



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO – PROPESP
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DOS
MATERIAIS – PPGCEM

LUÍSA VITÓRIA MENDONÇA DO NASCIMENTO

**PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE NANOCOMPÓSITOS
POLIPROPILENO E NANOPARTÍCULAS DE COBRE PP/NanoCu VISANDO A
ATIVIDADE VIRUCIDA AO COVID-19**

MANAUS – AM

2023

LUÍSA VITÓRIA MENDONÇA DO NASCIMENTO

**PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE NANOCOMPÓSITOS
POLIPROPILENO E NANOPARTÍCULAS DE COBRE PP/NanoCu VISANDO A
ATIVIDADE VIRUCIDA AO COVID-19**

Dissertação apresentada a Universidade Federal do Amazonas para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia dos Materiais pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais – PPGCEM da Universidade Federal do Amazonas – UFAM, sob a Orientação do Prof. Dr. José Costa de Macedo Neto e Coorientação do Prof. Dr. Roger Hoel Bello.

MANAUS – AM

2023

Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

N244p Nascimento, Luísa Vitória Mendonça do
Preparação e caracterização de nanocompósitos polipropileno e nanopartículas de cobre PP/NanoCu visando a atividade virucida ao Covid-19 / Luísa Vitória Mendonça do Nascimento. - 2023.
66 f. : il., color. ; 31 cm.

Orientador(a): José Costa de Macedo Neto .
Coorientador(a): Roger Hoel Bello.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Amazonas,
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de
Materiais, Manaus, 2023.

1. Nanocompósitos. 2. nanopartículas. 3. cobre. 4. polipropileno.
5. órteses. I. Macedo Neto, José Costa de. II. Bello, Roger Hoel. III.
Universidade Federal do Amazonas. Programa de Pós-Graduação
em Ciência e Engenharia de Materiais. IV. Título

**PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE NANOCOMPÓSITOS
POLIPROPILENO E NANOPARTÍCULAS DE COBRE PP/NanoCu VISANDO A
ATIVIDADE VIRUCIDA AO COVID-19**

LUÍSA VITÓRIA MENDONÇA DO NASCIMENTO

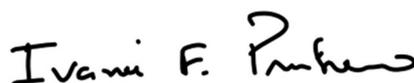
Dissertação apresentada a Universidade Federal do Amazonas para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia dos Materiais pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais – PPGCEM da Universidade Federal do Amazonas – UFAM, sob a Orientação do Prof. Dr. José Costa de Macedo Neto e Coorientação do Prof. Dr. Roger Hoel Bello.

BANCA EXAMINADORA

Aprovada em: Manaus, 30 de Novembro de 2023 pela seguinte banca examinadora:



Prof. Dr. José Costa de Macêdo Neto
(Orientador e Presidente)
Universidade do Estado do Amazonas (UEA)



Prof. Dr. Ivanei Ferreira Oinheiro
Universidade Estadual de Campinas
(UNICAMP)



Prof. Dr. Gilberto Garcia Del Pino
Universidade Estadual do Amazonas (UEA)

MANAUS – AM

2023

AGRADECIMENTOS

Diante de todos os percalços até aqui, gostaria de agradecer em primeiro lugar a Deus, pois sem Ele, nada disso seria possível e a todos os meus mentores e amigos espirituais. Se hoje eu estou aqui, é porque a minha fé me manteve firme e não me deixou cair. Grata de uma maneira inexplicável pela Doutrina Espírita em minha vida. "Tomai sobre vós o meu jugo e aprendei de mim, porque sou manso e humilde de coração, e vós encontrareis descanso. Pois o meu jugo é suave e o meu fardo é leve".

Ao amor da minha vida, minha mãe Nelsimar Ferreira de Mendonça, que é meu exemplo de força e fé: Muito Obrigada, mãezinha. Eu te amo nessas e em todas as outras vidas. Eu dedico essa vitória a senhora!

Agradeço a minha segunda mãe, que nem sabe o quanto ela é importante pra mim e o tanto que ela influencia na minha vida. Obrigada, minha mãe científica, Professora Dra. Jussara Socorro Cury Maciel, que nunca me deixou pensar que eu não podia fazer algo, se hoje eu tenho fé em mim, a senhora fez e faz parte disso.

Agradeço aos meus familiares e amigos por acompanharem nessa jornada, em especial, ao meu amigo e primo Hiago Dias Costa, se não fosse ele, eu nem teria tido a oportunidade de tentar. Obrigada por sempre me apoiar!

Agradeço aos meu orientador Professor Dr. José Costa de Macedo Neto e ao meu Coorientador Professor Dr. Roger Hoel Bello que tiveram muita paciência comigo e me instruíram da melhor forma possível.

Agradeço ao Centro Multiusuário para Análise de Fenômenos Biomédicos (CMABio – UEA) pelas imagens de MEV.

Grata a todas as pessoas que cruzaram o meu caminho e me ajudaram de alguma forma, seja em algum ensaio, na busca por material para a minha pesquisa ou simplesmente por uma palavra de conforto. Em especial, a todos os funcionários do Centro de Reabilitação da Colônia Antônio Aleixo, vocês me receberam muito bem!

Agradeço as Fundações que apoiaram a minha pesquisa, FAPEAM, através do projeto POSGRAD, como também a Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, que tornaram esse sono possível.

Enfim, a todos, meu especial carinho e profunda gratidão.

RESUMO

A pandemia de COVID-19 gerou impactos sociais, econômicos, culturais e políticos. A quantidade de mortos e infectados cresceu rapidamente, o distanciamento social tornou-se extremamente necessário neste período, com isso a busca por máscaras e produtos descartáveis forneceu um grande suporte ao consumo de polipropileno, além de produtos hospitalares, os descartáveis utilizados em alimentos e os eletrodomésticos foram mais procurados, devido ao maior tempo de pessoas em casa. O Polipropileno (PP) é um polímero com uma grande empregabilidade, presente também na fabricação de órteses. Neste processo de produção é gerado resíduos de PP que podem ser empregados novamente em órteses. Com o objetivo de estudar as características do rejeito das órteses para possíveis empregabilidades com os devidos cuidados ao vírus COVID-19 foram analisadas amostras do PP e amostras de PP com nanopartículas de Cobre com as proporções de 0,5%, 1,0%, 1,5% e 2%. O cobre é um metal com ação antimicrobiana e antivirucida, entretanto, ele possui propriedades que podem alterar as propriedades mecânicas, morfológicas e térmicas do polímero que foram estudadas neste trabalho. Para a obtenção de corpos de prova as amostras foram moídas e em seguida extrudadas. Essas amostras foram caracterizadas por Calorimetria Diferencial Exploratória (DSC), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) e Ensaio de Tração. A análise térmica mostra maior estabilidade com a adição das NPCu, a degradação do material diminuiu, assim como sua resistência à ruptura, conforme os ensaios de tração. Nas amostras de MEV foi possível observar a mudança significativa na adesão do material, eliminando fissuras e várias camadas de níveis da amostra.

Palavras chaves: Nanocompósitos, nanopartículas, cobre, polipropileno, órteses.

ABSTRACT

The COVID-19 pandemic generated social, economic, cultural and political impacts. The number of deaths and infections grew rapidly, social distancing became extremely necessary during this period, so the search for masks and disposable products provided great support for the consumption of polypropylene, in addition to hospital products, disposables used in food and Household appliances were more in demand, due to people spending more time at home. Polypropylene (PP) is a highly usable polymer, also used in the manufacture of orthoses. In this production process, PP waste is generated that can be used again in orthoses. With the aim of studying the characteristics of orthosis waste for possible uses with due care for the COVID-19 virus, PP samples and PP samples with Copper nanoparticles were analyzed in the proportions of 0.5%, 1.0%, 1.5% and 2%. Copper is a metal with antimicrobial and antivirucidal action, however, it has properties that can alter the mechanical, morphological and thermal properties of the polymer that were studied in this work. To obtain test specimens, the samples were ground and then extruded. These samples were characterized by Differential Scanning Calorimetry (DSC), Scanning Electron Microscopy (SEM), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) and Tensile Tests. The thermal analysis shows greater stability with the addition of NPCu, the degradation of the material decreases, as does its resistance to rupture, according to the tensile tests. In the SEM samples, it was possible to observe a significant change in the adhesion of the material, eliminating cracks and several layers of sample levels.

Keywords: Nanocomposites, nanoparticles, copper, polypropylene, orthoses.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Órteses e rejeitos dos moldes confeccionados	13
Figura 02 – Alterações na demanda global de polipropileno em decorrência da pandemia	17
Figura 03 – Pesquisas realizadas relacionadas ao polipropileno	19
Figura 04 – Pesquisas realizadas relacionadas ao polipropileno	20
Figura 05 – Representação da molécula do polipropileno	21
Figura 06 – Fórmula química do monômero propileno e do polipropileno.	22
Figura 07 – Classificação das órteses de membros inferiores	31
Figura 08 – Classificação das órteses de membros superiores	31
Figura 09 – Metodologia abordada	34
Figura 10 – Propriedades do polipropileno utilizado	35
Figura 11 – Nanopartículas de cobre	36
Figura 12- Moinho P1003 e o PP moído.....	37
Figura 13 – Moinho TE-680 e o PP moído por ele.....	38
Figura 14 – Extrusora utilizada na extrusão dos pallets.	38
Figura 15 – Injetora utilizada na injeção dos corpos de prova	39
Figura 16 – Ensaio de tração na Instron.	40
Figura 17– Espectro no infravermelho da amostra de PP puro	42
Figura 18– Espectro no infravermelho da amostra de 1% de NPCu	43
Figura 19– Sobreposição dos espectros no infravermelho das amostras.....	45
Figura 20– Curva de DSC da amostra de PP puro - 1º aquecimento	46
Figura 21– Curva de DSC da amostra de PP puro - 2º aquecimento	46
Figura 22 – Curva de DSC da amostra de NPCu/PP com 1,5% - 1º e 2º aquecimento.....	47
Figura 23 – Curva de DSC da amostra de NPCu/PP com 2% - 1º e 2º aquecimento.....	48
Figura 24 – Curvas de TGA E DTG da amostra de PP puro	49
Figura 25 – Curvas de TGA E DTG do NPCu/PP de 1%	50
Figura 26 – Curvas de TGA E DTG do NPCu/PP de 2%.	51
Figura 27 – Curvas de TGA e DTG do NPCu/PP de 1% e 2%.....	52
Figura 28 – Micrografias das amostras de PP, com os aumentos de (a) 200X, (b)1000X, (c) 2000X e (d)1000X.....	53
Figura 29 – Micrografias das amostras de NPCu/PP com 1,5% de NPCu, com os aumentos de (a) 200X, (b)1000X, (c) 2000X, (d)10000X.....	54
Figura 30 – Micrografias das amostras NPCu/PP com 2,0% de NPCu, com os aumentos de (a) 200X, (b)2000X, (c) 50X, (d)1000X.	55
Figura 31 – Mapeamento de cobre na amostra com 1,5% de NPCu	56
Figura 32 – Mapeamento de cobre na amostra com 2,0% de NPCu	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Trabalhos publicados sobre polipropileno e nanocompósitos.....	26
Tabela 02 - Dados dos elementos e da composição da nanopartícula de Cobre de acordo com o fabricante.....	36
Tabela 03 - Concentrações utilizadas para a fabricação dos corpos de prova.....	36
Tabela 04 – Condições de aquecimento	41
Tabela 05 – Condições do ensaio	41
Tabela 06– Espectro no infravermelho da amostra de PP puro	42
Tabela 07– Espectro no infravermelho da amostra de 1% de NPCu	44
Tabela 08– Resultados das amostras de DSC de PP puro	47
Tabela 09– Resultados das amostras de DSC 1,5% de NPCu.....	49
Tabela 10– Resultados da amostra de PP puro	50
Tabela 11– Resultados das amostras de 1% de NPCu e de 2% de NPCu	51
Tabela 12 – Resultados de EDS para a amostra de PP	53
Tabela 13 – Resultado de EDS para a amostra NPCu/PP com 1,5% de NPCu.....	54
Tabela 14 – Resultado de EDS para a amostra NPCu/PP com 2% de NPCu	55
Tabela 15 – Resultados do ensaio de tração dos CP apenas com PP	57
Tabela 16 – Média dos ensaios de tração dos compósitos com adição de 0,5%; 1,0%; 1,5% e 2,0%..	57

LISTA DE ABREVIATURAS

CNI – Confederação Nacional da Indústria

CP – Corpo de prova

Cu – Cobre

CuNPs – Nanopartículas de cobre

CuONPS- Nanopartículas de óxido de cobre

DPI – Instituto Holandês de Polímeros

DSC - Calorimetria Exploratória Diferencial

DTG – Derivada Termogravimetria

EPIs- Equipamentos de proteção individual

EVA- Copolímero de etileno e acetato de vinila

Fe - Ferro

FTIR - Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier

MEV - Microscopia Eletrônica de Varredura

NanoCu – Nanopartículas de Cobre

Ni - Níquel

NPCu - Nanopartículas de Cobre

OMS – Organização Mundial de Saúde

Pb – Chumbo

PE – Polietileno

PEAD – Polietileno de alta densidade

PEBD- Polietileno de baixa densidade

PEBDL - Polietileno de baixa densidade linear

PET – Tereftalato de polietileno

PIB – Produto Interno Bruto

PP – Polipropileno

PS – Poliestireno

PUR – Poliuretano

PVC – Policloreto de Vinila

Sb – Antimônio

Sn - Estanho

Tc – Temperatura de cristalização

TG – Temperatura de Transição Vítrea

TGA – Termogravimetria

Tm – Temperatura de fusão

Xc- grau de cristalinidade

Zn - Zinco

SUMARIO

INTRODUÇÃO	13
OBJETIVOS	15
Objetivo Geral	15
Objetivos Específicos.....	15
REFERENCIAL TEÓRICO	16
Influência da produção de plástico na Pandemia	16
Polipropileno (PP) e a pandemia	17
Propriedades do PP	20
Nanocompósitos.....	23
Nanopartículas de Cobre.....	27
Reciclagem de Polipropileno.....	28
Órtese.....	29
MATERIAIS E MÉTODOS	33
Revisão Bibliográfica	34
Preparo de Mistura	34
Concentração das misturas.....	36
Moagem do material.....	37
Extrusão.....	38
Injeção.....	39
Ensaio.....	39
RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
CONCLUSÃO	59
REFERÊNCIAS	60

1. INTRODUÇÃO

Apesar da desaceleração da demanda global resultante da crise financeira de 2008 e da pandemia em 2020, o crescimento do polipropileno continua a superar o PIB mundial, com a demanda global sendo alimentada pela demanda especialmente alta da China e suas indústrias orientadas para a exportação. Esta resiliência demonstrada em épocas de crise é reflexo das propriedades altamente desejáveis que o tornam o material escolhido para uma abundância de aplicações (IHS MARKIT, 2021c).

O plástico trouxe uma série de possibilidades de evolução para a sociedade, que vão desde alimentos bem embalados, evitando o desperdício, produtos de hospitais, brinquedos, até próteses que salvam vidas. Os termoplásticos de alta temperatura, como o polipropileno, comumente são utilizados na confecção de órteses para os membros inferiores por apresentarem uma maior rigidez em comparação com os outros materiais citados anteriormente, suportando maiores cargas (CAPELLO; TOYODA, 2000; TROMBLY, 2005).

Muito utilizado na fabricação de diversos materiais, como máscaras, eletrodomésticos, dentre de outros. O polipropileno é usado na fabricação de órteses, porém há uma grande quantidade de material que é descartado no processo. Neste trabalho foi utilizado o polipropileno descartado do Centro de Reabilitação Colônia Antônio Aleixo, localizado na cidade de Manaus – AM.

Figura 01 – Órteses e rejeitos dos moldes confeccionados



Fonte: Autor

Além de ser empregado na fabricação de nanocompósitos poliméricos. Os nanocompósitos apresentam propriedades térmicas e mecânicas superiores às

apresentadas pelos compósitos tradicionais com baixo teor de nanopartículas, geralmente inferior a 5% (Arao et al., 2013).

A utilização de materiais com dimensões nanométricas e que apresentam propriedades virucidas tornou-se cada vez mais frequente, pois os materiais nanométricos apresentam grande importância pelo fato de vírus também apresentar dimensões nanométricas (Berni et al., 2008)

Um exemplo de material nanométrico é a utilização de nanopartículas de cobre. As partículas de óxido de cobre funcionam como um desinfetante natural. As tintas e superfícies enriquecidas com o aditivo desencadeiam um processo que destrói a capa protetora do vírus. Assim, quando uma pessoa espirra ou tosse próximo a uma parede ou corrimão, por exemplo, e o coronavírus se deposita nessa superfície aditivada, ele interage com as partículas de cobre e é destruído. (PALAZANI, 2022)

Diante da versatilidade do polipropileno, observando a quantidade de material que é descartado após a produção do molde da órtese, este trabalho tem como objetivo reutilizar esses resíduos na produção de nanocompósitos (nanocobre/PP), implementando nanopartículas de cobre visando a sua reutilização.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Obter e caracterizar nanocompósitos poliméricos com a matriz de polipropileno (PP) reciclado e nanopartículas de cobre (NPCu) visando caracterizar propriedades morfológicas e mecânicas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Produzir os filamentos de compósitos de PP virgem e reciclado em diferentes concentrações de NPCu e variando (0,5%, 1,0%, 1,5% e 2%).
2. Avaliar as propriedades mecânicas dos filamentos produzidos através do Ensaio de Tração;
3. Avaliar as propriedades térmicas dos compósitos pela técnica de Calorimetria Diferencial Exploratória (DSC);
4. Verificar a adesão e compatibilidade do polímero e as nanopartículas de cobre através da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV);
5. Identificar os grupos químicos presentes nas amostras através da Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier;

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 INFLUÊNCIA DA PRODUÇÃO DE PLÁSTICO NA PANDEMIA

O SARS-CoV-2 faz parte de uma ampla família de vírus que pode causar enfermidade em humanos e animais. Desde a detecção do primeiro caso na China, no final de 2019, o vírus espalhou-se rapidamente no mundo. No dia 30 de janeiro, a Organização Mundial de Saúde (OMS) classificou a doença produzida pelo vírus, COVID-19, como uma emergência de saúde internacional (WHO, 2019). A pandemia da doença causada pelo novo coronavírus 2019 (COVID-19) tornou-se um dos grandes desafios do século XXI. No dia 11 de março, a OMS declarou haver uma pandemia de COVID-19, com aproximadamente 118.000 casos em 114 países e territórios. Em 11 de abril, o número de casos confirmados já passava de 1.700.000 em praticamente todos os países e territórios, havendo ainda a confirmação de mais de 103.000 mortes (ROSER, 2020).

A crise causada pela pandemia da Covid-19 afetou todas as dimensões da vida. Tratou-se de uma crise humanitária; seus impactos na saúde e na atividade econômica foram apenas os mais óbvios. Sem dúvida, o fenômeno estimulou a pesquisa e a produção de informação estratégica para ampliar o debate sobre o tema e guiar a tomada de decisão, dados os desafios enormes enfrentados pelos governos e nações, individual e coletivamente, para a implementação de medidas em resposta à pandemia. (IPEA; 2021).

Os impactos do novo coronavírus tem sido sentido de diversas maneiras pelas empresas industriais, como redução de receitas, queda na produção, dificuldades logísticas, problemas com a mão de obra e dificuldade de acesso a crédito. (CNI, 2020).

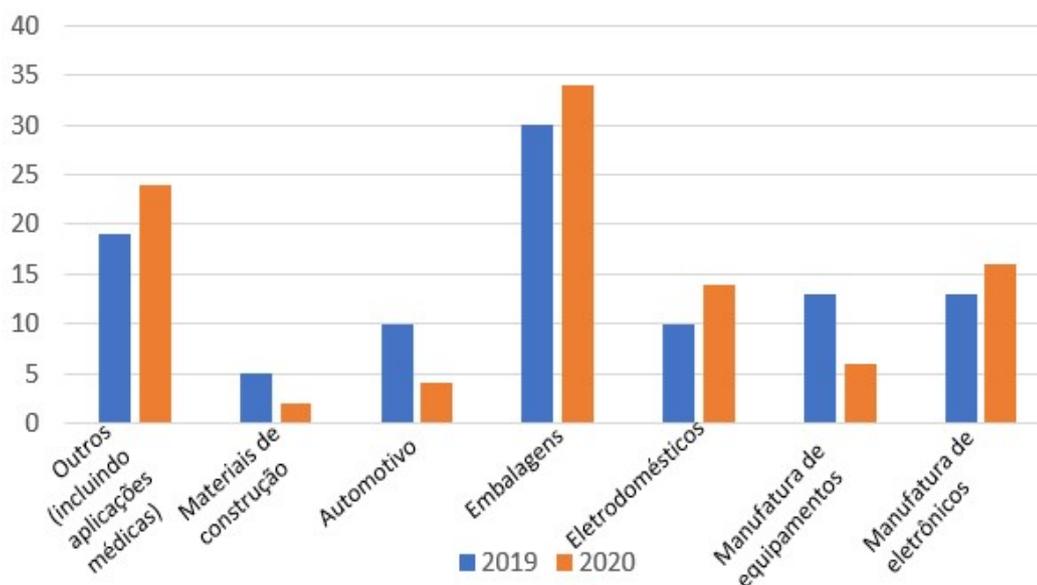
Durante a pandemia, a grande demanda de matéria-prima provocou uma crise na indústria brasileira. Segundo uma pesquisa realizada pela Confederação Nacional da Indústria (CNI) (2020), entre os principais problemas citados, estão a queda de demanda por seus produtos, a dificuldade em conseguir insumos e matérias-primas e a redução da oferta de capital de giro financeiro.

Com a Covid-19, houve impactos desde equipamentos de proteção individual (EPIs) dos profissionais da linha de frente da saúde até as embalagens dos pedidos

de delivery. Com a chegada da pandemia, a única fornecedora de matéria-prima de resina plástica no Brasil reduziu a capacidade de produção para 64% (BORGES, 2021).

A indústria de embalagens plásticas está muito conectada no mundo todo, muito dependente das respectivas áreas de aplicação – e, portanto, muito vulnerável se algo emperra no meio do caminho. Nos primeiros três meses do ano de 2021, houve um aumento acentuado nos preços de importantes plásticos na indústria de embalagens. O polietileno, por exemplo, subiu mais de 35%, enquanto outros plásticos, como o poliuretano (PUR), ficaram 50% mais caros nos últimos seis meses do ano de 2021 (BECKER, 2021).

Figura 02 – Alterações na demanda global de polipropileno em decorrência da pandemia
Demanda Global de Polipropileno



Fonte: ICIS, 2021

De acordo com a Figura 01, observa-se que a produção de embalagens e outros produtos que incluem aplicações médicas aumentaram ou se mantiveram, já na construção de materiais e na área automotiva, a demanda caiu 40% em ambas.

3.2 POLIPROPILENO (PP) E A PANDEMIA

De acordo com o Instituto Holandês de Polímeros – DPI (2006), o PP é, portanto, item da segunda geração da cadeia produtiva da indústria petroquímica. Os dados do setor do setor agrupam o produto na categoria das resinas termoplásticas,

que inclui, além do próprio polipropileno, os seguintes itens: polietileno de baixa densidade (PEBD), polietileno de baixa densidade linear (PEBDL), polietileno de alta densidade (PEAD), poliestireno (PS), policloreto de vinila (PVC), copolímero de etileno e acetato de vinila (EVA) e tereftalato de polietileno (PET). O polipropileno é um dos termoplásticos mais vendidos no mundo, apresentando faturamento superior a dezenas de bilhões de dólares. Desde meados da década dos 70 a produção mundial vem mostrando crescimento anual da ordem de 5% a 8% e, atualmente, a capacidade instalada é superior a 30 milhões de toneladas.

O ano de 2020 foi definitivamente um ano atípico com milhões de mortes, aeroportos fechados e lockdowns em países inteiros. A pandemia resultou em grandes interrupções logísticas em todo o mundo e uma desaceleração da economia global. Apesar disso, a demanda por polipropileno demonstrou resiliência. No início de 2020, era esperado que o consumo de PP fosse severamente afetado pelo COVID-19, enquanto isso se manteve no segundo trimestre, a situação melhorou no segundo semestre (IHS MARKIT, 2021).

De acordo com um relatório publicado pela *Acute Market Reports* (EUA) em 2021, o mercado teve uma subcategorização com base na matéria-prima. O polipropileno dominou o mercado com uma participação de mais de 30% para o ano de 2020. Esse dado é atribuído à sua crescente demanda na indústria automotiva, de produtos domésticos e aplicações de embalagens.

De acordo com Borges (2021), devido ao grande número de casos, a demanda de máscaras descartáveis e diversos EPIs, como macacões e protetores faciais, demandou o aumento no consumo de polipropileno. Como também, a utilização de embalagens de alimentos, já que as pessoas permaneciam mais tempo em casa.

Além de muito utilizado para a fabricação de embalagens, assim como outros polímeros, tem sido cada vez mais utilizados, juntamente com nanopartículas, na produção de materiais com ações antimicrobianas. Recentemente, o projeto e aplicação de polímeros, principalmente com nanopartículas metálicas, tem gerado benefícios significativos em áreas relacionadas à saúde e ao cuidado humano, uma vez que a incorporação de cargas nanométricas modifica drasticamente as propriedades físico-químicas dos materiais obtidos (Caseri 2000; Vaia & Gianellis, 2001).

Em particular, a incorporação de nanopartículas metálicas em polímeros com propriedades antimicrobianas, como prata (Sondi & Salopek-Sondi, 2004), cobre (Ren, Hu, Cheng, Vargas-Reus, Reip & Allaker, 2009), ouro (Rai, Prabhune & Perry, 2010), dióxido de titânio (Yeung, Leung, Yao & Cao, 2009) e óxido de zinco (Liu, He, Mustapha, Li, Hu & Lin, 2009), entre outros, tem permitido a obtenção de compostos capazes de prevenir a crescimento e disseminação de microrganismos, sendo as nanopartículas de prata as cargas nanométricas mais utilizadas (Rai, Yadav & Gade, 2009; Ruparelia, Chatterjee, Duttagupta & Mukherji, 2008). No entanto, verificou-se que as nanopartículas de cobre e seus óxidos possuem alta eficácia antimicrobiana a um custo muito menor, o que pode favorecer seu uso industrial do ponto de vista comercial (Anyagou, Fedorov & Neckers, 2008; Raffi et al., 2010).

Através das pesquisas de trabalhos relacionados ao polipropileno no período da pandemia, por meio do Google Acadêmico, plataforma de pesquisas de publicações, analisando os dados obtidos pelos filtros de pesquisa, é possível notar o seu crescimento das buscas relacionadas ao polímero.

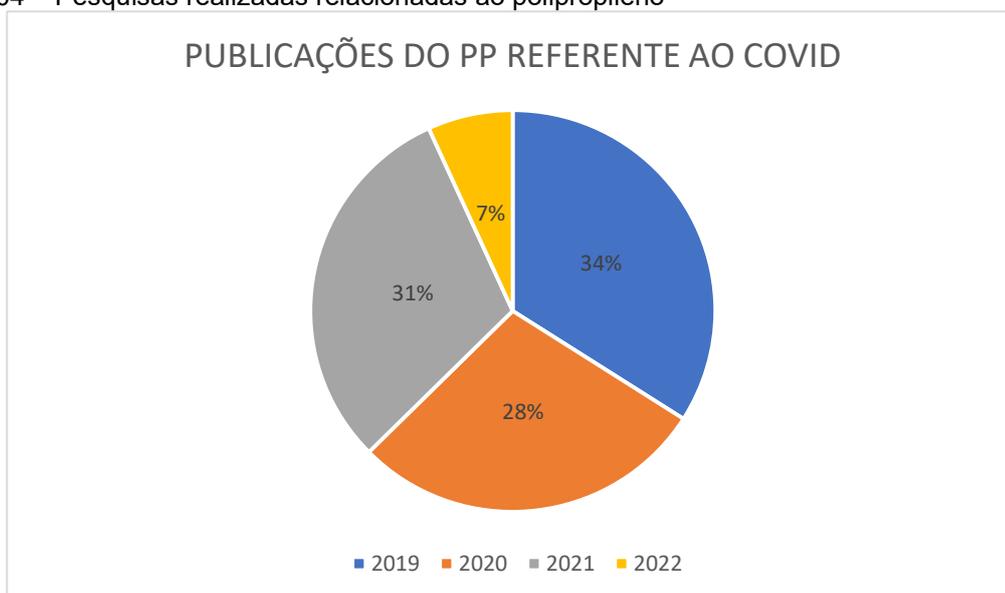
Figura 03 – Pesquisas realizadas relacionadas ao polipropileno



Fonte: Dados compilados do Google Trends, compilados pelo autor.

Assim como a procura, as pesquisas, também levantadas pelos Google Acadêmico e categorizadas por meio dos filtros de pesquisa da plataforma, nota-se que a utilização do polipropileno como solução em medidas contra o Coronavírus evoluiu, conforme observado na figura 3, mesmo com a maior numero de trabalhos no início da pandemia (2019), os trabalhos referentes ao polipropileno e com relação ao COVID permaneceu em alta durante os anos.

Figura 04 – Pesquisas realizadas relacionadas ao polipropileno

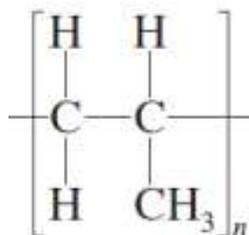


Fonte: Dados compilados das pesquisas do Google Acadêmico e adaptados pelo autor.

3.3 PROPRIEDADES DO PP

Polipropileno (PP) é um polímero termoplástico versátil, compatível com várias técnicas de processamento e utilizado em diversas aplicações comerciais. É sintetizado a partir da polimerização do propeno (HARPER, 2000). A sua estrutura é bastante simples, o que fez deste material um dos pioneiros no estudo de diversas características dos materiais poliméricos.

Figura 05 – Representação da molécula do polipropileno



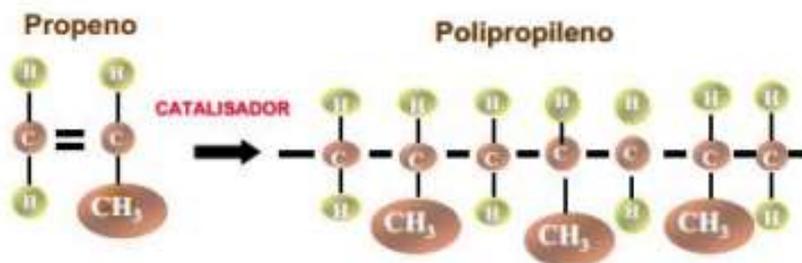
Fonte: Smith et al, 2019

O monômero propeno, também chamado de propileno, é a matéria-prima básica do PP e deve ter um alto nível de pureza. O propeno é uma das principais commodities químicas da cadeia petroquímica e é obtido de forma predominante como coproduto do craqueamento à vapor da nafta (PLASTICS INSIGHT, 2017). Todavia, a produção do monômero a partir da desidrogenação do propano se tornou uma alternativa viável e vem se popularizando nos últimos anos em decorrência do desenvolvimento da indústria do gás de xisto e consequente aumento da oferta de gás natural nos Estados Unidos (MALPASS e BAND, 2012).

Conforme Dynalon (2011), o polipropileno foi descoberto em 1954 e ganhou uma forte popularidade muito rapidamente devido ao fato de o PP ter a menor densidade entre os plásticos comuns. O PP tem uma excelente resistência química e pode ser processado através de muitos métodos de conversão, como moldagem por injeção e extrusão. Sua grande vantagem está relacionada à resistência a altas temperaturas, o que torna o PP particularmente adequado para itens como bandejas, funis, baldes, garrafas, garrafões e frascos de instrumentos que precisam ser esterilizados (limpos) com frequência para uso em um ambiente clínico.

O polipropileno (PP) é da família das poliolefinas, onde na qual são polímeros oriundos de monômeros de hidrocarboneto alifático insaturado contendo uma dupla ligação carbono-carbono reativa. Classificados como termoplásticos, tendo como principal característica o reprocessamento, podendo ser moldado inúmeras vezes, através do uso da temperatura. O baixo custo do polipropileno aliado à sua versatilidade são aspectos importantes que proporcionam o emprego deste polímero e o consequente desenvolvimento das pesquisas com este polímero (CANEVAROLO JUNIOR, 2006; LIEBERMAN, 1988).

Figura 6 – Fórmula química do monômero propileno e do polipropileno.



Fonte: (Oliveira, 2012)

Desde a sua introdução, o polipropileno se tornou uma das mais importantes resinas termoplásticas da atualidade, sendo o segundo mais produzido no mundo, perdendo apenas para o polietileno. O PP é fabricado em várias formas e suas aplicações são onipresentes na vida cotidiana, desde a fibra em tapetes e estofados até garrafas plásticas (MONTENEGRO et al., 1996).

De modo geral, o PP é facilmente reciclado e pode ser processado por uma grande variedade de métodos, incluindo moldagem por injeção, moldagem por sopro, extrusão e termoformagem. O polipropileno também possui a propriedade de estar orientado. A biorientação melhora as propriedades óticas do material e aumenta sua resistência à ruptura. O filme biorientado (BOPP) é utilizado para a produção de fitas adesivas, rótulos e embalagens para alimentos (MONTENEGRO et al., 1996).

Conforme Neto (2021), o polipropileno é produzido comercialmente em diferentes formas, dependendo das propriedades desejadas. Os tipos mais importantes disponíveis são:

- Homopolímero (HOMO): é considerado um tipo geral e pode ser usado para uma variedade de finalidades. São plásticos duráveis e rígidos;
- Copolímero randômico (RACO): apresentam melhor flexibilidade e ponto de fusão mais baixo. Possui unidades de comonômero, geralmente etileno, dispostas aleatoriamente ao longo da estrutura;
- Copolímero de impacto (também chamado de copolímero heterofásico ou HECO): são mais resistentes e duráveis que o homopolímero e têm em sua composição entre 5 % e 25 % de etileno.

O polipropileno pertence à indústria petroquímica que, por sua vez, é parte da indústria química. (BNDES, 2005). A cadeia petroquímica, que é o segmento mais expressivo da indústria química, constitui-se de unidades de primeira geração, que são as produtoras de básicos petroquímicos (eteno e propeno) e aromáticos (benzeno, tolueno); e de unidades ou empresas de segunda geração, que são, sobretudo, as produtoras de itens intermediários e resinas termoplásticas. As empresas de terceira geração, mais conhecidas por empresas de transformação plástica, são os clientes da indústria petroquímica que transformam os produtos da segunda geração e intermediários em materiais e artefatos utilizados por diversos segmentos, como o de embalagens, construção civil, elétrico, eletrônico e automotivo. As indústrias de primeira e segunda geração operam, normalmente, integradas em polos de produção, também chamados polos petroquímicos (GOMES et al.; 2005).

3.4 NANOCOMPÓSITOS

A busca por novos materiais com propriedades diferenciadas é amplamente estudada no ramo da ciência dos materiais. Nesse contexto, a nanotecnologia tem sido aplicada a fim de desenvolver materiais com características nunca antes encontradas. Nanocompósitos são materiais que, por meio da nanotecnologia, alcançam uma melhor performance quando comparados com suas matérias primas. Dessa forma, estes novos materiais, que muitas vezes são multifuncionais, podem ser uma alternativa a outros materiais já existentes de custo elevado (FERREIRA, 2008).

A busca por novos materiais com propriedades diferenciadas é amplamente estudada no ramo da ciência dos materiais. Nesse contexto, a nanotecnologia tem sido aplicada a fim de desenvolver materiais com características nunca antes encontradas. Nanocompósitos são materiais que, por meio da nanotecnologia, alcançam uma melhor performance quando comparados com suas matérias primas. Dessa forma, estes novos materiais, que muitas vezes são multifuncionais, podem ser uma alternativa a outros materiais já existentes de custo elevado (FERREIRA, 2008).

A nanotecnologia é uma ciência relativamente recente, descoberta por Richard Feynman em 1959, que permite manipular os átomos em escala nanométrica e produzir compósitos com nanopartículas (PERCÍLIA, 2020). Nanocompósitos poliméricos como uma nova classe de material compósito em que o reforço se encontra, com pelo menos, uma de suas dimensões em escala nanométrica (menor

que 100nm) (HUSSAIN,2006). As novas aplicações estão associadas a vários tipos diferentes de nanomateriais, tais como: as nanopartículas, nanocompósitos, nanocristais, estruturas baseadas em carbono (nanotubos de carbono, grafeno, pontos quânticos e nanofibras), micelas poliméricas, etc. (FECHINE, 2021).

O interesse pelos nanocompósitos tem crescido acentuadamente, uma vez que estes compostos tendem a apresentar melhores propriedades quando comparados com os compósitos convencionais. A melhora nas propriedades do material ocorre devido ao fato de que as interações na interface entre matriz/reforço tendem a aumentar em escala nanométrica e isto faz com que haja um aumento nas propriedades do material (BATAN et al., 2016). Muitos nanocompósitos, assim como os tradicionais, são definidos como sendo constituídos de um sistema formado pela combinação de dois ou mais constituintes deferindo em forma e/ou composição química e que sejam essencialmente insolúveis entre si. Estes componentes devem juntos oferecer propriedades sinérgicas diferenciadas de apenas um aditivo, ou seja, propriedades melhores que a de seus componentes individuais. Os compósitos diferem dos compósitos convencionais por possuírem a fase de reforço com pelo menos uma das suas dimensões na escala nanométrica (FEDULLO et al., 2007; Callister 2020).

Os constituintes de um nanocompósitos são denominados de matriz e nanoreforço (ou nanocarga). A principal função da matriz é dispensar o nanoreforço e, quando submetida a uma tensão mecânica, deformar a fim de distribuir e transferir as tensões para o componente de reforço. O nanoreforço deve suportar a carga aplicada ao material limitando a deformação do mesmo, e ao mesmo tempo aumentando a resistência, dureza, rigidez e diminuindo a corrosão e a fadiga quando comparado com a matriz.

Os nanocompósitos podem ser classificados de acordo com sua matriz, sendo nanocompósitos de matriz metálica, nanocompósitos de matriz cerâmica e nanocompósitos de matriz polimérica (CAMARGO, 2009).

A classificação de compósitos poliméricos depende da natureza dos componentes empregados na formação dos mesmos, bem como do método de preparação utilizado. Assim, diferentes estruturas podem ser obtidas e classificadas de acordo com o

tamanho de uma das fases da combinação dos materiais para a formação do compósito polimérico.

As propriedades apresentadas pelos materiais na macroescala devem ser interpretadas de uma forma holística, onde elas representam o comportamento médio de todo o objeto. Por exemplo, a densidade, o módulo elástico e a resistência elétrica estão associadas ao objeto como um todo e sofrem influência das partes que o compõem. No entanto, um material de composição fixa, ao ter suas dimensões reduzidas para a escala nano, pode apresentar alguns efeitos não observáveis na macroescala. Por exemplo, características relacionadas ao comportamento elétrico, às propriedades mecânicas, à cor e à reatividade, podem ser diferentes para o mesmo material na nano e na macroescala. A principal mudança na redução de escala está associada ao enorme aumento da razão entre a área superficial do objeto e o volume por ele ocupado. Desse modo, os efeitos de superfície em materiais nanométricos contribuem mais significativamente para as propriedades apresentadas. Esse é o caso, por exemplo, do atrito, o qual passa a ser muito mais significativo do que a inércia, que é dependente da massa do objeto. Da mesma maneira, as forças intermoleculares e eletrostáticas passam a ter maior importância e podem ser consideradas fortes, ao passo que na macroescala são muitas vezes ignoradas.

De acordo os estudos de Rong et al., (2006) e Kumar et al., 2019, a presença de nanoestruturas, como as nanopartículas, dispersas na matriz polimérica pode trazer diferenças significativas de algumas propriedades mecânicas, como rigidez (resistência à deformação elástica) e resistência à tração (tensão máxima suportada pelo material antes de quebrar ou falhar), por exemplo.

Conforme Tjong (2006), essas mudanças estão associadas à interação entre a matriz polimérica e as nanopartículas, as quais atuam restringindo mecanismos que levam à deformação ou à fratura do material. Um defeito ou fratura, por exemplo, que se propagaria por todo o material homogêneo, pode ter sua progressão interrompida ao encontrar uma nanoestrutura dispersa na matriz. Desse modo, para se obter um nanocompósito com características mecânicas melhoradas, alguns requisitos importantes devem ser atendidos. Por exemplo, o nanomaterial deve estar disperso de maneira uniforme na matriz, maximizando a interface partícula/matriz e, conseqüentemente, a interação entre eles, de forma a garantir que a carga sofrida

seja efetivamente transferida da matriz polimérica para o reforço disperso, evitando-se a formação de pontos concentradores de tensão (RONG et al., 2006; KUMAR et al., 2019).

Consoante Canevarolo Jr (2006), a temperatura de transição vítrea (T_g) de polímeros, ou sejam a temperatura na qual ocorre a transição de um estado rígido e geralmente frágil (estado vítreo) para um estado borrachoso é fundamental para o processamento e a utilização dos materiais poliméricos. A natureza do material nanométrico, sua quantidade e interação com a matriz polimérica podem deslocar a T_g do nanocompósito para valores de temperatura mais altos ou mais baixos que a T_g do polímero puro, pois a T_g está associada à mobilidade das cadeias poliméricas, que podem apresentar mais ou menos mobilidade com a inserção das nanopartículas (FU, S. et al.; 2019).

No estudo de nanocompósitos polímeros o polipropileno é uma matriz amplamente abordada. Este interesse está associado à versatilidade do polímero (baixa densidade, fácil processamento e ampla gama de aplicações) que aliada ao uso da nanotecnologia, pode alcançar características como condutividade elétrica, alto módulo de Young e propriedade de barreira de gases. Além desses ganhos em desempenho, o uso da nanotecnologia agrega valor ao produto, característica buscada pela indústria para polímeros tipo commodity com o polipropileno (THAT M, SARAZIN, BUREAU, DENAULT, 2004; HUSSAIN, OKAMATO, GORGA, 2006).

Atualmente, existem trabalhos na literatura utilizando nanocompósitos poliméricos com nanopartículas derivadas de óxidos metálicos, principalmente nanopartículas de prata e cobre. O cobre pode ser utilizado em relação à prata pelo menor custo. Os nanocompósitos poliméricos com nanopartículas de cobre possuem propriedades biológicas sanitizantes que auxiliam na limpeza e desinfecção de superfícies (NGUYEN e TRINH, 2019; TAMAYO, L. et al., 2016; PINTO et al., 2013). Existem também diversos produtos comerciais que estão sendo produzidos nacionalmente e internacionalmente no combate ao coronavírus, conforme ilustrado na tabela 01.

Tabela 01 – Trabalhos publicados sobre polipropileno e nanocompósitos.

Autor Principal	Trabalho
K. Ribeiro, 2021	A Fabricação de compósitos Ag ₃ PO ₄ (AP)/polipropileno (PP), com formulação à base de polipropileno (PP) e composto por micropartículas de prata e sílica desenvolvidas pela companhia Nanox (São Carlos, SP), foi produzido um filme que

	apresentou capacidade de eliminar cerca de 99,84% de partículas do SARS-CoV-2 após dois minutos de contato. prazo.
Marques, 2021	Desenvolvimento de embalagens utilizando polímeros com propriedades antibacterianas com a utilização de polímeros naturais, sintetizando CuNPs e CuONPs
Promaflex, 2021	A Promaflex desenvolveu com tecnologia inovadora de íons de prata, um filme que promove a redução de contagem de vírus, bactérias e fungos a partir de seu contato com o filme antimicrobiano. Após 2 minutos em teste de laboratório, o vírus do SARS COV2 já tinha sido inativado chegando a 99,46%.
Sunghoon Jung, 2021	Um filme fino de cobre (20 nm) foi depositado por meio de revestimento a vácuo em um filtro PP ao redor de uma máscara facial KF94 para fornecer proteção adicional e reduzir o risco de transmissão secundária. A adesão do filme foi melhorada usando o pré-tratamento com feixe de íons de oxigênio, resultando na formação de óxido na fibra de PP sem deformação estrutural.

Fonte: Adaptado pelo autor

3.5 NANOPARTÍCULAS DE COBRE (NPCu)

O cobre pode ser considerado um excelente material para o desenvolvimento de materiais antimicrobianos. Durante os últimos anos, suas ligas, sais e óxidos foram reconhecidos como materiais biocidas fortes contra uma ampla gama de bactérias (BORKOW, GABBAY, 2005; MUÑOZ-BONILLA, 2013).

As nanopartículas de metal possuem sensibilidade ultravioleta-visível fascinante, propriedades elétricas, catalíticas, térmicas e antibacterianas devido aos motivos: efeitos quânticos e grande relação superfície-volume (WANG, 2000). Um grande número de átomos está presente na superfície devido ao menor tamanho de partícula. A relação superfície-volume das partículas varia dependendo da forma e tamanho das nanopartículas, incluindo a sensibilidade ultravioleta-visível e a condutividade.

As propriedades características, incluindo os níveis de energia eletrônica, afinidade eletrônica, transições eletrônicas, propriedades magnéticas, temperatura de transição de fase, ponto de fusão e afinidade com polímeros, moléculas biológicas e orgânicas também são moduladas pela mudança na área de superfície. Os efeitos quânticos são devidos à combinação de tamanho quântico e efeitos de carga de Coulomb (VOLOKITIN et al. 1996) que conferem a carga às nanopartículas. Quando o efeito da carga de Coulomb é associado ao tamanho quântico, obtém-se uma gama de propriedades fascinantes que não são observadas para o mesmo material a granel.

Os efeitos quânticos são proeminentes em partículas esféricas e em partículas com arestas vivas. Devido a esses efeitos e sua natureza dependente do tamanho, as nanopartículas são usadas em catálise, detecção e geração de imagens. (MUHAMMAD, RIDA, 2017).

Ao fabricar nanocompósitos poliméricos biocidas à base de cobre, deve-se levar em consideração o fato de que os íons Cu^{+2} são os agentes biocidas e, portanto, é essencial que o material seja capaz de liberar os íons e que estes estejam disponíveis na superfície do material, para que haja ação antimicrobiana. Como o cobre lixivia os íons pela ação corrosiva do oxigênio em meio aquoso, o material deve permitir: a difusão da água pelos espaços livres do polímero, a lixiviação dos íons pela ação da água e a difusão dos íons para a superfície do composto (ESTIBILL, 2012).

Avaliadas quanto ao efeito biocida, nos mesmos teores de aditivação, partículas de cobre em escala micrométrica não causam danos às células comparáveis aos provocados por nanopartículas de cobre. (PALZA, 2015) A efetividade antimicrobiana das nanopartículas metálicas é um efeito do seu reduzido tamanho e da alta relação volume versus área superficial, permitindo um grande número de átomos na superfície da partícula, o que leva a uma elevada interação com a membrana microbiana (INGLE, 2014). Estudos demonstraram que as propriedades antibacterianas de nanopartículas de cobre, associadas à liberação de Cu^{+2} , estão diretamente relacionadas ao tamanho. Observou-se que a liberação de íons de nanopartículas (diâmetros de cerca de 10 nm) incorporadas na matriz de polipropileno aumentou rapidamente com pico de liberação durante as primeiras 24 horas enquanto que no caso de compósitos formulados com micro partículas (diâmetro de cerca de 45 μm) a taxa de liberação de íons foi mais lenta (PALZA, 2014)

3.6 RECICLAGEM DE POLIPROPILENO

Com a globalização e o crescimento populacional, existe a necessidade de se estudar o desenvolvimento de novos produtos a partir de seus resíduos (em diferentes formulações) com a inserção, ou não, de materiais poliméricos pós-consumo, de forma a minimizar o emprego da matéria prima virgem e reduzir o descarte de materiais nobres (BASTISTELLE, BEZERRA E VALARELLI, 2014)

Os compostos de PP são desenvolvidos utilizando resinas diferenciadas, o que permite uma ampla gama de variações estruturais e morfológicas nos diferentes tipos de homopolímeros e copolímeros produzidos. Dentre todos os polímeros, o polipropileno é um dos mais estudados quando se pretende obter polímeros carregados e/ou reforçados (SARANTÓPOULOS, 2002)

3.5 ÓRTESES

Órteses são dispositivos aplicados externamente ao corpo para tratar problemas resultantes de lesões, doenças, problemas congênitos ou processo de envelhecimento. Em função da especificidade de cada indivíduo, este dispositivo poderá ter objetivos diversos, como estabilizar ou imobilizar, impedir ou corrigir deformidade, proteger contra lesão, promover a cura ou assistir a função (RODRIGUES, CAVALCANTI, GALVÃO, 2007; ASSUMPÇÃO, 2005; FRANCISCO, 2004).

Conforme Carvalho (2005), as órteses possuem a finalidade de propor melhoria funcional devido a algum tipo de disfunção ou necessidade de suporte, auxiliando em uma recuperação mais segura, rápida e eficaz junto a indivíduos com comprometimento neuromusculoesqueléticos com alterações funcionais temporárias ou permanentes. A órtese é definida como uma peça ou aparelho de correção ou complementação de membros ou órgãos do corpo que também podem ser fixadas como qualquer material permanente ou transitório que auxilie as funções de um membro, órgão e tecido, desde que a sua colocação ou remoção não requeira a realização de ato cirúrgico.

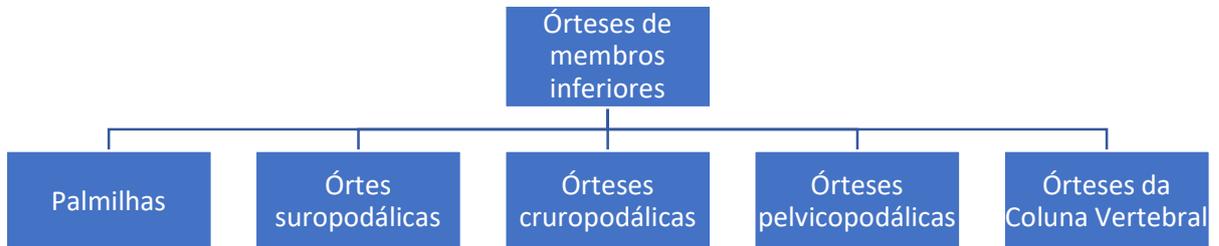
Historicamente, as órteses para membros superiores são classificadas de acordo com o objetivo, configuração, tipos de força aplicada, material ou área anatômica. Uma das classificações mais usadas é a que as agrupa quanto às características mecânicas, resultando em 2 subdivisões, classificadas como estáticas ou dinâmicas. Órteses estáticas são as que evitam o movimento, portanto, imobilizam ou estabilizam as articulações em uma posição específica e provêm bases para o alinhamento articular, proteção das estruturas reparadas, ajudando no posicionamento do edema e permitindo que os tecidos se adaptem a sua nova função (FESS, 1995).

As órteses dinâmicas, também chamadas funcionais ou cinéticas, por sua vez, permitem a mobilidade controlada das articulações específicas através da aplicação de tração que atua dirigindo o movimento, evitando movimentos indesejados, restringindo certos movimentos, substituindo a força muscular ausente ou fraca, prevenindo ou corrigindo contraturas e mantendo o equilíbrio muscular (TROMBLY,1989). Brand (1990), considerou como órteses funcionais as que conseguiram seu objetivo por aplicação de movimento e força, como se fosse uma força de manipulação. Já, Fess et al. (1981) descreveram-nas como sendo o uso de artifícios que podem ser ajustados para criar uma força de mobilização.

As órteses de membros inferiores são comumente indicadas para facilitar/auxiliar o ortostatismo, imobilizar segmentos articulares durante processos inflamatórios ou após intervenções cirúrgicas, prevenir/evitar/ corrigir a instalação de deformidades, evitar ou minimizar a dor e, principalmente, para permitir/facilitar/garantir uma marcha funcional e segura para a pessoa com deficiência de natureza transitória ou definitiva. (Ministério da Saúde, 2019)

A prescrição deste dispositivo precisa considerar os objetivos definidos pela equipe após um processo qualificado de avaliação que inclua a natureza da patologia, finalidade de uso da órtese, tempo previsto e condições de utilização, estado cognitivo e motivação do paciente, além da probabilidade do paciente e dos familiares aderirem ao tratamento e seguirem as recomendações de uso, higiene e segurança. (Farbu et al, 2006; EDELSTEIN, J. E.; BRUCKER, J. 2006).

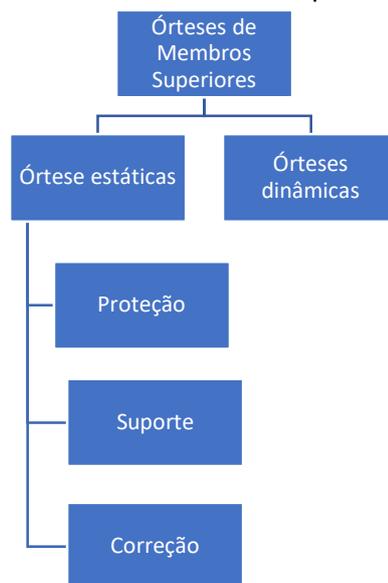
Figura 07 – Classificação das órteses de membros inferiores



Fonte: Adaptado pelo autor

Conforme Fess e Belkin (2005), dentre as classificações disponíveis para descrever as características das órteses de membros superiores se destacam as que agrupam os equipamentos por tipo, finalidade e modelo. No entanto, a configuração externa, as características mecânicas, as fontes de energia, os materiais e as partes anatômicas envolvidas também podem ser utilizados para categorizar estes equipamentos, conforme ilustrado na figura 07.

Figura 08 – Classificação das órteses de membros superiores



Fonte: Adaptado pelo autor

De acordo com Castandela (2021), as órteses são produzidas por diversos materiais:

- Couro: o couro tem como principais características resistência, porosidade, não toxicidade, estética, fácil manipulação, boa durabilidade e em custo médio.
- Ligas metálicas: geralmente usadas em órteses de membros inferiores, é contraindicado o uso no caso de pessoas com menos de 70 Kg, devido ao alto peso. Senso assim, nesses casos é indicado o duralumínio, que é muito recomendado para órteses metálicas, formado por uma liga metálica composta por alumínio, cobre e magnésio e apresenta grande resistência mecânica.
- Termoplásticos: Polímero artificial que em alta temperatura, permite ser moldado e transformado. Tem como vantagem, alta resistência química e a solventes, baixo custo, facilidade de modulação e de coloração, alta resistência a fraturas, impactos e fadigas e boa estabilidade térmica.
- Espumas: São utilizadas com outros materiais objetivando proteção entre órteses e a pele do paciente, principalmente em locais de proeminências ósseas.
- Fibras de carbono: Em combinação com outras matrizes, resultam em material com ótima propriedade mecânica. Suas vantagens são: leveza, boa durabilidade e alta resistência mecânica. Como desvantagem, o alto custo.

Conforme Muñoz-Pascual et al. (2020), devido à alta demanda por materiais leves e duráveis em órteses e próteses nos últimos 60 anos houve um grande avanço tecnológico. Muitos novos materiais com propriedades mecânicas adequadas para uso em órteses e próteses também foram desenvolvidos. Os novos materiais poliméricos levaram a avanços revolucionários que permitiram maior durabilidade e resistência, bem como mais melhorias cosméticas. O polipropileno (PP) e o polietileno (PE) são polímeros semicristalinos e os polímeros mais usados em muitos campos da indústria. Eles são conhecidos como polímeros com propriedades desejadas, por exemplo, baixa densidade, reciclabilidade, estabilidade térmica bastante alta e boa resistividade química.

Dessa forma, fortificando a afirmativa de Schuch (1991), na qual ele defende que dentre os termoplásticos utilizados em próteses e órteses, o polipropileno (um

hopolímero) é um dos materiais mais viáveis devido a sua durabilidade e custo-benefício.

3.5.1. ESCOLHA DO MATERIAL PARA ÓRTESES

A Órtese é um produto que assiste o homem e é adaptado a algumas partes do seu corpo, o material a ser utilizado deve ter peso compatível ao esforço humano, resistência adequada aos movimentos aos quais é submetido e não oferecer nenhum tipo de rejeição pela pele.

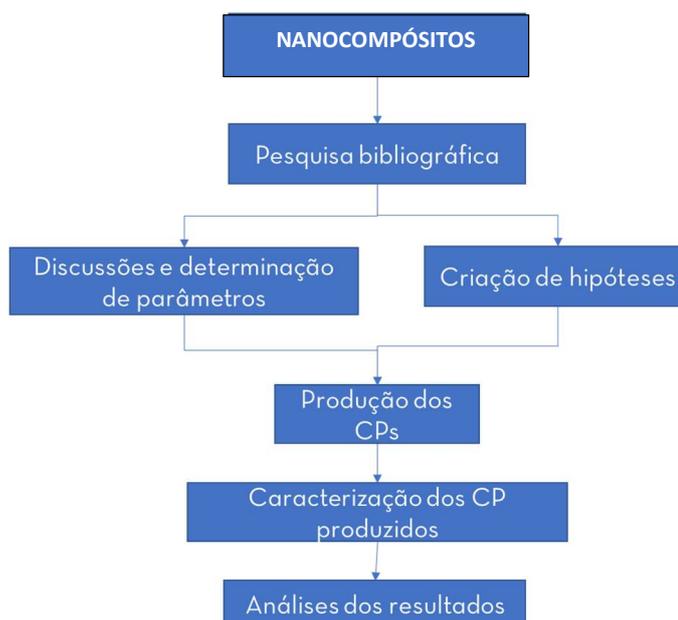
Segundo Mac Donald (1998), ao escolher um material para se fazer talas manuais devem ser consideradas as seguintes características:

- Rigidez: para suportar a posição desejada ou adequada;
- Flexibilidade: para o ajuste aos movimentos;
- Volume: de forma que não se tenha dispositivos muito espessos;
- Permitir limpeza: para proporcionar higiene e durabilidade
- Facilidade de manejo: que não depende apenas do material, mas também da prática do profissional que o estará manuseando;
- Economia: de acordo com as possibilidades que o cliente tem e onerar as despesas;
- Resistência ao calor: já que materiais moldados em baixa temperatura facilitam a moldagem e podem produzir resultados melhores, ao mesmo tempo que não devem ser recomendados para situações que envolvem exposição prolongada a temperaturas ambientais muito altas.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, serão descritos os procedimentos relacionados à coleta de amostra, preparação dos corpos de prova, caracterização morfológica, assim como a aplicação de ensaios realizados. Para a obtenção do produto final que são os compósitos de Polipropileno com adição da Nanopartículas de cobre foram necessárias diversas etapas, conforme a Figura 09.

Figura 09 – Metodologia abordada



Fonte: Elaborado pelo autor

4.1 Revisão Bibliográfica

Foi realizada numa primeira fase, com os materiais de estudo, uma caracterização física/funcional, para avaliar as quantidades e peso dos diferentes constituintes. As concentrações adotadas foram e os dados dos materiais utilizados, foram obtidos a partir de determinações experimentais ou extraídos da literatura fornecida pelos fabricantes.

4.2. Preparo das amostras

Resíduos dos moldes das órteses confeccionadas foram coletadas do Centro de Reabilitação Colônia Antônio Aleixo - AM. O material utilizado na produção das órteses é o TECAFINE PP NATURAL – SEMIACABADO (Ensinger). Com as propriedades conforme a figura 10.

Figura 10 – Propriedades do polipropileno utilizado.

TECAFINE PP natural - Semiacabados

Designação Química

PP (Polipropileno)

Cor

branco opaco

Densidade

0,9 g/cm³

Características principais

- excelente resistência química
- termicamente estabilizado
- excelente resistência e rigidez

Indústrias-alvo

- maquinário agrícola
- tecnologia química
- engenharia de alimentos
- indústria farmacêutica

Propriedades mecânicas	parâmetro	valor	unidade	norma	comentário
Módulo de elasticidade (teste de tração)	5mm/min	1900	MPa	ASTM D 638	1) (1) Para teste de tração: espécime tipo 1
Resistência a tração na ruptura	5mm/min	32	MPa	ASTM D 638	(2) Espécime com e 19x30mm
Alongamento na ruptura	5mm/min	40	%	ASTM D 638	(3) Entalhe tipo A
Resistência a flexão	5mm/min	39	MPa	ASTM D 790	(4) n.b. = not broken
Módulo de elasticidade (teste de flexão)	5mm/min	2800	MPa	ASTM D 790	
Resistência a compressão	1,3 mm/min	51,86	MPa	ASTM D 695	2)
Módulo de compressão	1,3 mm/min	1200	MPa	ASTM D 695	
Resistência ao impacto (Charpy)	2,9m/s	3,70	kJ/m ²	DIN EN ISO 179-1eA	3)
Resistência ao impacto (Charpy)		n.b.	kJ/m ²	DIN EN ISO 179-1	4)
Dureza de indentação		70	MPa	ISO 2039-1	
Dureza Shore D	Shore D	72		ASTM D 2240	
Propriedades térmicas	parâmetro	valor	unidade	norma	comentário
Temperatura de fusão		167	°C	DIN 53765	(1) Dados obtidos de fontes públicas. Testes individuais conforme condições de aplicação são mandatórios.
Temperatura de serviço		+0 / +100	°C	-	1)
Coefficiente Expansão Térmica Linear (CLTE)	23-60°C, longa	13,59	10 ⁻⁶ K ⁻¹	DIN EN ISO 11359-1:2	
Coefficiente Expansão Térmica Linear (CLTE)	23-100°C, longa	15,36	10 ⁻⁶ K ⁻¹	DIN EN ISO 11359-1:2	
Propriedades elétricas	parâmetro	valor	unidade	norma	comentário
Resistência superficial		4,12x10 ¹⁶	Ω/square	ASTM D 257	
Resistividade de volume específico		1,52x10 ¹⁷	Ω*cm	ASTM D 257	
Resistência dielétrica		58	kV/mm	ISO 60243-1	
Outras propriedades	parâmetro	valor	unidade	norma	comentário
Absorção de água	24h / 96h (23°C)	0,07 / 0,10	%	ASTM D 570	1) (1) Ø ca. 50,8mm, h=3,3mm (2) "Correspondente" significa sem correlação a UL (cartão amarelo). A informação pode ser obtida da resina, semiacabado ou estimada. Testes individuais relacionados a aplicação são mandatórios.
Fiamabilidade	Correspondente a	B2		DIN 4102	2)

Esta informação reflete o estado atual de nosso conhecimento e destina-se apenas a auxiliar e advertir. É dado sem obrigação ou responsabilidade legal. Elas não asseguram ou garantem a resistência química, qualidade dos produtos e sua comercialização, de forma juridicamente legal. Os dados e informações declarados não possuem valores mínimos ou máximos, mas valores de referência que podem ser utilizados principalmente para fins de comparação para a seleção de material. Esses valores estão dentro da faixa de tolerância normal das propriedades do produto e não representam valores de propriedade garantidos. Testes individuais em circunstâncias de aplicação é sempre recomendado. Ao menos que observado ao contrário, as informações são obtidas a partir de materiais extrudados. Referências para conformidade FDA referem-se às resinas a partir das quais os produtos foram fabricados, salvo indicação em contrário. Nossos produtos não são recomendados para uso em implantes médicos ou odontológicos. Patentes comerciais existentes devem ser observadas. Valores da folha de dados estão sujeitos a revisões periódicas, a atualização mais recente pode ser encontrada em www.ensingerplastics.com. Alterações técnicas reservadas.

Ensinger Indústria Plásticos Técnicos Ltda, Rua Christopher Lévesley, 3185 - 93037-730 São Leopoldo-RS, Brasil

Tel. +55 51 3579-8800 Fax +55 51 3588-3804 www.ensingerplastics.com.br

Data: 2017/06/26

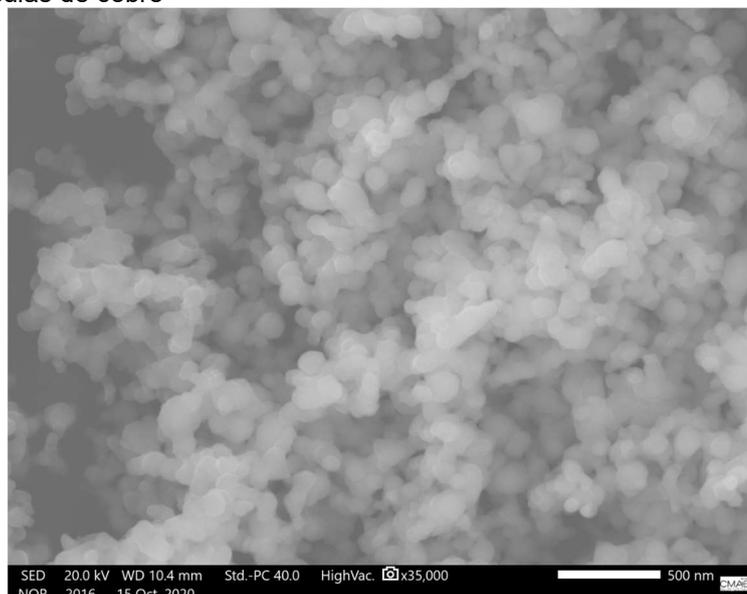
Versão: AA

Fonte: Ensinger Indústria Plásticos Técnicos Ltda, 2017

Devido ao fato do material utilizado ser resíduo dos moldes, ou seja, são sobras dos cortes das placas que foram utilizadas no processo de moldagem, não houve nenhuma alteração quanto as características morfológicas.

A composição das nanopartículas de cobre utilizadas nessa pesquisa está informada na Tabela 2. Todos os elementos apresentados foram informados pela fabricante Hwnanomateria. Nanopartícula de cobre (NPCu) de fabricação (Hongwunematerial, pureza 99,9%, China), produto (Copper nano Powder), tamanho da partícula (100nm) e cor (Dork Brown).

Figura 11 – Nanopartículas de cobre



Fonte: Autor

Tabela 02 – Dados dos elementos e da composição da nanopartícula de Cobre de acordo com o fabricante

Elemento	Composição (%)
Cu	99.90
As	0.002
Bi	0.001
Pb	0.001
Sb	0.005
Fe	0.004
Ni	0.001
Sn	0.04
Zn	

Fonte: Hwnanomateria, 2022

4.2.1. Concentração das misturas

As concentrações considerando estudos bibliográficos realizados quanto a utilização de cobre em materiais poliméricos:

Tabela 03 - Concentrações utilizadas para a fabricação dos corpos de prova.

CP	PP	NPCu	Concentrações em gramas
1	99%	1%	99g/1g
2	98,5%	1,5%	98,5g/1,5g
3	99,5%	0,5%	99,5g/0,5g
4	98%	2%	98g/2g
5	99%	1%	99g/1g
6	98,5%	1,5%	98,5g/1,5g
7	99,5%	0,5%	99,5g/0,5g
8	98%	2%	98g/2g
9	99%	1%	99g/1g
10	98,5%	1,5%	98,5g/1,5g

11	99,5%	0,5%	99,5g/0,5g
12	98%	2%	98g/2g

Fonte: Elaborado pelo autor

4.2.2. Moagem do material:

Os resíduos fornecidos pelo Centro de Reabilitação são cortes de placas que são utilizadas para confeccionar os moldes das órteses. O material foi triturado para que o material pudesse obter o tamanho adequado para ser misturado na injetora juntamente com o PP virgem e as nanopartículas. O processo de moagem foi realizado primeiramente no moinho de pequeno porte para rebarbas de injeção, sopro e extrusão de modelo P1003 da Primotécnica e em seguida, o material foi passado no Moinho tipo Willey TE-680 (Tecnal) e a peneira utilizada foi a de malha 30 mesh, ambos do laboratório de P&D do curso de Engenharia de Materiais da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas (EST-UEA).

Figura 10- Moinho P1003 e o PP moído



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 11 – Moinho TE-680 e o PP moído por ele.



Fonte: Elaborado pelo autor

4.2.3. Extrusão

O polipropileno foi misturado manualmente com as nanopartículas de acordo com as proporções dispostas na tabela 2.A extrusão foi realizada pela Mini Extrusora AX16:26, painel de controle embutido no equipamento e a linha de frente para granulação (modelo, AX Plásticos) do laboratório de P&D do curso de Engenharia de Materiais da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas (EST-UEA). Foram utilizadas três zonas de mistura, com 186, 185 e 181°C, com rotação do parafuso de 44 rpm.

Figura 12 – Extrusora utilizada na extrusão dos pallets.



Fonte: Elaborado pelo autor

Os filamentos, após granulados, foram colocados na estufa na temperatura de 80°C durante 12h para secagem para a remoção mecânica da umidade e a preservação as estrutura e propriedades.

4.2.4. Injeção:

Os compósitos peletizados foram injetados na Mini Injetora de modelo AX161 da AX Plásticos, na forma de corpos de prova de acordo com a norma ASTM D 638 do laboratório de P&D do curso de Engenharia de Materiais da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas (EST-UEA).

Figura 13 – Injetora utilizada na injeção dos corpos de prova



Fonte: Elaborado pelo autor

4.3. Ensaio

4.3.1 Ensaio de Tração:

O ensaio de tração foi realizado com a norma ASTM D-638 por uma máquina de ensaio universal de ensaios fabricante INSTRON, modelo 5984 do laboratório de P&D do curso de Engenharia de Materiais da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas (EST-UEA), com Capacidade da cédula de carga 150 KN, o software utilizado MERLIN e os ensaios foram feitos em temperatura ambiente. Este ensaio foi realizado para caracterizar as propriedades mecânicas dos

dois materiais envolvidos no projeto (PP e NPCu) e assim determinar tensão máxima, modulo de elasticidade e etc.

Figura 14 – Ensaio de tração na Instron.



Fonte: Elaborado pelo autor

4.3.2. Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

A espectroscopia na região do Infravermelho por transformada de Fourier permite investigar grupos funcionais e tipos de ligações de bandas características de absorção nesta região, associadas à vibração e à rotação molecular. (SILVERSTAIN, 2000).

Os espectros foram obtidos pelo Espectrofotômetro Bruker, Alpha II por reflexão total atenuada (ATR), dessa forma, a amostragem foi examinada diretamente no estado sólido sem preparação adicional.

- Condições: 32 repetições
- Leitura: 4000 a 400 cm^{-1}

4.3.2. Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

Essa técnica baseia-se na variação de energia (entalpia) das variações químicas e ou físicas do material, fornecendo valores de temperaturas relativas à fusão (T_m), e a cristalização (T_c), Temperatura de Transição Vítreia (T_g), da variação da entalpia de fusão (ΔH_m) e grau de cristalinidade (X_c) que estão relacionados com

a quantidade de energia do material. Os ensaios de Calorimetria Exploratória Diferencial foram realizados no equipamento de marca PerkinElmer, modelo DSC – 6000 com as seguintes condições:

Tabela 04 – Condições de aquecimento

ETAPA	FAIXA DE TEMPERATURA (°C)	TAXA DE AQUECIMENTO (°C/MIN)	GÁS UTILIZADO	VAZÃO DO GÁS (ML/MIN)
1ª Aquecimento	23 a 300	10	N ₂	50
2º Aquecimento	23 a 300	10	N ₂	50

Fonte: Elaborado pelo autor

4.3.3. ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA

Análise térmica é um método analítico importante na compreensão da relação estrutura x propriedade e para o domínio da tecnologia para o design molecular e produção industrial de diferentes materiais poliméricos. Além disso, é uma técnica útil para determinar a estabilidade térmica dos materiais, onde é possível quantificar a quantidade de umidade e os voláteis provenientes do compósito. Um dos métodos mais utilizados para estudar as propriedades térmicas dos materiais poliméricos é o método de termogravimetria (JOSEPH et al, 2003). Os ensaios de termogravimetria foram conduzidos em um modelo Shimadzu, módulo termogravimétrico TGA -50, em recipiente de platina.

Tabela 05 – Condições do ensaio

FAIXA DE TEMPERATURA (°C)	TAXA DE AQUECIMENTO (°C/MIN)	GÁS UTILIZADO	VAZÃO DO GÁS (ML/MIN)
25 a 800	10	N ₂	50

Fonte: Elaborado pelo autor

4.3.4. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

As imagens foram obtidas em um microscópio eletrônico de varredura (MEV), foram recobertas por uma fina camada de carbono sobre as amostras, o equipamento utilizado foi o MEV FEG, marca Philip, modelo XL-30. Também foi utilizado um microscópio MEV – JSM IT500 HR da marca Jeol para se obter as imagens das nanopartículas de cobre.

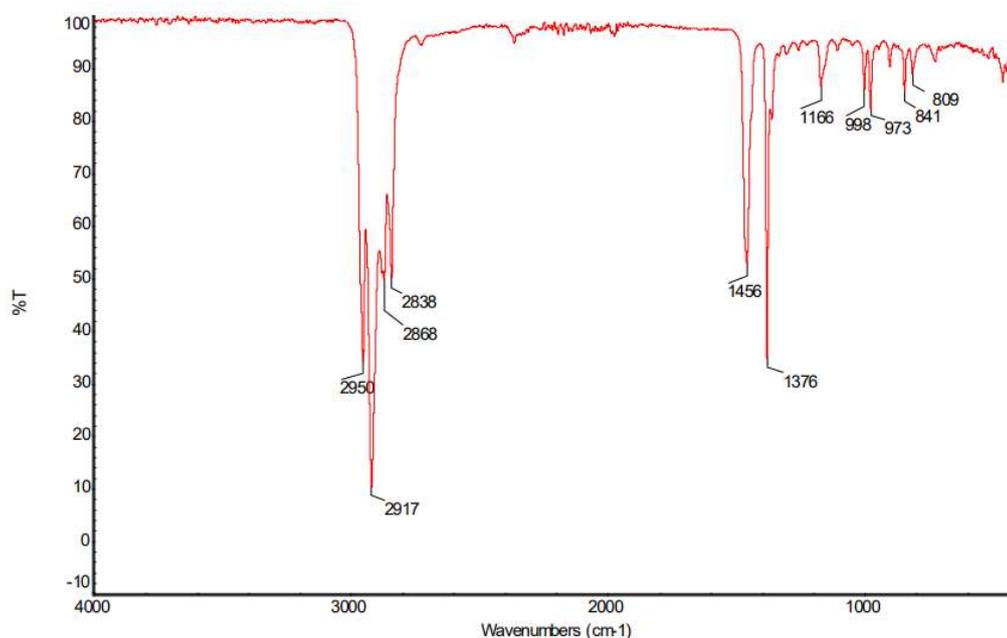
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentadas as caracterizações térmicas, morfológicas dos compósitos (NPCu/PP), como também as propriedades mecânicas.

5.1. Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

Com a espectroscopia é possível detectar grupos funcionais de bandas características de absorção de modos vibracionais associados à vibração e à rotação molecular.

Figura 15– Espectro no infravermelho da amostra de PP puro



Como apresentado na figura 15, os espectros de maior absorção de energia apresentam-se nas bandas de 3000-2000 pela presença das deformações axiais, conseqüentemente os picos de absorção são maiores.

Tabela 06 – Espectro no infravermelho da amostra de PP puro

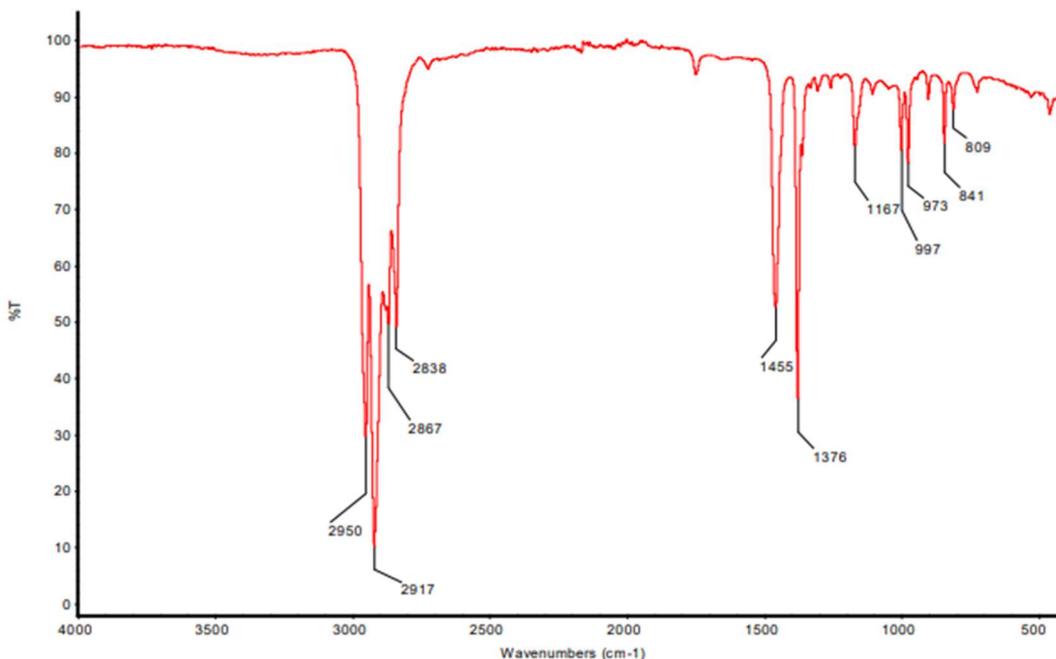
Número de Onda (cm^{-1})	Grupamento Característico
2950	Estiramento do grupo assimétrico de CH_3
2917	Estiramento do grupo assimétrico de CH_2
2867	Estiramento do grupo simétrico de CH_3

2838	Estiramento do grupo simétrico de CH ₂
1455	Deformação angular de CH ₂
1376	Deformação angular de CH ₃
1167	Deformação angular de CH, Estiramento de C-C
997	Deformação angular de CH e CH ₃
973	Deformação angular de CH ₃ , Estiramento de C-C
841	Estiramento de C- CH ₃ em cadeia longa
809	Deformação angular de CH ₂ , Estiramento de C-C

Fonte: Elaborado pelo autor

Através da tabela 06 é possível notar o estiramento do CH₃ nas bandas de 2700- 2300 cm^{-1} e as suas deformações angulares e assimétricas nas bandas 800-850, 1300-1400, 1400-1500 cm^{-1} .

Figura 16– Espectro no infravermelho da amostra de 1% de NPCu. .



Fonte: Elaborado pelo autor

Pela figura 16, é possível notar que o padrão das bandas de absorção é semelhante, mesmo após a adição de nanopartículas de cobre. Entre as duas amostras nota-se que não houve mudança significativa quanto a exposição a luz.

Tabela 07– Espectro no infravermelho da amostra de 1% de NPCu

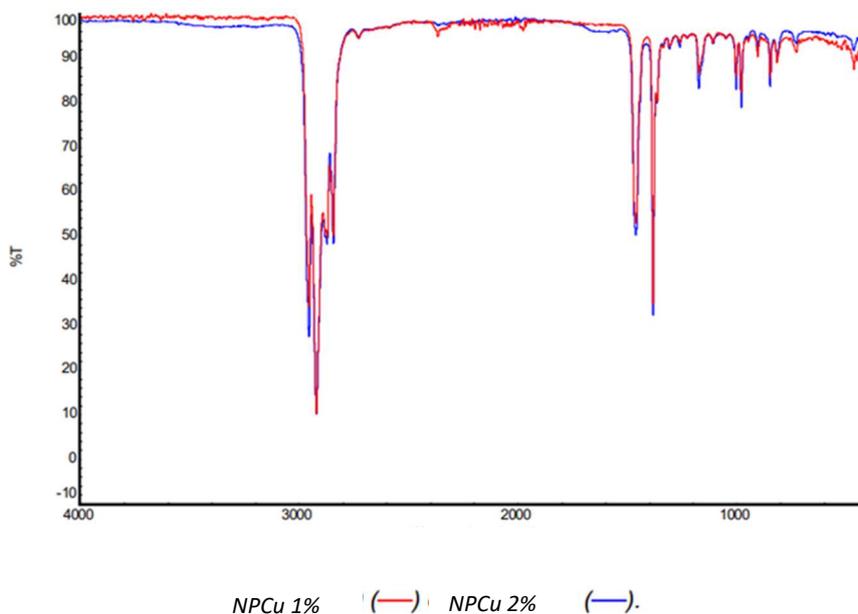
Número de Onda (cm^{-1})	Grupamento Característico
2950	Estiramento do grupo assimétrico de CH_3
2917	Estiramento do grupo assimétrico de CH_2
2867	Estiramento do grupo simétrico de CH_3
2838	Estiramento do grupo simétrico de CH_2
1455	Deformação angular de CH_2
1376	Deformação angular de CH_3
1167	Deformação angular de CH, Estiramento de C-C
997	Deformação angular de CH e CH_3
973	Deformação angular de CH_3 , Estiramento de C-C
841	Deformação angular de CH_2
809	Deformação angular de CH_2 , Estiramento de C-C

Para o nanocompósito de NPCu/PP de 1% de nanopartículas, há o mesmo padrão de vibração molecular em relação ao do polipropileno puro que se altera apenas em uma das bandas. As bandas superiores 809-1455 cm^{-1} apresentam grande deformação angular dos grupos CH, CH_2 e CH_3 , quanto que nas bandas 2838-2950 cm^{-1} há grande presença do estiramento dos mesmos grupos de forma assimétrica ou simétrica. As formas isotáticas e sindiotáticas do PP, dada sua regularidade, tendem a adquirir em estado sólido uma disposição espacial ordenada, semicristalina, que confere ao material umas características físicas e químicas excepcionais, por conseguinte, o PP tem uma alta resistência a agentes químicos e diferentes solventes (CAVALLO, 2008).

Com a adição do cobre, a deformação torna-se mais presente por conta da formação dos grupos C=O que podem ser a redução de íons de cobre. Demonstrado

na banda 841 cm^{-1} .na qual, a mudança de estiramento de C-CH₃ em cadeia longa para deformação angular de CH₂. Assim como na figura 17, ao comparar as amostras com adição de 1% de nanopartículas e de 2%.

Figura 17– Sobreposição dos espectros no infravermelho das amostras



O padrão vibracional permanece semelhante, porém, nota-se picos de absorção maiores na amostra de 2% de NPCu, devido a maior concentração de Cobre presente da amostra.

5. 2. Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

As análises de DSC tiveram como objetivo determinar a temperatura de cristalização e o grau de cristalização do PP comparando com os nanocompósitos de 1% e 2% de nanopartículas.

Figura 18– Curva de DSC da amostra de PP puro - 1º aquecimento

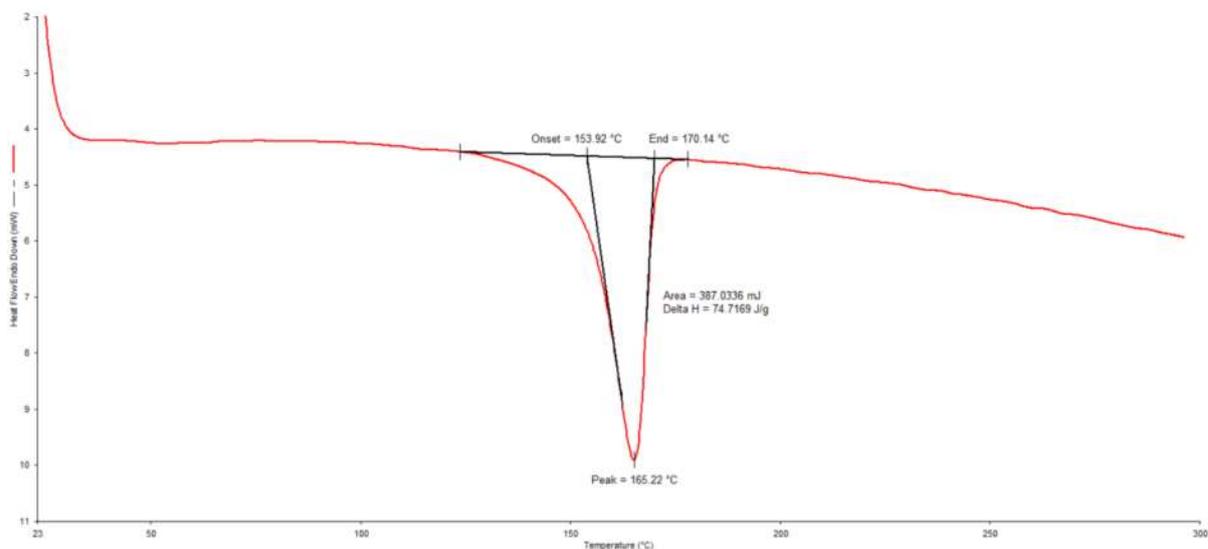
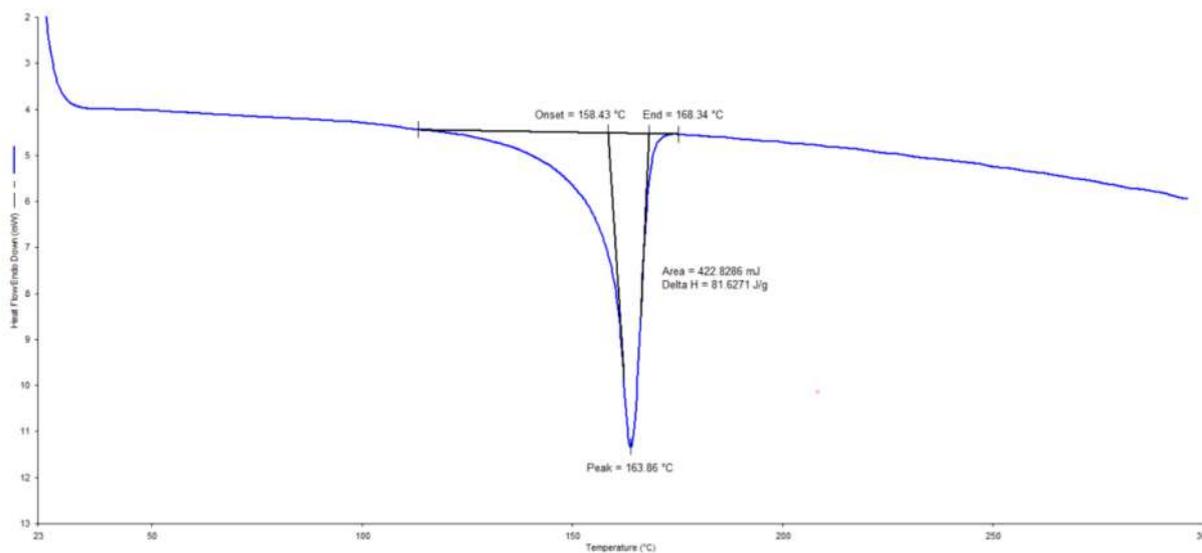


Figura 19– Curva de DSC da amostra de PP puro - 2º aquecimento



Através das curvas calorimétricas, dois aquecimentos da amostra de Polipropileno, observa-se que é processo endotérmico, como demonstrado na variação de temperatura, o sistema ganha calor e o ambiente é resfriado. Os eventos apresentam-se bem definidos e com temperaturas aproximadas.

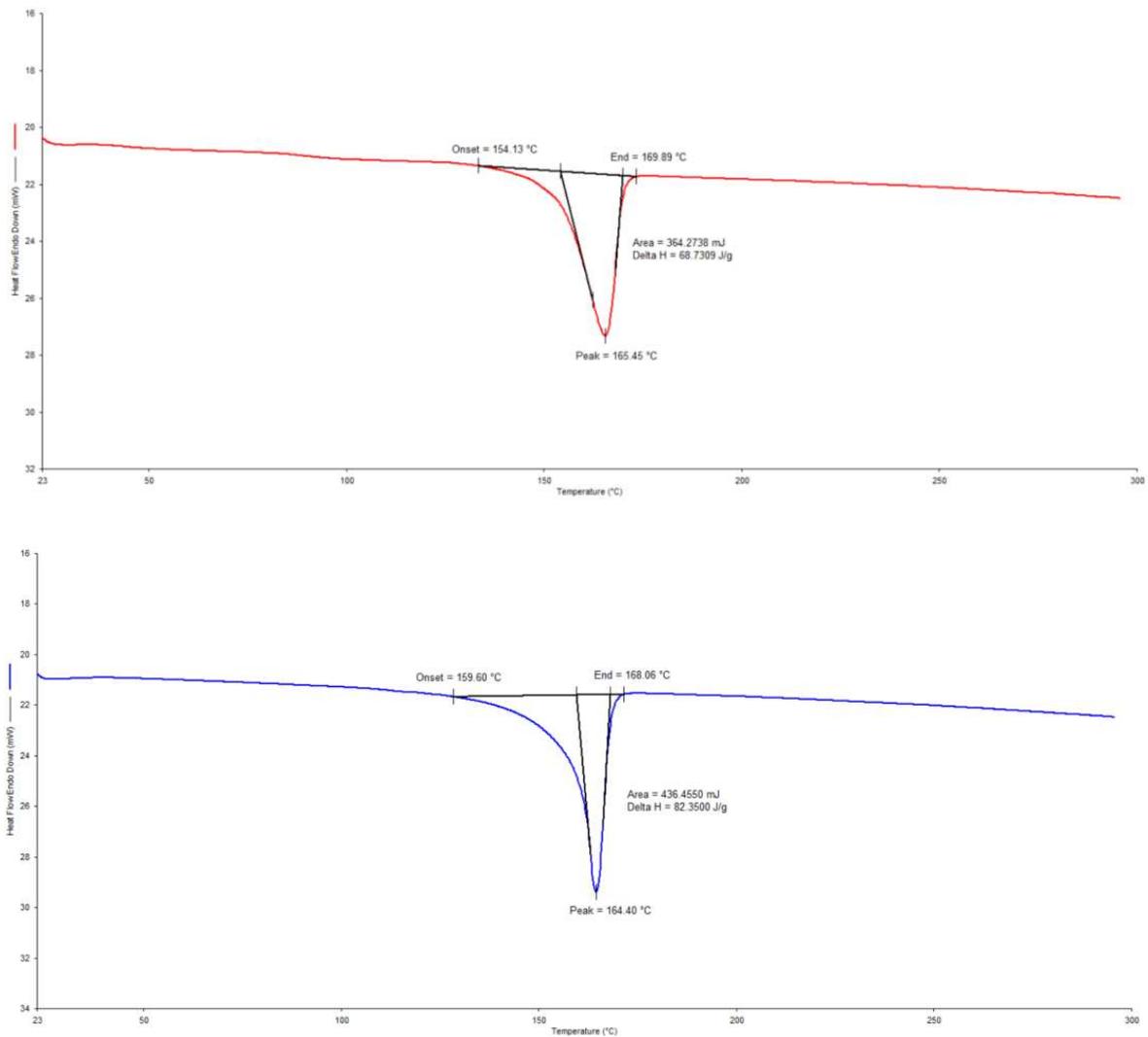
Tabela 08– Resultados das amostras de DSC de PP puro.

	Temperatura de Fusão do Polímero – Tm (°C)	Entalpia de fusão - ΔH_f (J/g)	Grau de Cristalinidade – Xc (%)
1º Aquecimento	165,22	74,72	45,28
2º Aquecimento	163,86	81,63	49,47

Fonte: Elaborado pelo autor.

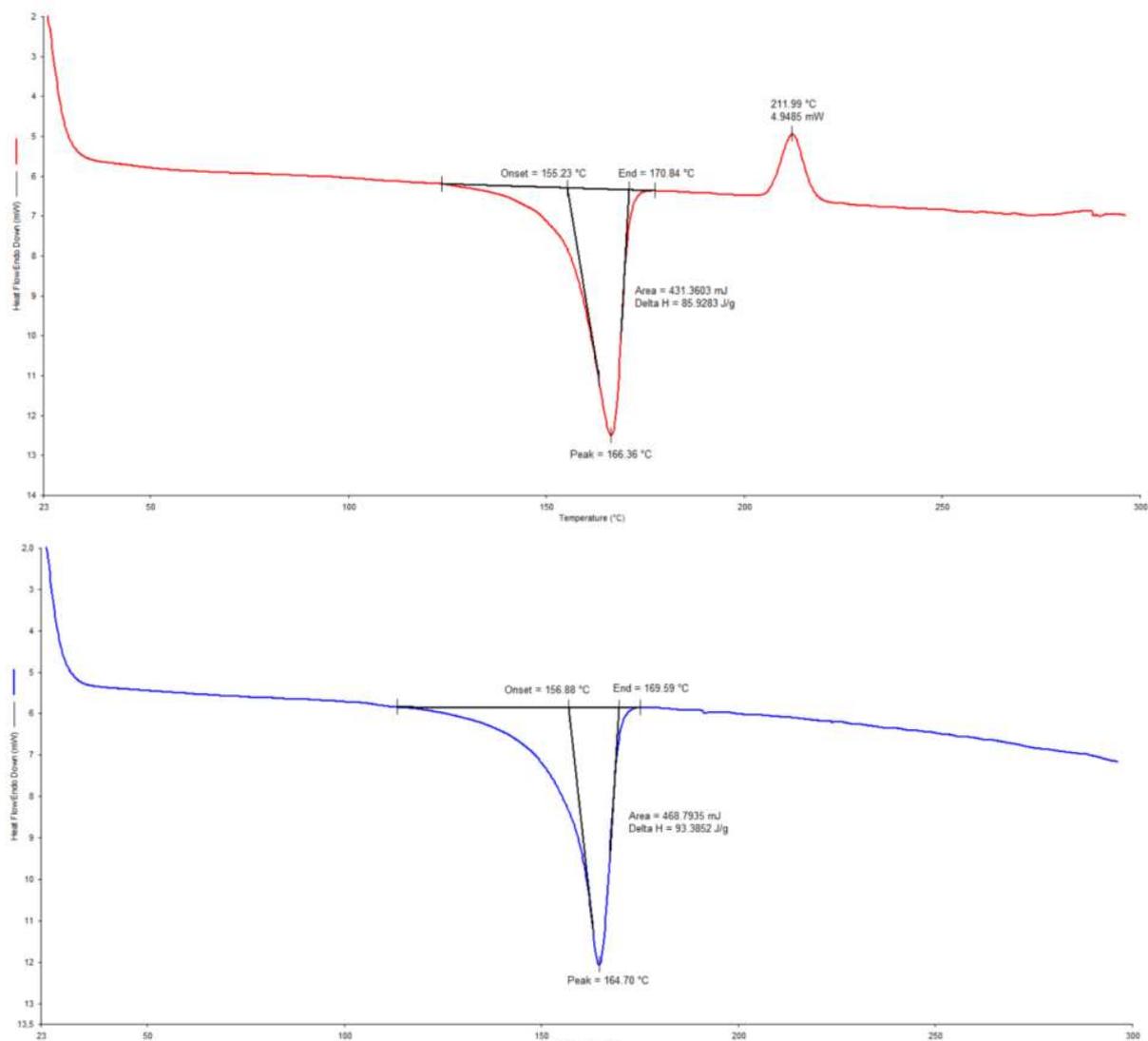
O grau de cristalinidade (Xc) foi calculado como a razão entre a entalpia de fusão da amostra (ΔH) e a entalpia de fusão do PP 100% cristalino ($\Delta H_0=165\text{J/g}$) (STARKWEATHER et al., 1983)

Figura 20 – Curva de DSC da amostra de NPCu/PP com 1,0% - 1º e 2º aquecimento



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 21 – Curva de DSC da amostra de NPCu/PP com 2% - 1º e 2º aquecimento



Fonte: Elaborado pelo autor

Com os gráficos dos aquecimentos na amostra podemos notar que a temperatura de fusão fica em torno de 165-166°C. Baseando-se nos estudos de Ecevit (2008), o comportamento do gráfico apresenta características do polipropileno, do qual a temperatura de fusão típica com a reorganização de segmentos moleculares de polímero devido ao polimorfismo do PP varia entre 140-165°C.

Tabela 09– Resultados das amostras de DSC 1,5% de NPCu.

Amostras		Temperatura de Fusão do Polímero – Tm (°C)	Entalpia de fusão - ΔH_f (J/g)	Grau de Cristalinidade – Xc (%)
PP + 1,0%	1º Aquecimento	165,45	68,74	41,66
NPCu	2º Aquecimento	164,40	82,35	49,90
PP + 2,0%	1º Aquecimento	166,36	85,93	52,08
NPCu	2º Aquecimento	164,70	93,38	56,59

Fonte: Elaborado pelo autor

O grau de cristalinidade (Xc) foi calculado como a razão entre a entalpia de fusão da amostra (ΔH) e a entalpia de fusão do PP 100% cristalino ($\Delta H_0=165\text{J/g}$) (STARKWEATHER et al., 1983)

Podemos observar que a temperatura de fusão permaneceu a mesma, por mais que tenha sido feita a adição de nanopartículas de cobre.

O aumento no grau de cristalinidade que pode ser ocasionada pela adição das Nanopartículas de Cobre. Conforme Miranda (2002), pode-se verificar se uma carga reforçante age como nucleante pelo aumento do grau de cristalização da matriz polimérica. Por outro lado, mudanças na morfologia cristalina, introduzidas pelos nucleantes, podem alterar o grau de cristalinidade das matrizes poliméricas. O pico exotérmico da amostra com 2% de NPCu é referente a cristalização da amostra, é observado um pequeno deslocamento do pico de cristalização com a adição do cobre.

5.3. TGA

Figura 22 – Curvas de TGA E DTG da amostra de PP puro

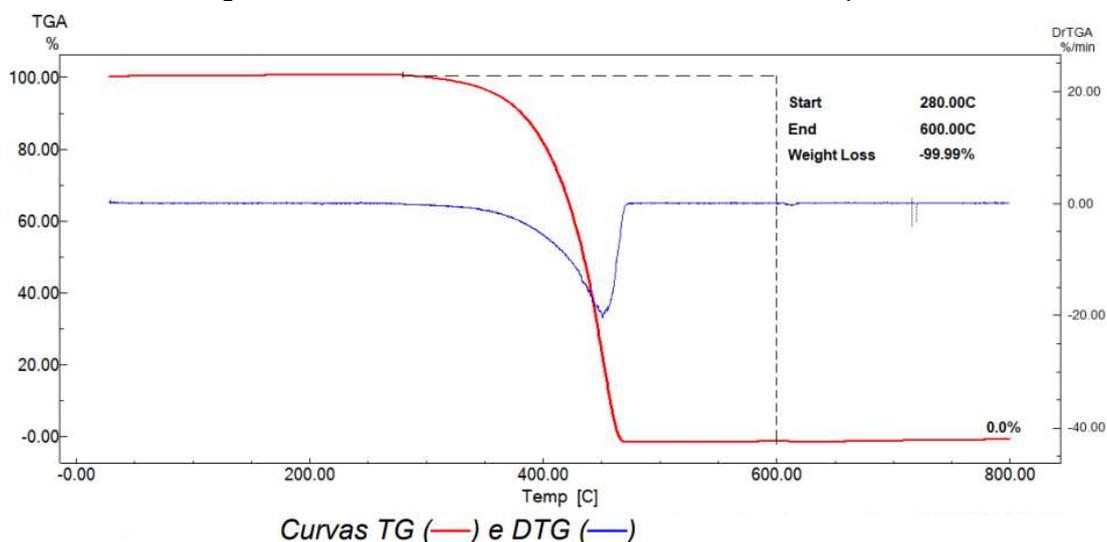


Tabela 10– Resultados da amostra de PP puro.

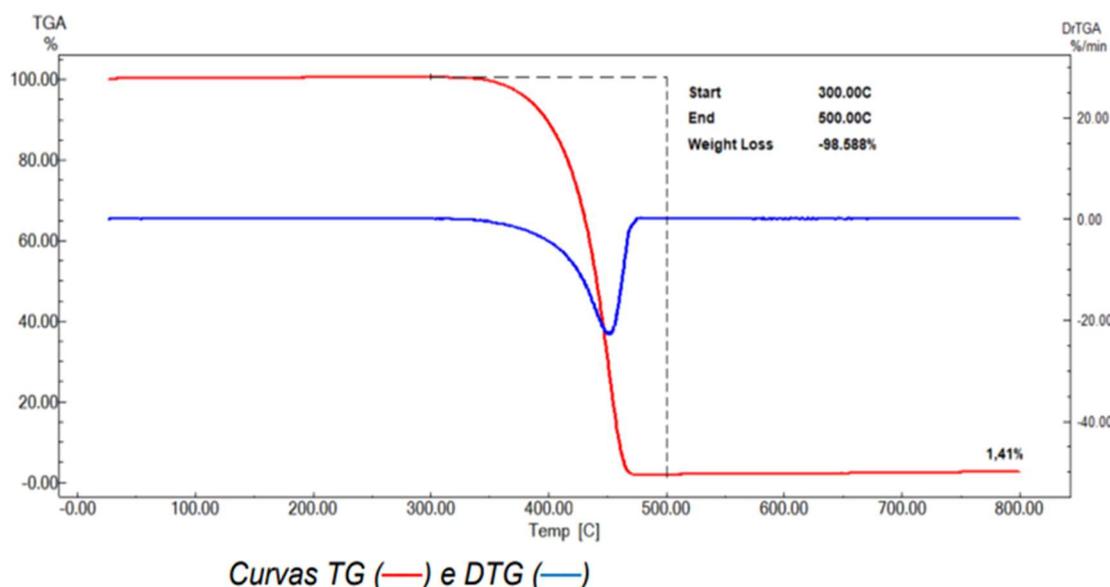
Amostra	Faixa de Temperatura (°C)	Perdas de Massa (%)	Resíduo a 800° C
PP	280 a 600	99,99	0,0

Pela tabela 10 nota-se que a amostra de polipropileno puro sofreu degradação por quase completo. Pelas curvas da figura 22 confirmar que o material não chega nem a temperatura de 800°C.

Observa-se pela figura 21 que a amostra com 1% de nanopartículas apresenta pirólise com o aumento da temperatura, ou seja, uma perda de material, sinalizando sua decomposição assim como a amostra de polipropileno.

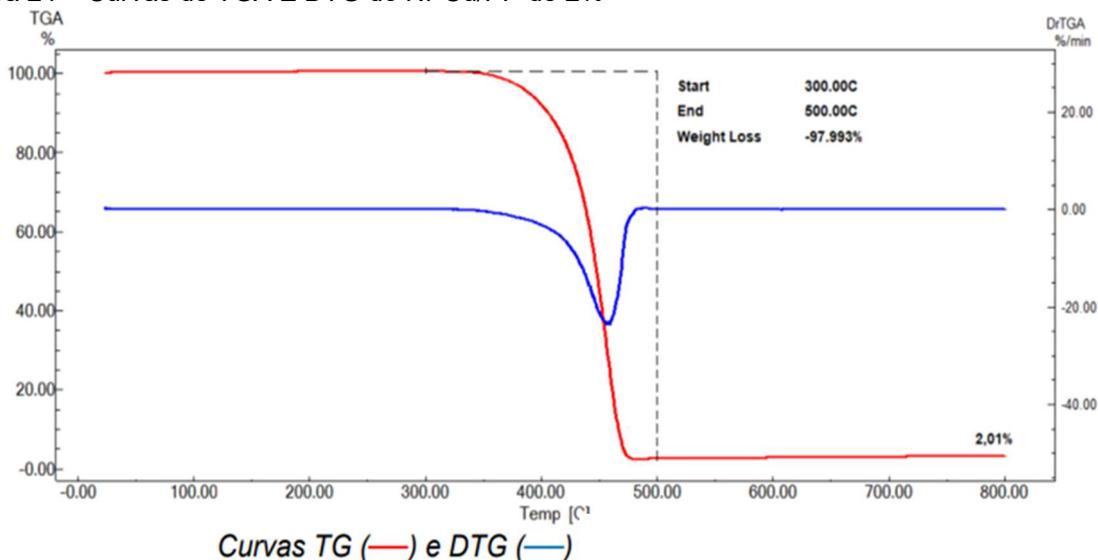
A Curva típica de TGA da pirólise do NPCu/PP é obtida através das taxas de aquecimento, que pode ser vista nas figuras 23 e 24, apresentando a devolatilização. Pode-se observar que mesmo com o aumento de temperatura, não há perda de massa até chegar a 300°C, onde há perca de material, onde podemos considerar a perda superficial de água e em seguida a decomposição do material, através das temperaturas mais elevadas.

Figura 23 – Curvas de TGA E DTG do NPCu/PP de 1%



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 24 – Curvas de TGA E DTG do NPCu/PP de 2%



Fonte: Elaborado pelo autor

O mesmo ocorre na amostra com maior adição de Cu, entretanto, é possível observar através da tabela 11, que a proporção de nanopartículas de Cu influenciou no processo de decomposição do material, visto que a amostra 02 (98%PP + 2%NPCu) apresentou uma perda de massa menor. Com base nos estudos de Santos (2019), o que sugere que a presença de nanopartículas de cobre aumenta a estabilidade térmica dos nanocompósitos, que é dependente da concentração.

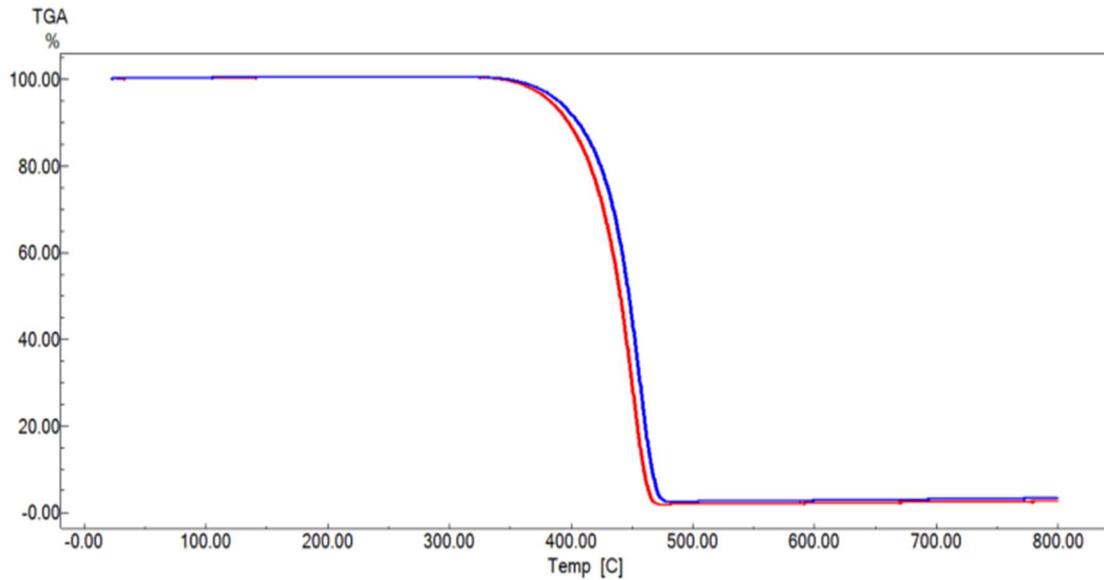
Tabela 11– Resultados das amostras de 1% de NPCu e de 2% de NPCu

Amostra	Faixa de Temperatura (°C)	Perdas de Massa (%)	Resíduo a 800° C
1% de NPCu	300 a 500	98,59	1,41
2% de NPCu	300 a 500	97,99	2,01

Fonte: Elaborado pelo autor

Ao comparar as curvas TGA, nota-se que além da diferença de decomposição de material, apresentaram diferenças de perda de massa, onde a amostra com maior concentração de Cobre tem menor perda. Assim como, sua temperatura de início de degradação é maior que a do material puro.

Figura 25 – Curvas de TGA e DTG do NPCu/PP de 1% e 2%



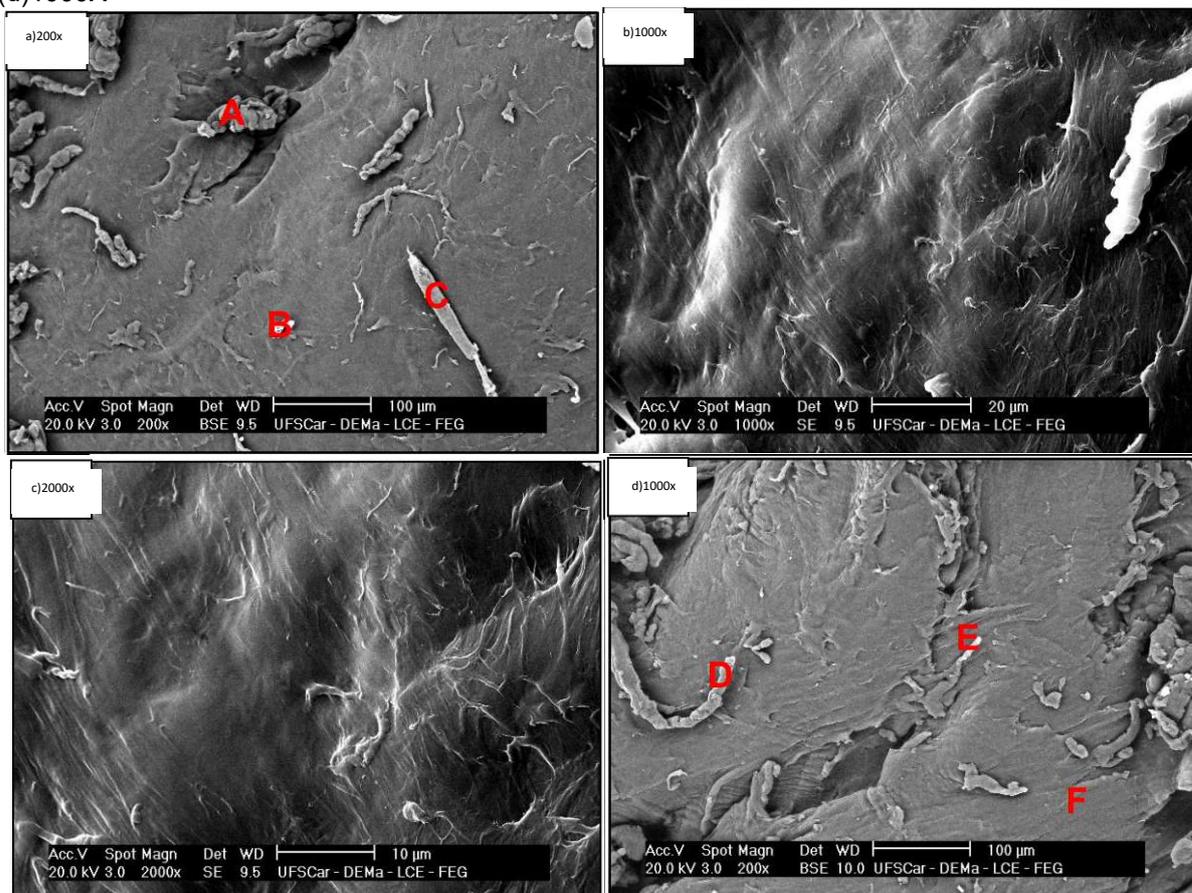
*Figura 16 – Comparação entre as curvas de TG das amostras
1% de NPCu (—) 2% de NPCu (—).*

Fonte: Elaborado pelo autor

5.4. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Os resultados da análise de MEV-EDS indicam que a amostra de Polipropileno é composta principalmente por Carbono (C), apresentando elevado teor de Oxigênio (O) no ponto C analisado, e pequenos teores de Cálcio (Ca) nos pontos B e C.

Figura 26 – Micrografias das amostras de PP, com os aumentos de (a) 200X, (b)1000X, (c) 2000X e (d)1000X



Fonte: Elaborado pelo autor

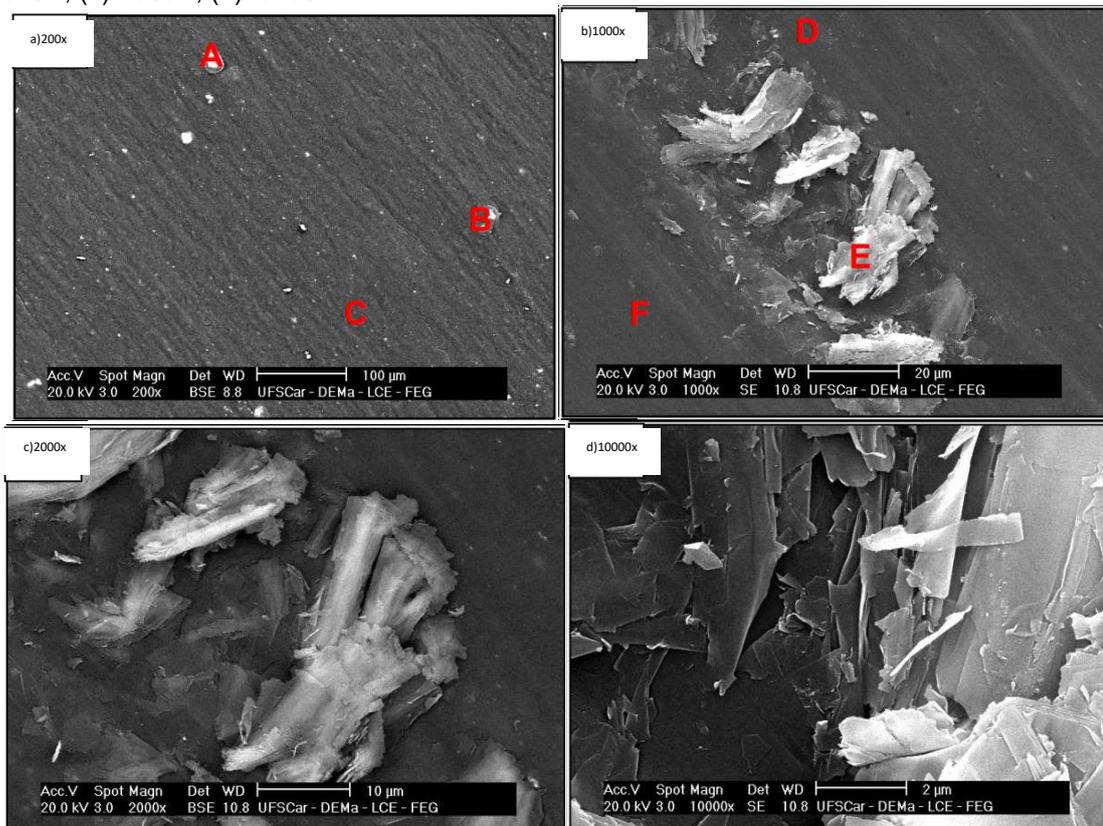
Tabela 12 – Resultados de EDS para a amostra de PP

Elemento	(%) em Massa					
	A	B	C	D	E	F
C	100,00	98,23	77,42	100,00	100	100
O	-	-	22,02	-	-	-
Ca	-	1,77	0,57	-	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor

Na figura 26, nota-se que o material puro não apresenta boa adesão, com algumas irregularidades quanto a superfície e a presença do Ca que pode ser devido obtida pelo processo de moldagem das órteses.

Figura 27 – Micrografias das amostras de NPCu/PP com 1,5% de NPCu, com os aumentos de (a) 200X, (b)1000X, (c) 2000X, (d)10000X



Fonte: Elaborado pelo autor

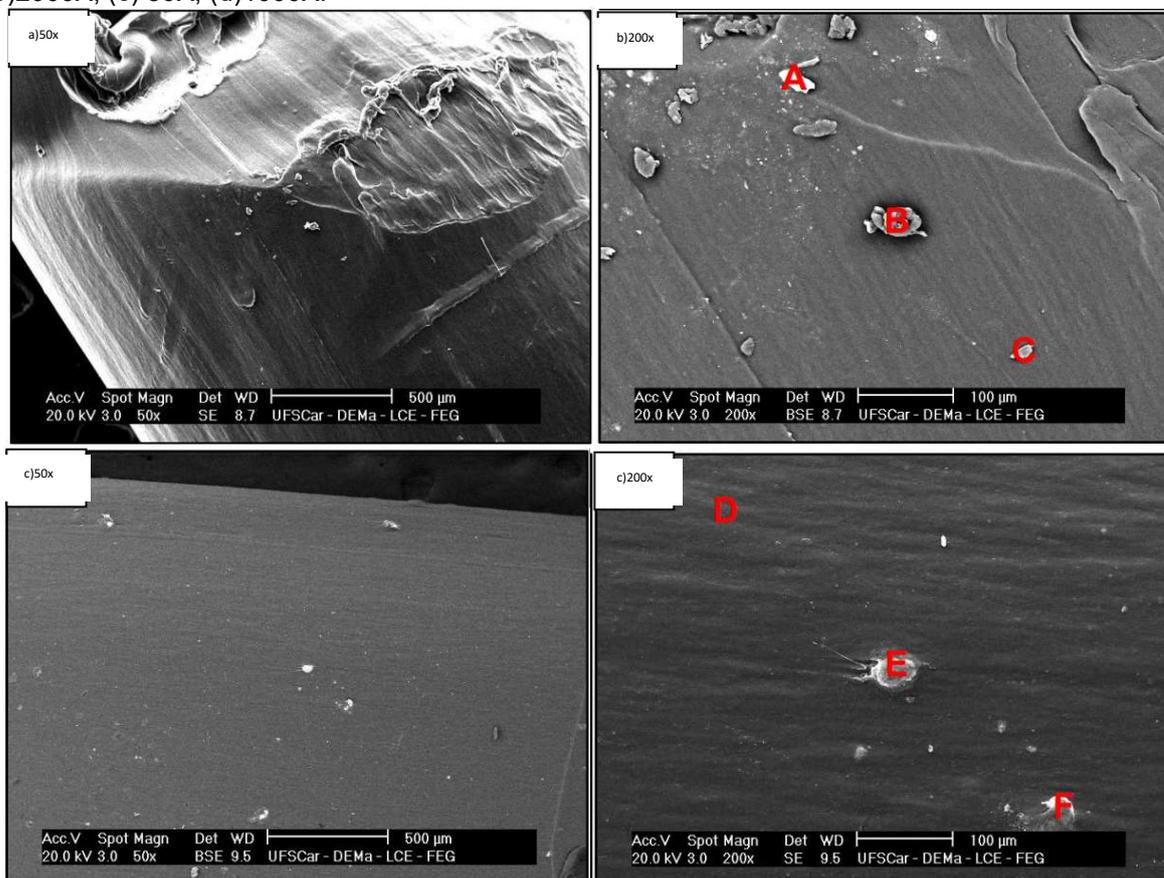
Conforme a figura 27, nota-se uma boa adesão do material, há a presença de trincas e superfícies irregulares, porém característica da dispersão do material apresentado na figura 26 não é presente na amostra de 1,5%. Conforme a pesquisa de Kühn (2015), a presença de nanocompósitos dá mais resistência à matriz polimérica, dificultando a quebra das amostras e evitando os níveis de camadas.

Tabela 13 – Resultado de EDS para a amostra NPCu/PP com 1,0% de NPCu

Elemento	(% em Massa)					
	A	B	C	D	E	F
C	96,55	97,67	96,70	98,43	58,77	99,82
O	-	-	-	-	30,07	-
Al	0,84	0,93	0,97	0,10	-	-
Cu	2,62	1,40	2,33	0,76	0,17	0,18
Mg	-	-	-	0,40	5,33	-

Si	-	-	-	0,29	5,66	-
----	---	---	---	------	------	---

Figura 28 – Micrografias das amostras NPCu/PP com 2,0% de NPCu, com os aumentos de (a) 200X, (b)2000X, (c) 50X, (d)1000X.



Fonte: Elaborado pelo autor

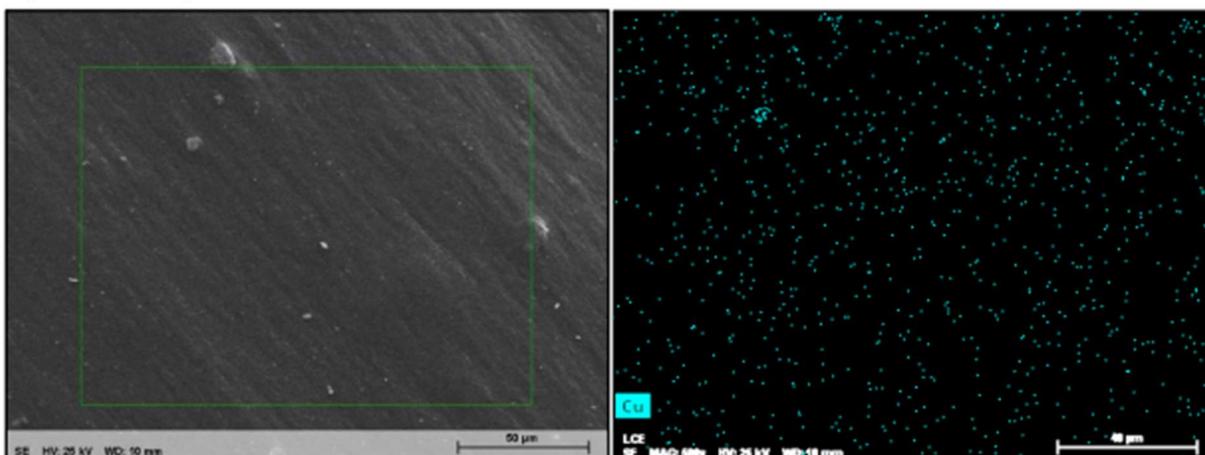
Já na amostra de 2%, nota mais uma vez a melhora da adesão do material, as trincas presentes na figura 27 já não estão presentes na figura 28, onde a concentração de nanopartículas de cobre é maior. É possível identificar uma camada irregular com mais de uma camada de nível, entretanto, em quantidade bem menor que as anteriores.

Tabela 14 – Resultado de EDS para a amostra NPCu/PP com 2% de NPCu

Elemento	(%) em Massa					
	A	B	C	D	E	F
C	98,05	98,88	88,89	100,00	94,17	94,11
O	-	-	8,86	-	-	-
Al	0,66	1,03	1,82	-	-	-
Cu	0,21	0,10	0,43	-	5,83	5,89
Si	1,08	-	-	-	-	-

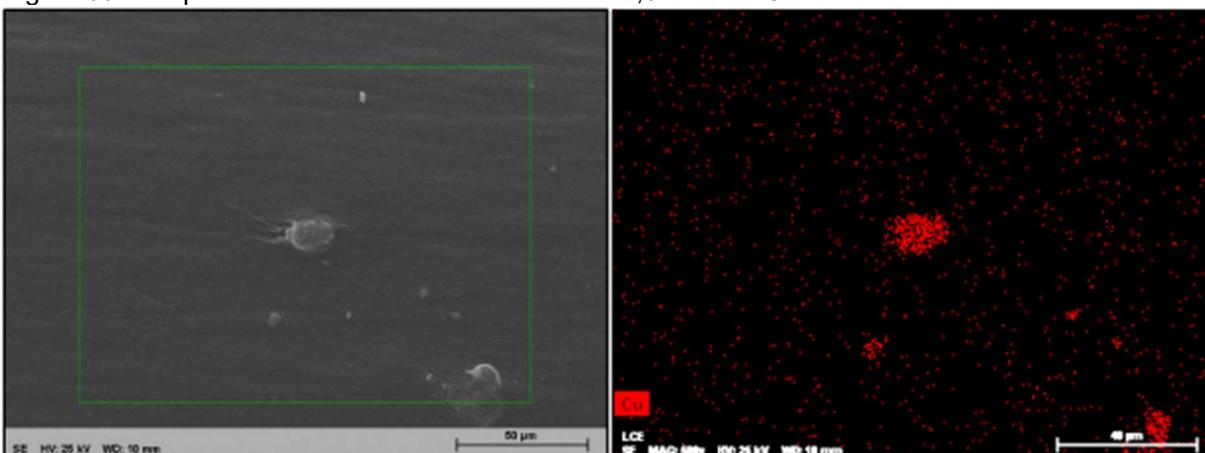
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 29 – Mapeamento de cobre na amostra com 1,5% de NPCu



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 30 – Mapeamento de cobre na amostra com 2,0% de NPCu



Fonte: Elaborado pelo autor

É possível observar pela figura 29 e 30 que a dispersão das partículas em relação a sua proporção difere, quanto maior a quantidade, maior é a concentração de cobre. A concentração maior na amostra de 2% é um fator que contribui para a melhor adesão do material nesta amostra e maior regularidade nas camadas.

5.5. Ensaio de Tração

Valores de propriedades mecânicas como tensão de escoamento, deformação no escoamento, tensão de ruptura, deformação na ruptura, que podem ser utilizados como base de comparação dos desempenhos mecânicos de diferentes polímeros com diversas cargas, para melhor entender as características conferidas ao foram realizados os ensaios de tração.

Tabela 15 – Resultados do ensaio de tração dos CP apenas com PP

Amostras	Tensão no Escoamento (Mpa)	Deformação no Escoamento (%)	Tensão na Ruptura (Mpa)	Deformação na Ruptura (%)	Módulo de Elasticidade (GPa)
1	28,91	21,00	36,31	775,00	0,78
2	29,98	52,00	38,61	800,00	0,85
3	27,50	80,00	35,01	900,00	0,77
Média	28,80	51,00	36,64	825,00	0,80
Desvio Padrão	0,86	20	1,31	50	0,03

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 16 – Média dos ensaios de tração dos compósitos com adição de 0,5%; 1,0%; 1,5% e 2,0%

	Amostras	Tensão no Escoamento (Mpa)	Deformação no Escoamento (%)	Tensão na Ruptura (Mpa)	Deformação na Ruptura (%)	Módulo de Elasticidade (GPa)
PP + 0,5% de NPCu	1	29,87	8,51	24,92	172,66	0,35
	2	31,15	8,46	25,31	132,70	0,37
	3	36,02	9,33	30,10	120,60	0,39
	Média	32,34	8,77	26,78	141,99	0,37
	Desvio Padrão	3,25	0,49	2,89	27,25	0,01
PP + 1,0% de NPCu	1	38,97	9,31	34,64	130,83	0,42
	2	34,89	9,41	30,39	116,09	0,37
	3	38,91	10,05	30,33	30,87	0,39
	Média	37,59	9,59	31,79	92,60	0,39
	Desvio Padrão	2,34	0,40	2,47	53,96	0,02
PP + 1,5% de NPCu	1	30,59	8,59	25,37	276,26	0,36
	2	32,30	9,36	28,51	285,05	0,35
	3	29,27	8,62	23,46	219,96	0,34
	Média	30,72	8,86	25,78	260,42	0,35
	Desvio Padrão	1,52	0,44	2,55	35,32	0,01
PP + 2,0% de NPCu	1	30,21	8,56	24,36	180,07	0,35
	2	31,37	8,58	25,91	52,73	0,36
	3	28,83	8,05	23,57	97,76	0,36
	Média	29,99	7,59	24,50	160,54	0,36
	Desvio Padrão	1,04	0,47	0,97	58,43	0,004

Fonte: Elaborado pelo autor

A tensão de escoamento é força máxima que pode ser aplicada sem causar deformação plástica, o material sem nenhuma adição de nanopartículas apresentou 28,91 Mpa em uma das amostras, já os compósitos de NPCu/PP apresentam tensões que chegam até 37,59 Mpa, caso da NPCu/PP de 1,0%.

É possível observar que a diferença na deformação no escoamento quanto a adição de NanoCu, a amostra sem nenhuma adição apresenta deformação de até 80%, quanto as amostras com cobre caíram para no máximo 38,97 (1% de NPCu).

Para os CPs de 100%PP, há maior resistência a ruptura que as amostras com adição de Cu. As amostras de 1,0% de adição de NPCu apresentaram maior resistência à tração, de 31,79 Mpa, do que as de 1,5% e 2%, com 25,78Mpa e 24,59Mpa, respectivamente. Através das análises térmicas é possível notar que a

O material nanocompósito apresenta resistência no escoamento muito similar ao PP, contudo apresenta menor resistência quanto à tensão de ruptura. Pela análise morfológica, observou-se que a adição de nanopartículas contribuiu para uma boa adesão do material que provavelmente, aumentou sua resistência também.

6. CONCLUSÃO

Através das análises da Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier, observou-se que os espectros de absorção na região do infravermelho apresentam semelhança com o Polipropileno sem adição de NPCu, porém, houve mudanças de picos na amostra de 2%, com vibrações mais elevadas.

Evento observado também nas amostras de DSC, que foram semelhantes as características do PP, entretanto, houve um aumento no grau de cristalinidade que pode ser explicada pela adição das NPCu.

Pelos resultados do TGA e DTG, verificou-se que a presença do Cobre influenciou na estabilidade térmica no Polipropileno, visto que a concentração de NPCu contribuiu para a diminuição de perda de massa.

Com o MEV, foi possível observar a morfologia e a interface das amostras que mostraram que as amostras com NPCu apresentaram boa adesão, visto que apresentou grandes fissuras e a dispersão das partículas em relação a sua proporção difere, quanto maior a quantidade, maior é a concentração de cobre.

Baseando-se nos resultados apresentados no ensaio de tração, comprovou-se que a presença das nanopartículas de cobre no polipropileno contribui para o aumento da tensão de escoamento, ou seja, tornou o material mais dúctil. Esta grande ductilidade do PP à pequenas taxas de deformação e altas temperaturas se deve ao fato de que as moléculas do polímero se rearranjam e isso faz com que os interstícios sejam preenchidos e acomodados. Além disso, pelas amostras com adição de NPCu, é possível notar a influência da ductibilidade do Cobre, visto que as suas tensões de escoamento são as mais elevadas.

Diante das amostras analisadas e aspectos adotados, é possível afirmar que o material pode ser implementado novamente no seu ciclo, ou seja, na produção das órteses e ainda mais, com a maior segurança devido as características virucidas do Cobre.

7. REFERÊNCIAS

- ANYAOGU, K. C., Fedorov, A. V. & Neckers, D. C. (2008). **Synthesis, Characterization, and Antifouling Potential of Functionalized Copper Nanoparticles**. *Langmuir*, 24(8), 4340-4346.
- ARAO, Y. et al. **Mechanical properties of injection-molded carbon fiber/polypropylene composites hybridized with nanofillers**. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, v. 55, p. 19–26, 2013
- ASSUMPÇÃO, T.N. **Órteses – Princípios Básicos**. In: FREITAS, P.P. **Reabilitação da Mão**. Atheneu: São Paulo, 2005
- ASSUMPÇÃO, T.N. **Órteses – Princípios Básicos**. In: FREITAS, P.P. **Reabilitação da Mão**. Atheneu: São Paulo, 2005
- BELKIN, J.; YASUDA, L. **Ortótica**. In: PEDRETTI, L. W.; EARLY, M. B. **Terapia ocupacional capacidades práticas para as disfunções físicas**. 5ª ed. São Paulo: Roca, 2005. p. 557-95.
- BERNI NETO, Elias Antonio; RIBEIRO, Caue; ZUCOLOTTI, Valtencir. **Síntese de nanopartículas de prata para aplicação na sanitização de embalagens**. 2008.
- BNDES – **Indústria petroquímica brasileira: situação atual e perspectivas**. Gomes, Gabriel; Dvorsak, Peter e Heil, Tatiana. Fevereiro de 2005
- BORGES, Manoela. **Pandemia afeta produção de plásticos e clientes sofrem com preço e desabastecimento**. Belo Horizonte - MG, 2021. Disponível em <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2021/01/05/pandemia-afeta-producao-de-plasticos-e-clientes-sofrem-com-preco-e-desabastecimento.ghtml>. Acesso 01 de março de 2022.
- BORKOW G AND GABBAY J. **Copper as a biocidal tool**. *Curr Med Chem* 2005; 12: 2163-2175.
- BOTAN, R.; NOGUEIRA, T. R.; LONA, L. M. F.; WYPYCH, F.; *Polímeros* 2011, 21, 34. 2. Souza, M. A.; Pessan, L. A.; Rodolfo Junior, A.; *Polímeros* 2006, 16, 257. 3. Nogueira, T.; Botan, R.; Wypych, F.; Lona, L.; *Composites Part A* 2011, 42, 1025

CALLISTER W. D. Materials Science and Engineering, Na Introduction.: John Wiley and Sons: USA, 1985.

Camargo, P. H. C.; Satyanarayana, K. G.; Wypych, F.; Mater. Res. 2009, 12,

CANEVAROLO, S. V. **Ciência dos Polímeros**. São Paulo: 2. ed., Artliber, 2006.

CAPELLO, V. A. TOYODA, C. Y. **Indicação e Confecção de Órtese: Papel do Terapeuta Ocupacional no Tratamento da Mão**. Trabalho de Conclusão de Curso, Lins, 2000.

CASTANEDA, Luciana. Planejamento Regional Integrado. PDF interativo In: UNIVERSIDADE ABERTA DO SUS. UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO. **Atenção à Pessoa com Deficiência I: Transtornos do espectro do autismo, síndrome de Down, pessoa idosa com deficiência, pessoa amputada e órteses, próteses e meios auxiliares de locomoção. Prescrição, Concessão, Adaptação e Manutenção de Órteses, Próteses e Meios Auxiliares de Locomoção**. São Luis: UNA-SUS; UFMA;2021.

CLOVER Jr, W. Lower extremity thermoplastic: no overview. J. **Prosthetics and Orthotics**, 1991, 3, 9-13.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA- CNI. Sondagem especial - Ano 20, n. 77 (maio 2020). Brasília: CNI, 2020. v.: il. ISSN 2317 7330

DYNALON Labware. Dynalab Corp. | Dynalon Labware. 175 Humboldt Street, Suite 300

EDELSTEIN, J. E.; BRUCKER, J. (Ed.). **Órteses: abordagem clínica**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006. 200 p.

FARBU, E et al. **EFNS Guideline on diagnosis and management of post-polio syndrome**. European Journal Of Neurology, Norway, v. 13, p.795-801, 2006. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/072c/1409506ccd804c60f52f25a16e911f6f635d.pdf> < >. Acesso em 12 de novembro de 2022.

FECHINE, P. B. A. (org.). **Avanços no desenvolvimento de nanomateriais**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/55633>. Acesso em: 7 out. 2021

FEDULLO N., SORLIER E., SCLAVONS M., BAILLY C., LEFEBVRE J. M., DEVAUX J. Progress in Organic Coating 58 (2007) 87-95

FERREIRA, CREUSA. Nanocompósitos PP/Grafite: **Obtenção e propriedades**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.

FESS, E.E.; KIEL, J.H. **Imobilização do Membro Superior com Tala**. In: CREPEAU, E.B. Willard & Spackman: Terapia Ocupacional. 9ª ed., Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, cap. 20, 2002.

FRANCISCO, N.P.F. **Avaliação das características de três materiais de baixo custo utilizados na confecção de órtese para estabilização de punho** (2004) Dissertação - (Mestrado em Engenharia Biomédica) - Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Universidade do Vale do Paraíba, 2004.

GALVÃO, C. **Terapia Ocupacional: fundamentação & prática**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007.

HARPER, C. A. Modern Plastics Handbook. In: 1a ed. New York: McGraw-Hill Education, 2000. p. 10–73.

HOLGUIN, ISABEL. **Estudo do comportamento do PP e PET reciclados submetidos a intempéries e suas possíveis aplicações**. Universidade de Brasília. Dissertação de mestrado em integridade de materiais da engenharia – Maio/2015.

HUSSAIN, Farzana; HOJJATI, Mehdi; OKAMOTO, Masami; GORGA, Russel E. Review article: **Polymer-matrix nanocomposites, processing, manufacturing, and application: an overview**. Journal of Composite Materials, v. 40, n. 17, 2006.

ICIS. **Global PP Demand to Remain Resilient in 2021 Even If We Fail to Control the Pandemic**. Disponível em: <<https://www.icis.com/asian-chemicalconnections/2021/02/global-pp-demand-to-remain-resilient-in-2021-even-if-we-fail-tocontrol-the-pandemic/>>. Acesso em: 10 fevereiro 2022.

ICIS. **Global PP Demand to Remain Resilient in 2021 Even If We Fail to Control the Pandemic**. Disponível em: <<https://www.icis.com/asian-chemicalconnections/2021/02/global-pp-demand-to-remain-resilient-in-2021-even-if-we-fail-tocontrol-the-pandemic/>>. Acesso em: 10 fevereiro 2022.

IHS MARKIT. Market Focus Issue 24: **The silver lining during challenging times.**

Disponível

em:<https://connect.ihsmarket.com/Document/Show/phoenix/3858279?connectPath=EmailAlerts&utm_campaign=Immediate 3858279from phoenix&utm_source=EmailAlerts&utm_medium=email>. Acesso em: 12 janeiro. 2022c.

IPEA, 2021– v.: il. Semestral ISSN: 15184285 1. Política Social – Periódicos. I.

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Diretoria de Estudos e Políticas Sociais.

CDD 362.5

Kickelbick, G.; **Concepts for the incorporation of inorganic building blocks into organic polymers on a nanoscale**; Prog. Polym. Sci. 2003, 28, 83.

Kotsilkova, R.; Pissis, P.; Silvestre, C.; Cimmino, S.; Duraccio, D.; Thermoset Nanocomposites for Engineering Applications; Smithers Rapra Technology Limited: Livesey, 2007, p.1.

L. F. DE MIRANDA, T.J. MASSON, J. A. M. AGNELLI, T. R. PERIN. **Estudo comparativo do polipropileno modificado pela presença de talco e sílica.** Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Unidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Novembro de 2002.

LIEBERMAN, M. B. and D. B. Montgomery (1988). **'First-mover advantages'**, **Strategic Management Journal, Summer Special Issue**, 9, pp. 41–58.

LINS. R.; MELOR. A. A.; FARIA. R.A.D.; CALAZANS, D.D.C.; L., SARA; FERNANDES, L.A.M.; BATISTA, M.L.; CASTRO, T.W.; SILVA, T.S.O. **A secagem em polímeros como alternativa simples para evitar o desenvolvimento de biofilme.**

MALPASS, D. B.; BAND, E. I. **Introduction to Industrial Polypropylene.** In: 1a ed. Beverly: Scrivener Publishing, 2012. p. 1–15, 183–198, 235–277.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Secretaria de Atenção Especializada à Saúde. **Guia para Prescrição, Concessão, Adaptação e Manutenção de Órteses, Próteses e Meios Auxiliares de Locomoção. Ministério da Saúde, Secretaria de Atenção Especializada à Saúde, Departamento de Atenção Especializada e Temática.** – Brasília: Ministério da Saúde, 2019. 108 p.

MONTENEGRO, R. S. P.; ZAPORSKI, J.; RIBEIRO, M. C. M.; et al. **A Situação Atual e Futura da Indústria de Polipropileno**. BNDES, 1996.

MUHAMMAD IMRAN DIN & RIDA REHAN (2017) **Synthesis, Characterization, and Applications of Copper Nanoparticles**, *Analytical Letters*, 50:1, 50-62, DOI: 10.1080/00032719.2016.1172081

MUÑOZ-BONILLA A, CERRADA ML AND FERNANDÉZ-GARCÍA M (eds). **Polymeric materials with antimicrobial activity**. Madrid: Royal Society of Chemistry, 2013.

MUÑOZ-PASCUAL, S.; Saiz-Arroyo, C.; Vuluga, Z.; Corobea, M.C.; Rodriguez-Perez, M.A. **Foams with Enhanced Ductility and Impact Behavior Based on Polypropylene Composites**. *Polymers* 2020, 12, 943. [CrossRef]

ONOFRIO NETO, João Cesar Fonseca. **Análise e perspectivas do mercado de polipropileno**. 2021.

PALZA H., GUTIÉRREZ S., DELGADO K., SALAZAR O., FUENZALIDA V., AVILA J., FIGUEROA G., QUIJADA R. **Toward Tailor-Made Biocide Materials Based on Poly(propylene)/Copper Nanoparticles**. *Macromolecules* (2010) 31, 563-567.

PERCÍLIA, E. **Nanotecnologia**. 2020. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/informatica/nanotecnologia.htm>. Acesso em: 14 set

PLASTICS INSIGHT. **All About Polypropylene (PP): Production, Price, Market & its Properties**. Disponível em: <https://www.plasticsinsight.com/resinintelligence/resinprices/polypropylene/>. Acesso em: 10 outubro 2021.

RAFFI, M., Mehrwan, S., Bhatti, T., Akhter, J., Hameed, A., Yawar, W. & Hasan, MM (2010). **Investigações sobre o comportamento antibacteriano de nanopartículas de cobre contra Escherichia coli**. *Annals of Microbiology*, 60 (1), 75-80.

RAI, M., Yadav, A. & Gade, A. (2009). **Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials**. *Biotechnology Advances*, 27(1), 76-83.

REN, G., Hu, D., Cheng, E. W. C., Vargas-Reus, M. A., Reip, P. & Allaker, R. P. (2009). **Characterisation of copper oxide nanoparticles for antimicrobial applications**. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 33(6), 587-590.

Rochester, NY 14610. Disponível em <www.dynalon.com/PublicStore/>. Acesso em 07 de janeiro de 2022

ROSER M, Ritchie H, Ortiz-Ospina E. **Coronavirus Disease (COVID-19) – Statistics and Research**. 2020. Disponível em: <www.ourworldindata.org/coronavirus>. Acesso em 21 de abril de 2021.

RUPARELIA, J. P., Chatterjee, A. K., Duttagupta, S. P. & Mukherji, S. (2008). **Strain specificity in antimicrobial activity of silver and copper nanoparticles**. *Acta Biomaterialia*, 4(3), 707-716.

SCHUCH, C. M. **Thermoplastic applications in lower extremity prosthetics**. *J. Prosthetics and Orthotics*, 1991, 3, 1-8.

SILVERTAIN, R.M. WEBSTER, F.X. **Identificação Spectrométrica de Compostos Orgânicos**. São Paulo: LTC, 2000.

SONDI, I. & Salopek-Sondi, B. (2004). **Silver nanoparticles as antimicrobial agent: a case study on E. coli as a model for Gram-negative bacteria**. *Journal of Colloid and Interface Science*, 275(1), 177-182

SPERLING L. H. **Introduction to Physical Polymer Science**. John Wiley and Sons: New Jersey, 1932.

THAT M. T. T., SARAZIN F. P., COLE K. C., BUREAU M. N., DENAULT J. **Polymer Engeneering and Materials** 40 (2006) 17.

TROMBLY, Catherine A.; RADOMSKI, Mary V. **Terapia Ocupacional para Disfunções Físicas**. 1160 f. 5 ed. Editora Santos; São Paulo, 2005.

VOLOKITIN, Y., J. SINZIG, L. DE JONGH, G. SCHMID, M. VARGAFTIK E I. MOISEEVI. 1996. **Efeitos de tamanho quântico nas propriedades termodinâmicas de nanopartículas metálicas**. *Natureza* 384 (6610):621–23. doi:10.1038/384621a0

WANG, ZL 2000. **Caracterizando a estrutura e as propriedades de nanoentidades semelhantes a fios individuais**. Yu, Y.-Y., S.-S. Chang, C.-L. Lee e CC Wang. 1997. Nanorods de ouro: síntese eletroquímica e propriedades ópticas. *Journal of Physical Chemistry B* 101 (34):6661–64. doi:10.1021/jp971656q

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Coronavirus disease 2019 (Covid-19): situation report 51**. Geneva: World Health Organization; 2020. Disponível em: <<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/331475/nCoVsitrep11Mar2020-eng.pdf>>. Acesso em 23 de maio de 2021.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Coronavirus disease (COVID-19) Pandemic**. Geneva: WHO; 2019. Disponível em: <<https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019>>. Acesso em 12 de maio 2021.

ZAIN, NM, AG STAPLEY E G. SHAMA. 2014. **Síntese verde de nanopartículas de prata e cobre usando ácido ascórbico e quitosana para aplicações antimicrobianas**. Polímeros de carboidratos 112:195– 202. doi:10.1016/j.carbpol.2014.05.081 *Materiais Avançados* 12 (17):1295–98.