectantes e antissépticas, por isso vem ganhando destaque como agregado na tinta.

A medicina tem demonstrado que a prata mata mais de 650 organismos patogênicos. Essas características, junto com o baixo custo na produção e grande eficácia contra bactérias faz dela um poderoso aliado na luta contra contaminações em hospitais, por exemplo. Já se tem relatos que quando utilizada a prata em escala nanométrica o efeito de ação bactericida é potencializado, pois a área superficial é maior garantindo maior contato com o patógeno (RAJESHKUMAR et al., 2016; DURAN et al., 2016).

Por tudo discutido até o momento é notório que o emprego de nanopartículas pode contribuir para a melhoria das propriedades finais de tintas biocidas, tais como maiores poderes bactericida, maior estabilidade, além de diminuir a molhabilidade de tintas a base de água (seca mais rápido, dificultando ainda mais a proliferação de microrganismos). Todas essas melhorias utilizando produtos de baixo custo. É o que justifica a motivação científica e tecnológica dos proponentes no desenvolvimento de materiais e posteriormente a investigação dos mecanismos de interação nanopartículas- matriz da tinta.

2. Objetivos:

Os principais objetivos do projeto proposto estão listados a seguir:

- Investigar o efeito da adição das nanopartículas em tintas à base de água;
- Caracterizar filmes obtidos com a tinta carregada com nanopartículas: FT-IR, análises térmicas (TG), ângulo de contato e microscopia eletrônica de varredura.

3. Materiais e Métodos

3.1 Materiais

Os materiais utilizados para a fabricação dos filmes foram as soluções de nanopartículas de prata preparadas pelo método verde utilizando resíduo de laranja, água destilada, tinta acrílica cores: branca, cinza e amarela (CORAL), suporte de poliéster como base para a secagem dos filmes.

3.2 Metodologia

As nanopartículas de prata utilizadas foram preparadas pelo grupo de pesquisa: Grupo de Compositos e Nanocompósitos Híbridos, com características de 20 a 30 nanômetros.

3.2.1 *Preparo dos filmes*

Para o preparo dos filmes foi empregada a técnica de “casting”, que consiste no preparo de uma solução coloidal composta de tinta, com e sem nanopartículas, depositado em um suporte de poliéster, seguida de secagem por 48 horas em temperatura ambiente.

3.2.2 *Determinação da espessura*

As medidas das espessuras dos filmes foram realizadas utilizando um micrômetro digital (No. 7326, Mitutoyo Manufacturing, Japan) em 5 diferentes pontos ao redor do filme.

3.2.3 *Microscopia eletrônica de varredura (MEV)*

A análise de microscopia foi utilizada para avaliar a microestrutura dos filmes, onde foi possível obter informações sobre a superfície dos filmes (CEREDA, 2001).

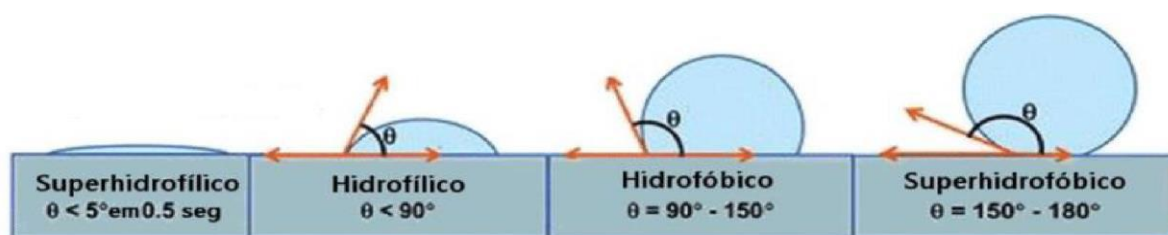
Os filmes foram analisados utilizando um microscópio eletrônico de varredura, da marca Zeiss, modelo EVO LS15, da UNESP Câmpus de Ilha Solteira. Sobre as amostras foi depositada uma fina camada de ouro usando um Sputter Coater. As imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) foram feitas nas superfícies dos filmes, a fim de se observar a estrutura morfológica do material e obter maiores informações sobre os filmes em estudo.

3.2.4 Análise de ângulo de contato

O ângulo de contato é definido como o ângulo formado entre a superfície sólida e uma tangente traçada entre a superfície da gota (Figura 13). Esse ângulo é dependente da interação dos filmes e a água (KARBOWIAK, DEBEAUFORT e VOILLEY, 2006).

A partir dessas medidas é possível determinar se o material é superhidrofílico, hidrofílico, hidrofóbico ou superhidrofóbico. Ou seja, quanto mais a gota ao ser colocada sobre uma superfície se espalhar, seu ângulo de contato é menor e maior a sua molhabilidade, mais hidrofílico é o material (Fig. 1). E caso a gota mantenha a sua forma, maior é o ângulo de contato e menor a sua molhabilidade, e o material é mais hidrofóbico (HUILLCA, 2015).

Figura 1 - Diferentes ângulos de contato



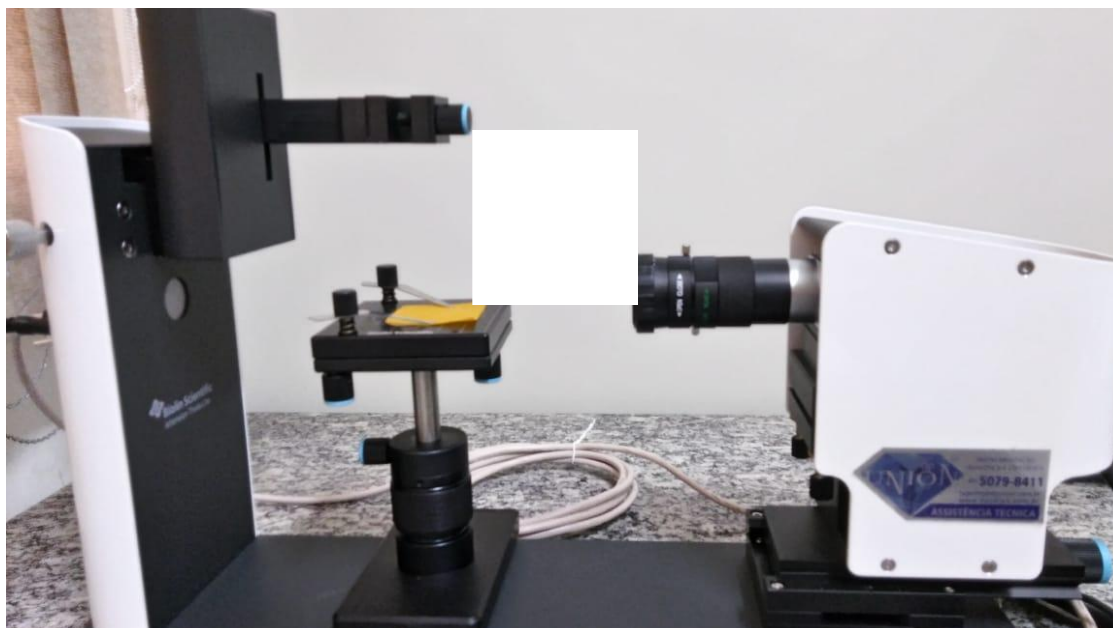
Fonte: BAČOVSKÁ et al. (2016).

As medidas de ângulo de contato dos filmes foram realizadas através de um medidor de ângulo de contato (Biolin Scientific AB, Västra Frölunda, Suécia) da UNESP Câmpus de Ilha Solteira/SP.

A determinação do ângulo de contato entre uma gota de água e o filme foi realizado por método ótico.

Para a realização das medidas de ângulo de contato amostras dos filmes em estudo com dimensões de 1 cm x 2 cm foram fixadas ao suporte. Uma gota de água destilada foi depositada na superfície do filme utilizando-se uma seringa. O ângulo de contato foi calculado utilizando o software do aparelho (Figura 2).

Figura 2 - Equipamento utilizado para realizar as medidas de ângulo de contato



Fonte: próprio autor

3.2.5 Termogravimetria (TG)

A análise de termogravimetria finalidade de avaliar a temperatura de degradação do filme de tinta, aproximadamente 4-5 mg da amostra foram analisados em panela de platina. Os experimentos foram programados com rampa de aquecimento de 20 até 500 °C, com razão de aquecimento de 10 °C/min para cada amostra. A vazão de nitrogênio foi mantida em 60 cm³/min. Todas as análises foram feitas em triplicatas.

3.2.6 Propriedades espectroscópicas e natureza hidrofílica

As propriedades espectroscópicas, para entender a interação química entre nanopartículas-tinta, das diferentes amostras foram avaliadas por meio de

espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FT-IR). Espectros FT-IR de pastilhas de KBr foram obtidos registrando 128 varreduras de 400 a 4000 cm^{-1} , com resolução de 2 cm^{-1} . A natureza hidrofílica/hidrofóbica superficial dos nanocompósitos foi estudada a partir de medidas de ângulo de contato formado por uma gota de água deionizada com volume aproximado de 5 - 7 μL . Imagens da gota de água sobre a superfície de filmes dos nanocompósitos foram geradas e gravadas a partir de uma câmara eletrônica e o ângulo calculado com o auxílio do software FTA 32 Image Software (First Ten Ångstroms).

Essas análises foram realizadas no Departamento de Física e Química da Unesp de Ilha Solteira.

4. Resultados e Discussão

4.1 Homogeneidade da tinta

Durante o estudo, foram realizadas várias amostras de filme das três tintas (amarela, branca e cinza) para investigar os efeitos da adição de nanopartículas de prata em suas propriedades físico-químicas. As amostras de tinta foram preparadas com água ou com as nanopartículas de prata.

Observou-se que, em ambos os casos, as amostras permaneceram homogêneas e não houve alteração perceptível na cor da tinta (Fig. 3 e 4). Este resultado é consistente com estudos anteriores que sugerem que as nanopartículas de prata podem ser dispersas de forma eficaz na matriz da tinta sem afetar significativamente sua coloração. Essa homogeneidade é crucial para garantir a estabilidade e a eficácia do produto, uma vez que qualquer alteração na cor poderia afetar adversamente sua aceitação estética pelos consumidores.

A manutenção da homogeneidade também é um indicativo da compatibilidade das nanopartículas de prata com a matriz da tinta. A ausência de aglomeração ou segregação das nanopartículas sugere uma boa interação entre esses materiais, o que é essencial para garantir uma distribuição uniforme das propriedades biocidas ao longo da superfície revestida.

Figura 3: Mistura homogênea das tintas com nanopartícula de prata.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 4: Mistura homogênea das tintas sem nanopartícula de prata.



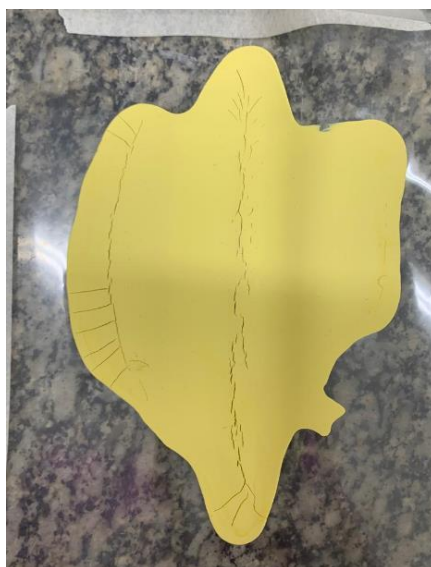
Fonte: Próprio Autor.

Figura 5: Filmes secos com nanopartícula de prata.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 6: Filme amarelo seco sem nanopartícula de prata.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 7: Filme branco seco sem nanopartícula de prata.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 8: Filme cinza seco sem nanopartícula de prata.



Fonte: Próprio Autor.

4.2 Determinação da espessura

A determinação da espessura dos filmes foi realizada utilizando um micrômetro como ferramenta de medição. Foram feitas medições em diversas regiões das amostras das três tintas (amarela, branca e cinza), naquelas que continham as nanopartículas de prata. Os resultados obtidos indicaram valores médios de espessura para cada tipo de tinta e condição experimental.

Tabela 1: Espessuras dos filmes.

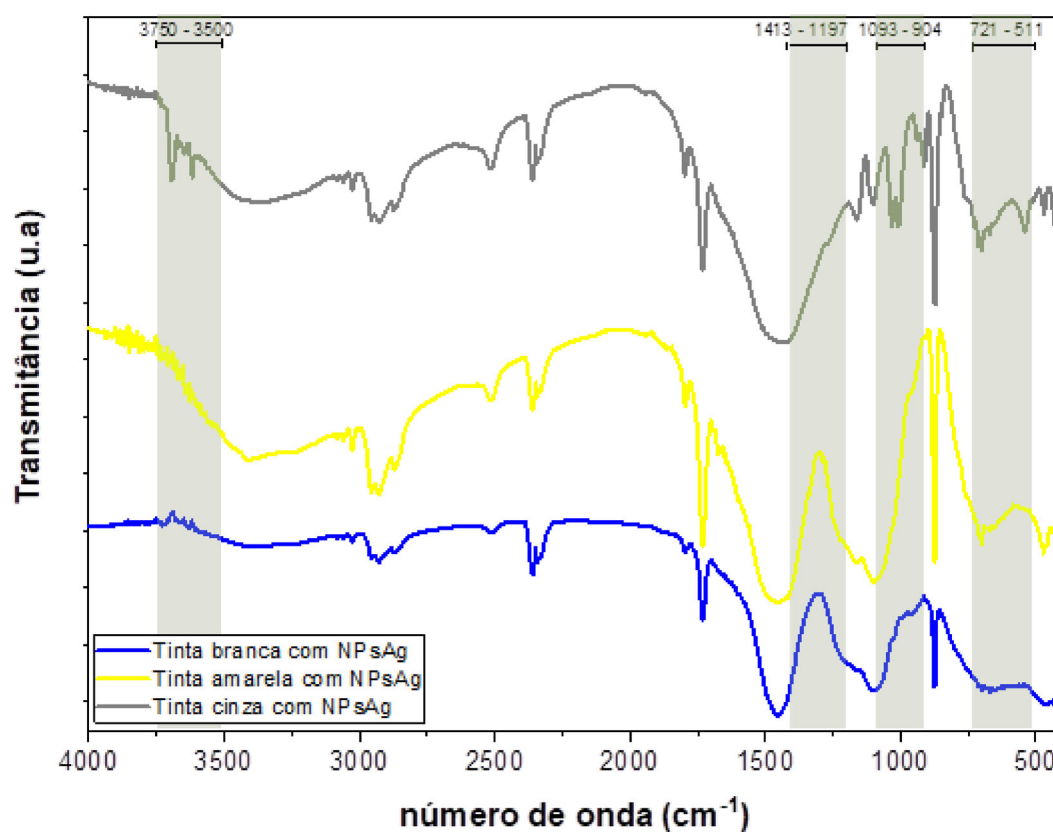
Espessuras		
Tinta Branca	Tinta Amarela	Tinta Cinza
0,816mm	0,413mm	0,623mm

Fonte: Elaborado pelo Autor.

4.3 FT-IR

A prática de FT-IR em todos os filmes desenvolvidos buscou a análise dos compostos químicos e as possíveis interações entre eles nas tintas obtidas. A Figura 5 mostra o espectro de FT-IR obtido.

Figura 9: Espectros FT-IR das tintas.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Em todos os gráficos há a ligação química OH (3500 cm⁻¹), devido a umidade do ar, assim como CO₂ (2500- 2250 cm⁻¹). A ligação CH₂ (3000-2750 cm⁻¹), presente no gráfico, mostrou interações a composição das soluções de nanopartículas transformando-se em CH₃ nos demais gráficos, assim como a uma banda em 1750 cm⁻¹.

¹ da interação C=O que aparece em todos os materiais. Em relação ao trabalho: Grupo de Compositos e Nanocompósitos Híbrido, percebemos que as bandas não se alteraram em relação ao espectro da tinta pura.

4.4 Análise de ângulo de contato

As análises de ângulo de contato mostraram que os filmes não apresentaram grande variação nas medidas do ângulo com a adição de nanopartículas e nem com a mudança de tonalidade nas tintas (Tabela 2). Todas as análises mostraram valores de ângulo com características de superfície hidrofílica, pelo fato do valor do ângulo ser menor que 90°.

Tabela 2: Valores do ângulo de contato.

Filme	Ângulo de contato (°)
Tinta pura (médias das cores)	75
Tinta amarela + Nps Ag	72
Tinta cinza + Nps Ag	74
Tinta branca + Nps Ag	78

4.5 Termogravimetria

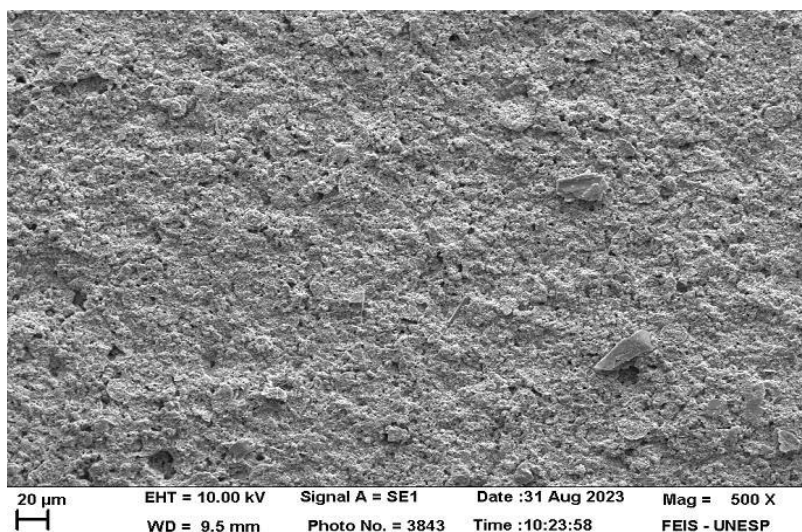
Em relação as análises da temperatura de degradação os filmes contendo apenas tinta apresentaram um evento térmico de degradação em aproximadamente 405 °C. Com a adição das nanopartículas esse valor sofreu alteração para aproximadamente 475 °C. Este aumento pode ser devido a inserção das nanopartículas inorgânicas na matriz que contribuem para uma maior estabilidade térmica da amostra. O valor da temperatura de degradação foi similar para todas as amostras, não apresentando variação no valor com a mudança da cor.

4.6 Microscopia de varredura

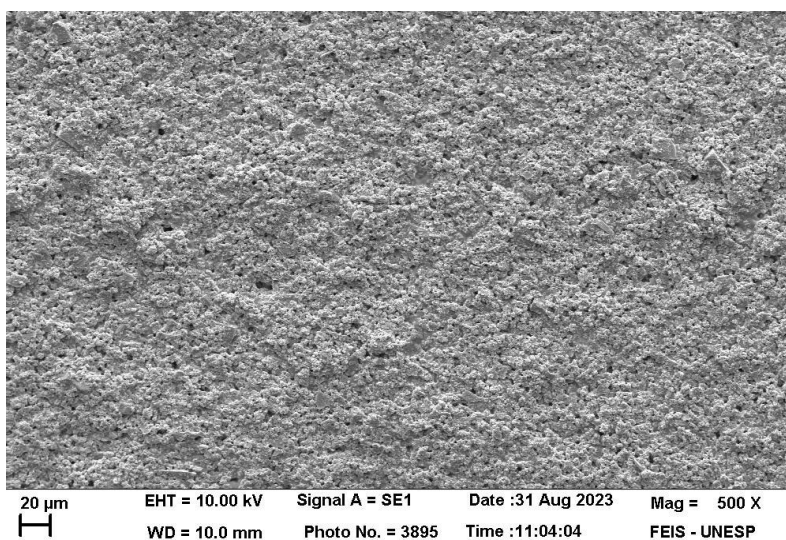
Na Figura 10 podemos observar as imagens de micrografias dos filmes das tintas. Nós podemos analisar nas imagens a morfologia dos filmes de tinta.

Figura 10: Micrografias das superfícies dos filmes de tintas com nanopartículas.

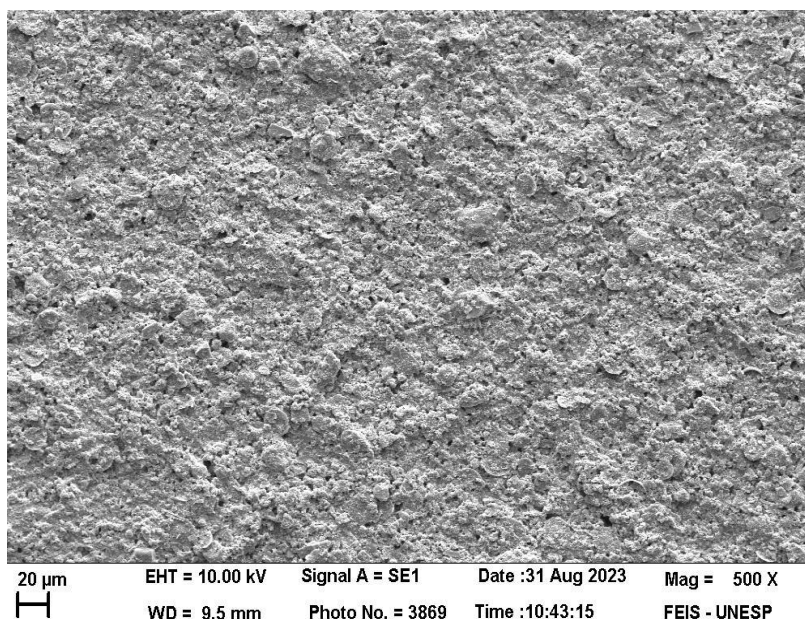
a)branca; b)cinza e c)amarela.



(a)



(b)



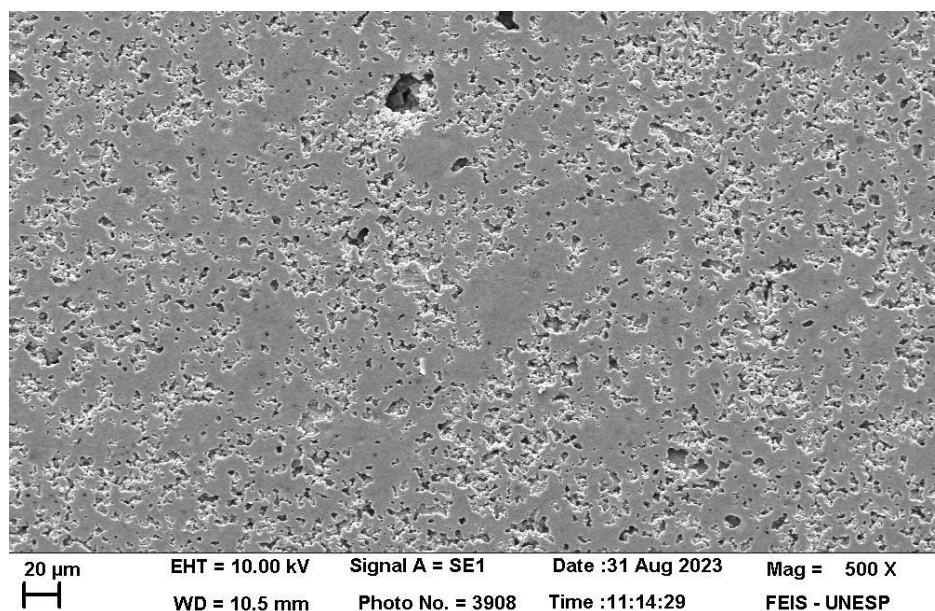
(c)

Fonte: Próprio Autor.

Podemos observar nas imagens que a simples utilização de diferentes cores das tintas contendo nanopartículas não conseguimos visualizar grande modificação na morfologia dos filmes. O que podemos verificar são as aglomerações de partículas na superfície do filme.

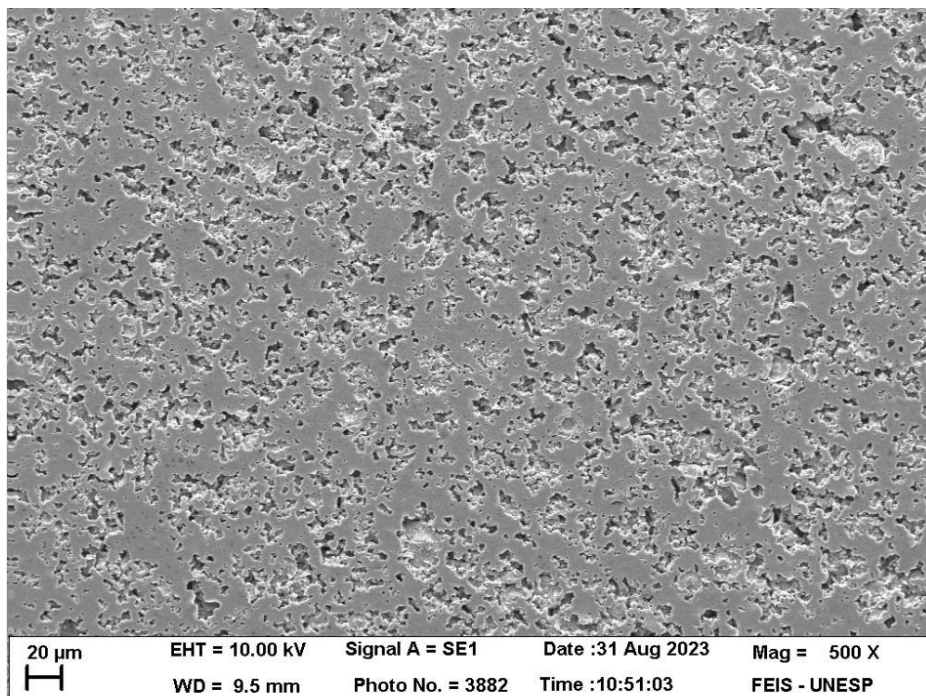
Na Figura 11, 12 e 13 nós observamos a imagem da superfície dos filmes sem a presença das nanopartículas. Observamos que a superfície se apresenta mais lisa sem aglomerações e rugosidade.

Figura 11: Micrografias de filmes de tinta branca.



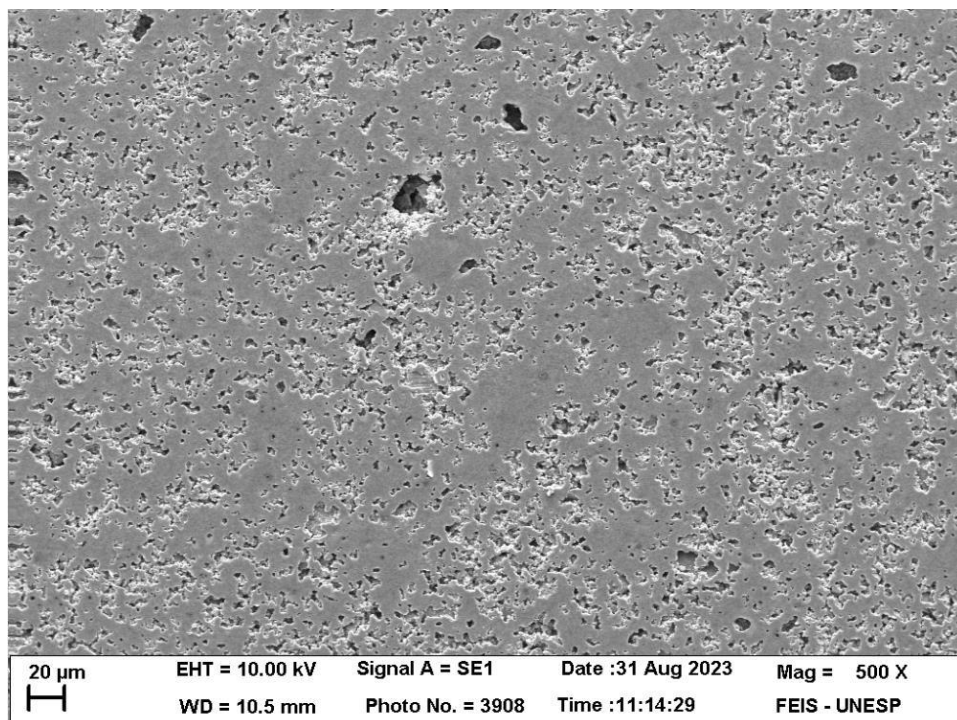
Fonte: Próprio Autor.

Figura 12: Micrografias de filmes de tinta amarela.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 13: Micrografias de filmes de tinta cinza.



Fonte: Próprio Autor.

5. Conclusões:

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que a adição de nanopartículas de prata às tintas estudadas não afetou significativamente suas propriedades físico-químicas, estabilidade de cor, espessura do filme e características de superfície. Observou-se um aumento na temperatura de degradação dos filmes, indicando uma maior estabilidade térmica com a presença das nanopartículas. Os resultados obtidos sugerem que as nanopartículas de prata desempenharam um papel com potencial de agentes biocidas na tinta, pelo fato de deixar a tinta mais resistente e mais homogênea. Portanto, seu uso pode ser considerado uma estratégia promissora para aprimorar as propriedades das tintas, tornando-as mais resistentes a fungos, bactérias e outros organismos prejudiciais em diversas aplicações na Engenharia.

5. Referências Bibliográficas:

- [1] BELOTTI, A.; DAVIDSON, R. Tintas: Composição, Propriedades e Aplicações. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2015; DAVIDSON, R. et al. Tintas Biocidas: Aplicações e Benefícios. Rio de Janeiro: Editora Atlas, 2007.
- [2] RAJESHKUMAR, S. et al. Nanopartículas de prata: síntese, mecanismo de ação e aplicações. *Materials Science and Engineering: C*, v. 7, n. 3, p. 748-759, 2016; DURAN, N. et al. Silver nanoparticles: synthesis, properties, and applications. Plenary Lecture at the 6th International Conference on Nanomaterials: Applications and Properties, September 20–25, 2016, Alushta, Crimea, Russia.
- [3] CEREDA, C. M. Análise de microestrutura de filmes por microscopia eletrônica de varredura. São Paulo: Editora UNESP, 2001.
- [4] MITUTOYO MANUFACTURING. Manual do Micrômetro Digital Modelo No. 7326. Japão: Mitutoyo Manufacturing, [s.d.].
- [5] KARBOWIAK, T.; DEBEAUFORT, F.; VOILLEY, A. Interfacial and emulsifying properties of food proteins: The air-water interface. In: *EMULSIONS: Structure, Stability and Interactions*. CRC Press, 2006.
- [6] HUILLCA, J. M. Avaliação da molhabilidade de superfícies para aplicação na indústria de revestimentos. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais e Processos Químicos e Metalúrgicos) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- [7] BIOLIN SCIENTIFIC AB. Manual do Medidor de Ângulo de Contato. Västra Frölunda: Biolin Scientific AB, [s.d.].
- [8] Rai, M., & Yadav, A. (2009). Biomedical applications of silver nanoparticles: an up-to-date overview. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 5(6), 512-522.
- [9] Tran, Q. H., & Nguyen, V. Q. (2013). Le, AT. Silver nanoparticles: synthesis, properties, toxicology, applications and perspectives. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 4(3), 033001.
- [10] Li, W. R., Xie, X. B., Shi, Q. S., Zeng, H. Y., Ou-Yang, Y. S., & Chen, Y. B. (2010). Antibacterial activity and mechanism of silver nanoparticles on *Escherichia coli*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 85(4), 1115-1122.
- [11] Xu, Z. P., Zeng, Q. H., Lu, G. Q., & Yu, A. B. (2006). Inorganic nanoparticles as carriers for efficient cellular delivery. *Chemical Engineering Science*, 61(3), 1027-1040.
- [12] Sotiriou, G. A., & Pratsinis, S. E. (2010). Antibacterial activity of nanosilver ions and particles. *Environmental Science & Technology*, 44(14), 5649-5654.

- [13] Marambio-Jones, C., & Hoek, E. M. V. (2010). A review of the antibacterial effects of silver nanomaterials and potential implications for human health and the environment. *Journal of Nanoparticle Research*, 12(5), 1531-1551.
- [14] Rodrigues, A. G., Pires, R. F., Mendonça, J. P., & Gomes, L. C. (2018). Tintas biocidas: propriedades e aplicações. *Química Nova*, 41(7), 811-822.
- [15] Moreira, C. O., & Camargo, E. R. (2015). Nanopartículas de prata: um novo sistema biocida para tintas de acabamento. *Polímeros*, 25(2), 204-211.
- [16] Oliveira, V. M., & Ribeiro, C. (2016). Estudo do potencial biocida de nanopartículas de prata incorporadas em tintas. *Polímeros*, 26(2), 176-181.
- [17] Vieira, A. P., Souza, A. R., Lima, R. M., Silva, M. A., & Ferreira, G. B. (2019). Desenvolvimento e caracterização de tintas biocidas utilizando nanopartículas de prata. *Exacta*, 17(2), 225-232.
- [18] Melo, D. M., & Santos, R. M. (2017). Avaliação do potencial biocida de tintas contendo nanopartículas de prata para aplicação em superfícies hospitalares. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, 17(2), 1-10.