

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS
CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

LUÍS OTÁVIO SILVA DELFINO

**SELEÇÃO DE MATERIAIS FLEXÍVEIS COM PROPRIEDADES ANTIVIRAIS
PARA PRODUÇÃO DE UMA CAPA PARA ASSENTO DE ÔNIBUS NO CONTEXTO
DA COVID-19**

BELO HORIZONTE

2021

LUÍS OTÁVIO SILVA DELFINO

**SELEÇÃO DE MATERIAIS FLEXÍVEIS COM PROPRIEDADES ANTIVIRAIS
PARA PRODUÇÃO DE UMA CAPA PARA ASSENTOS DE ÔNIBUS NO CONTEXTO
DA COVID-19**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Curso de Graduação em Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais

Orientador: Dr. João Paulo Ferreira Santos

Belo Horizonte

2021

LUÍS OTÁVIO SILVA DELFINO

**SELEÇÃO DE MATERIAIS FLEXÍVEIS COM PROPRIEDADES ANTIVIRAIS
PARA PRODUÇÃO DE UMA CAPA PARA ASSENTO DE ÔNIBUS NO CONTEXTO
DA COVID-19**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Curso de Graduação em Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais

Aprovado em 07/04/2021

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. João Paulo Ferreira Santos

Prof. Dr. Marcello Rosa Dumont

Prof. Dr. Breno Rocha Barrioni

AGRADECIMENTOS

A Deus que vem proporcionando saúde para mim e para minha família, além de permitir que tantas coisas boas acontecessem em minha vida.

A minha maravilhosa mamãe Joana, por cada abraço amoroso e por sonhar todos os meus sonhos junto comigo. A meu pai Francisco, por não medir esforços para me auxiliar nessa caminhada. A minha irmã Larissa, por escutar cada reclamação e por me inspirar com sua força e determinação. A meu irmão Lucas, por me ajudar em todos os momentos que eu precisei (inclusive com a formatação deste trabalho).

A todos meus amigos maravilhosos, em especial Alice, André, Beatriz, Daniel, Matheus, Otávio e Tyago, que sempre estiveram comigo durante momentos bons e ruins. Vocês foram essenciais em minha trajetória acadêmica e sou extremamente grato por ter cada um de vocês na minha vida.

A todos os professores do curso de engenharia de materiais, que fizeram de mim um engenheiro competente, em especial meu orientador João, por não medir esforços para me ajudar com este trabalho, além de me fazer acreditar que sou um bom aluno.

A todos os colaboradores do CEFET, que trabalham muito para manter a faculdade limpa, para fazer um almoço delicioso, para manter a biblioteca funcionando, entre outras atividades que foram de extrema importância na minha vida acadêmica.

Por último, agradeço a todos que contribuíram de alguma forma para a elaboração deste trabalho.

RESUMO

Com o avanço da doença COVID-19 causada pelo coronavírus que surgiu em 2019 na China, se tornando não só um grande problema de saúde, mas também gerando impactos de ordem social, econômica e política no mundo inteiro. Medidas para diminuir as taxas de contágio dessa doença são necessárias, uma delas é a utilização de tecidos antivirais. Esse tipo de tecido pode ser produzido a partir de fibras de polímeros naturais e/ou sintéticos impregnados com nanopartículas de prata através do método de *pad-dry-cure*. Nesse contexto, diversos tipos de produtos podem ser desenvolvidos a partir de tecidos com ação antiviral, um deles é uma capa para assento de ônibus. Portanto, o presente trabalho teve como proposta selecionar tecidos para produção de uma capa antiviral para assento de ônibus no contexto da COVID-19. O método de seleção de materiais proposto Ashby foi utilizado para criar e avaliar os atributos indispensáveis e desejáveis para o projeto. A partir desses atributos, foram propostos quatro índices de mérito que foram calculados individualmente e depois somados para obter o material que melhor atende ao projeto. Após realizar esses cálculos, em função dos atributos escolhidos para o projeto, o material que apresentou maior somatório dos índices de mérito foi o poliéster.

Palavras chave: COVID-19; tecido antiviral; pad-dry-cure; seleção de materiais.

ABSTRACT

With the progress of the disease COVID-19 caused by the coronavirus that appeared in 2019 in China, becoming not only a major health problem, but also generating social, economic and political impacts worldwide. Measures to reduce the contagion rates of this disease are needed, one of them is the use of antiviral tissues. This type of fabric can be produced from fibers of natural and / or synthetic polymers impregnated with silver nanoparticles through the pad-dry-cure method. In this context, several types of products can be developed from fabrics with antiviral action, one of them is a cover for bus sets. Therefore, the present work had as a proposal to select fabrics for the production of an antiviral cover for bus seats in the context of COVID-19. The proposed material selection method of Ashby was used to create and evaluate the indispensable and desirable attributes for the project. Based on these attributes, four merit indexes were proposed, which were calculated individually and then added together to obtain the material that best suits the project. After performing these calculations, depending on the attributes chosen for the project, the material that presented the highest sum of the merit indexes was polyester.

Keywords: COVID-19; antiviral tissue; pad-dry-cure; selection of materials.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Coronavírus que foram capazes de infectar humanos.....	14
Figura 2 – Estrutura do coronavírus (SARS-CoV-2)	15
Figura 3 – Como a COVID-19 pode se espalhar dentro de um ônibus.....	17
Figura 4 - Queda de demanda de passageiros nos sistemas de transporte público por ônibus. 18	
Figura 5 – Nanopartículas de prata em formato de esfera com tamanho de 20 nanômetros....	21
Figura 6 – Exemplo de mecanismo antiviral de nanopartículas de prata	22
Figura 7 – Possível mecanismo de ação contra o SARS-CoV-2.....	23
Figura 8 – Produção de tecido antiviral pelo método de pad-dry-cure	26
Figura 9 – Fluxograma das etapas referentes a confecção deste trabalho	28
Figura 10 – Método proposto por Ashby para seleção de materiais	31
Figura 11 - Aplicação do filtro para selecionar fibras poliméricas.	33
Figura 12 – Diagrama da resistência a radiação UV	34
Figura 13 – Uso de água na produção primária em função do preço do material.....	36
Figura 14 – Pegada de CO ₂ na produção primária em função do preço do material.....	38
Figura 15 – Diagrama da energia na produção de tecido em função do preço do material	40
Figura 16 – Diagrama da biodegradabilidade em função do preço do material.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de fiação e seus equipamentos específicos.....	25
Tabela 2– Peso dos setores do diagrama	34
Tabela 3 – Materiais e os seus respectivos valores de Índices de Mérito (IM_1).....	35
Tabela 4 – Materiais e seus respectivos valores de índices de mérito (IM_2).....	37
Tabela 5 - Materiais e seus respectivos valores de índices de mérito (IM_3)	39
Tabela 6 – Peso dos setores do diagrama	41
Tabela 7 - Materiais e seus respectivos valores de índices de mérito (IM_4)	42
Tabela 8 – Somatório dos índices de mérito do projeto	43

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	12
2.1	Objetivos Gerais	12
2.2	Objetivos Específicos	12
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1	Coronavírus.....	13
3.1.1	Histórico.....	13
3.1.2	Estrutura.....	14
3.1.3	Meios de contágio	16
3.1.4	Impactos sociais	17
3.2	Materiais com ação antiviral.....	19
3.2.1	Nanopartículas de prata.....	20
3.2.2	Mecanismos de ação antiviral das nanopartículas de prata	22
3.3	Produção de tecidos	24
3.3.1	Fiação.....	24
3.3.2	Tecidos com ação antiviral	25
4	METODOLOGIA.....	28
4.1	Pesquisa e levantamento de dados	29
4.1.1	Coronavírus: Histórico, estrutura, meios de contágio e impactos sociais.....	29
4.1.2	Materiais e seus mecanismos de ação antiviral.....	29
4.1.3	Tecidos com ação antiviral	29
4.2	Seleção de materiais para produzir tecidos com ação antiviral para assento de ônibus	30
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
5.1	Atributos indispensáveis	33

5.1.1 Filtro – Materiais para produção de tecido	33
5.1.2 Resistência a radiação UV	33
5.2 Atributos Desejáveis	36
5.2.1 Consumo de água na produção primária.....	36
5.2.2 Pegadas de CO ₂ na produção primária.....	38
5.2.3 Consumo de energia na produção de tecido	40
5.2.4 Biodegradabilidade	41
5.3 Seleção final.....	43
6 CONCLUSÃO	45
7 REFERÊNCIAS.....	46

1 INTRODUÇÃO

A COVID-19 é uma doença com altas taxas de contágio e por esse motivo, foi espalhada rapidamente em todos os continentes do mundo, gerando a atual pandemia enfrentada pela sociedade. Desde a sua primeira detecção em dezembro de 2019, o SARSCoV-2 vem afetando milhões de pessoas, com uma taxa de mortalidade muito maior que de uma gripe comum, além de gerar impactos sociais, políticos, econômicos, culturais e históricos (SPORTELLI et al., 2020).

Embora exista uma urgente necessidade de buscar medidas eficazes de prevenção e tratamento da doença, como a criação de vacinas por exemplo, é de suma importância explorar outras alternativas e estratégias que possam reduzir as taxas de contágio e por consequência, reduzir a taxa de mortalidade da doença, pois na ausência de uma estratégia de vacinação eficiente é esperado que a pandemia continue por vários meses, além de possíveis surtos futuros. A atual crise global evidencia a necessidade da sociedade estar preparada para novas doenças no futuro (TREMILIOSI et al., 2020).

Diversas vezes ao dia, o corpo humano interage com microrganismos através da superfície de materiais. Superfícies tocadas com frequência, ambientes hospitalares, transportes públicos e equipamentos de proteção individual foram testados para verificar o risco de contaminação, e a partir desses testes, foi constatado que existe persistência do coronavírus na superfície de materiais comuns (WARNES; LITTLE; KEEVIL, 2020). Para impedir a infecção por coronavírus através do contato com superfícies, estratégias para modificar a superfície de materiais, para que se tornem antivirais, foram desenvolvidas. Uma dessas estratégias é formar uma camada capaz de matar o vírus que ali está aderido, através da adição de agentes biocidas (TREMILIOSI et al., 2020).

As nanopartículas de prata, devido às suas propriedades antivirais, podem ser utilizadas para produzir tecidos com ação antiviral a partir do método de *pad-dry-cure*, com capacidade de inativar cerca de 99% do coronavírus em contato com a superfície do tecido (TREMILIOSI et al., 2020).

Nesse sentido, existem diversas possíveis aplicações para tecidos com ação antiviral, sendo que uma delas é uma capa para assento de ônibus. O presente trabalho tem como objetivo fazer uma seleção de materiais utilizando o método proposto por Michael Ashby (2005), para produzir uma capa para assento de ônibus com ação antiviral, considerando os seguintes

atributos: resistência a radiação ultravioleta, custo, consumo de água na produção primária, pegada de CO₂ na produção primária, consumo de energia para produção de tecido e biodegradabilidade.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

Selecionar materiais flexíveis com propriedades antivirais para produção de capas para assento de ônibus no contexto da COVID-19.

2.2 Objetivos Específicos

Escolher o material que apresenta maior valor de índice de mérito de acordo com os seguintes atributos: resistência a radiação ultravioleta, custo, consumo de água na produção primária, pegada de CO₂ na produção primária, consumo de energia para produção de tecido e biodegradabilidade.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Coronavírus

3.1.1 Histórico

Até de dezembro de 2019, seis espécies de coronavírus que causam doenças em humanos eram conhecidas. Quatro delas apresentam sintomas de um simples resfriado em pessoas com alguma deficiência no sistema imune, HCoV-229E e HCoV-OC43, descobertos em meados da década de 1960, HCoV-NL63, constatado em 2004 e HCoV-HKU1, constatado em 2005, as outras duas espécies são capazes de causar doenças fatais, estas são SARS-CoV e MERS-CoV (MITTAL et al., 2020).

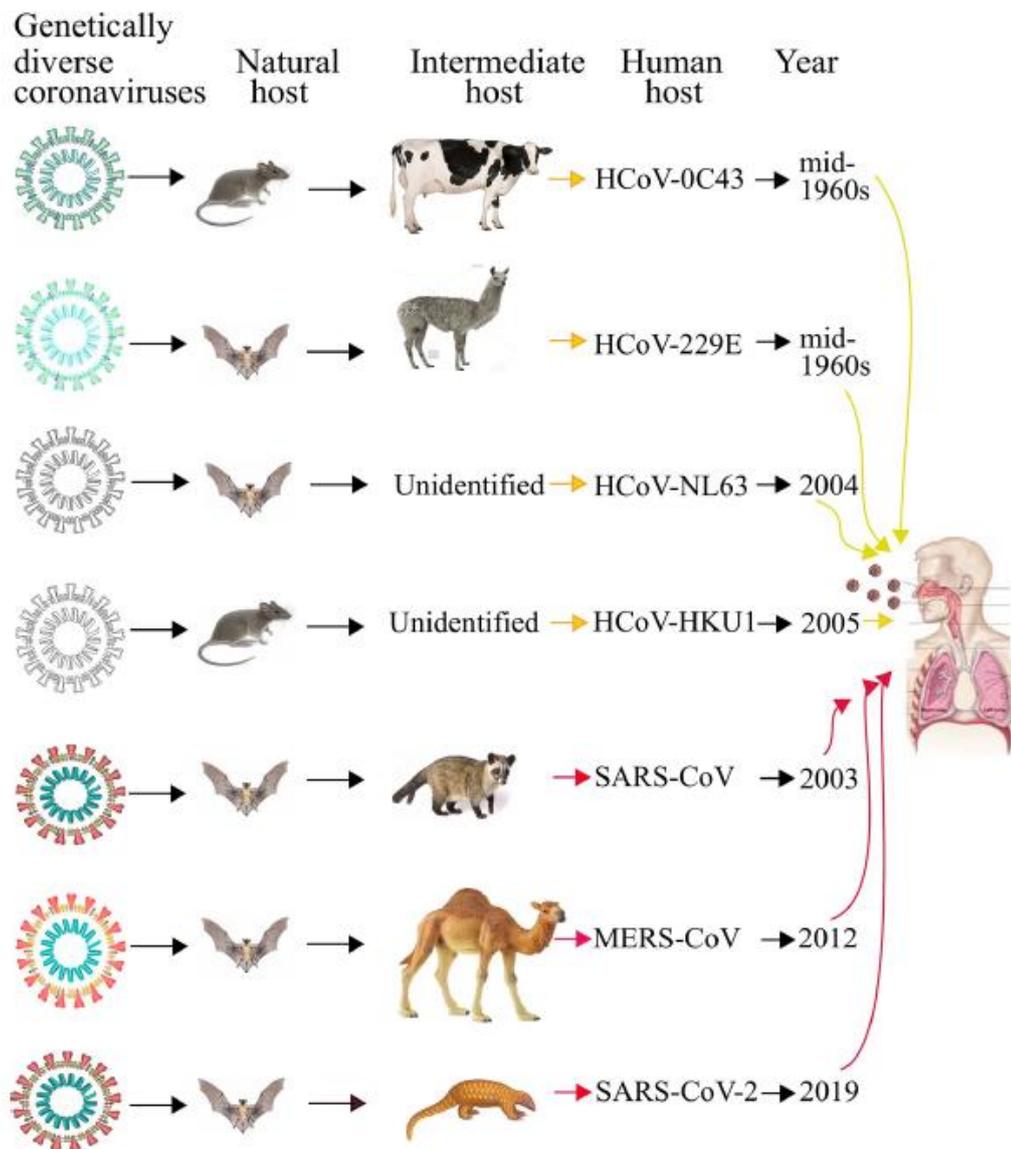
O SARS-CoV foi identificado em humanos em 2003 e sua origem possivelmente está relacionada a partir do contato indireto com morcegos. A habilidade do coronavírus infectar humanos, sem dúvidas, exigiu alterações genéticas no vírus, visto que o SARS presente nos morcegos é incapaz de infectar humanos diretamente (BRITANNICA ACADEMIC, 2020).

Em 2012, um novo coronavírus (MERS-CoV) foi capaz de causar uma doença em humanos, mais tarde, essa doença passou a ser chamada de síndrome respiratória do Oriente Médio (MERS). O primeiro caso foi detectado na Arábia Saudita e o vírus se espalhou para países da Europa e Ásia como França, Jordânia, Alemanha, Catar, Tunísia, Reino Unido e Emirados Árabes. Todos os casos comprovados estavam conectados diretamente ou indiretamente com o Oriente Médio e foi documentado que aproximadamente um terço terminou em morte. O MERS era similar a outros coronavírus pois se originava em morcegos e pensava-se que fosse transmitido dos morcegos para outros animais antes da transmissão aos humanos (BRITANNICA ACADEMIC, 2020).

No fim de 2019, surgiu um novo vírus relacionado ao SARS em Wuhan na China e posteriormente foi nomeado como síndrome respiratória aguda grave coronavírus 2 (SARS-CoV-2). Esse vírus foi responsável por causar a doença COVID-19, que era parecida à SARS e tinha como característica principal os sintomas respiratórios e febre, além de ser extremamente contagioso. No começo de 2020, ele já tinha se difundido pela China e chegou aos Estados Unidos e Europa através de viajantes das regiões afetadas. Em março, a organização mundial da saúde (OMS) denominou o surto como uma pandemia e as viagens entre países foram intensamente restringidas para tentar controlar a disseminação do vírus. Na grande maioria dos países do mundo, escolas, comércios e empresas fecharam e os governos

incentivaram as pessoas a ficarem em suas casas (BRITANNICA ACADEMIC, 2020). Na Figura 1 estão representados todos os coronavírus que foram capazes de infectar humanos.

Figura 1 – Coronavírus que foram capazes de infectar humanos



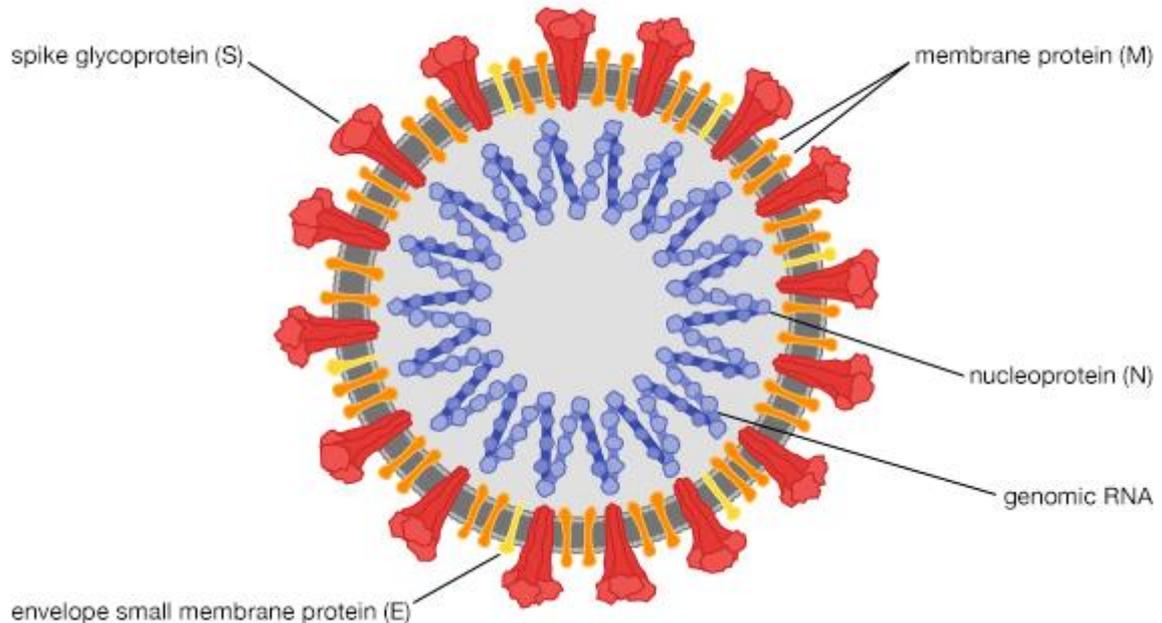
Fonte: INSTITUTE INNOVATIVE GENOMICS, 2020.

3.1.2 Estrutura

Coronavírus é qualquer vírus que faz parte da família *Coronaviridae*. Esses tipos de vírus apresentam virions envelopados com tamanho de aproximadamente 120nm de diâmetro. Picos de glicoproteínas S ao redor do envelope conferem ao vírus uma aparência em formato de coroa. O nucleocapsídeo apresenta formato helicoidal e é formado por um envoltório de proteína (capsídeo), contém os ácidos nucleicos virais. O genoma do coronavírus consiste em uma única fita de RNA de sentido positivo e por isso é classificado como um retrovírus

(BRITANNICA ACADEMIC, 2020). Na Figura 2 está representada a estrutura do coronavírus (SARS-CoV-2).

Figura 2 – Estrutura do coronavírus (SARS-CoV-2)



Fonte: BRITANNICA ACADEMIC, 2020.

A família *Coronaviridae* geralmente apresenta dois gêneros, Coronavírus e Torovírus, que se diferenciam na morfologia do nucleocapsídeo, sendo o Coronavírus helicoidal e o Torovírus tubular. Os Coronavírus, em sua maioria, são agentes de doenças gastrointestinais em aves, bovinos e humanos. Em humanos, uma espécie denominada coronavírus SARS ou coronavírus da síndrome respiratória aguda grave origina uma doença respiratória altamente contagiosa caracterizada por manifestação de dor muscular, tosse, febre, e geralmente dificuldade respiratória progressiva (BRITANNICA ACADEMIC, 2020).

Através de seu genoma, o coronavírus é capaz de codificar diversas proteínas, estruturais e não estruturais. As proteínas estruturais têm a função de infectar o hospedeiro, fusão da membrana, montagem viral, morfogênese e liberação de partículas virais, entre outras funções, já as proteínas não estruturais atuam como um facilitador da replicação viral e da transcrição. A membrana, o envelope e as glicoproteínas S são constituídos pelas proteínas estruturais e estão associados no envelope. Entre essas proteínas estruturais, as glicoproteínas S são as que se projetam do envelope do vírus, atuando como a estrutura principal para a entrada do vírus na célula hospedeira (MITTAL et al., 2020).

As células humanas apresentam proteínas de membrana (hACE2) que são capazes de interagir com as glicoproteínas S presentes no coronavírus. As glicoproteínas S funcionam como um sistema molecular extremamente importante nas primeiras etapas de infecção viral, pois são através delas que ocorre a interação do SARS-CoV-2 com o hospedeiro humano (WAN et al., 2020).

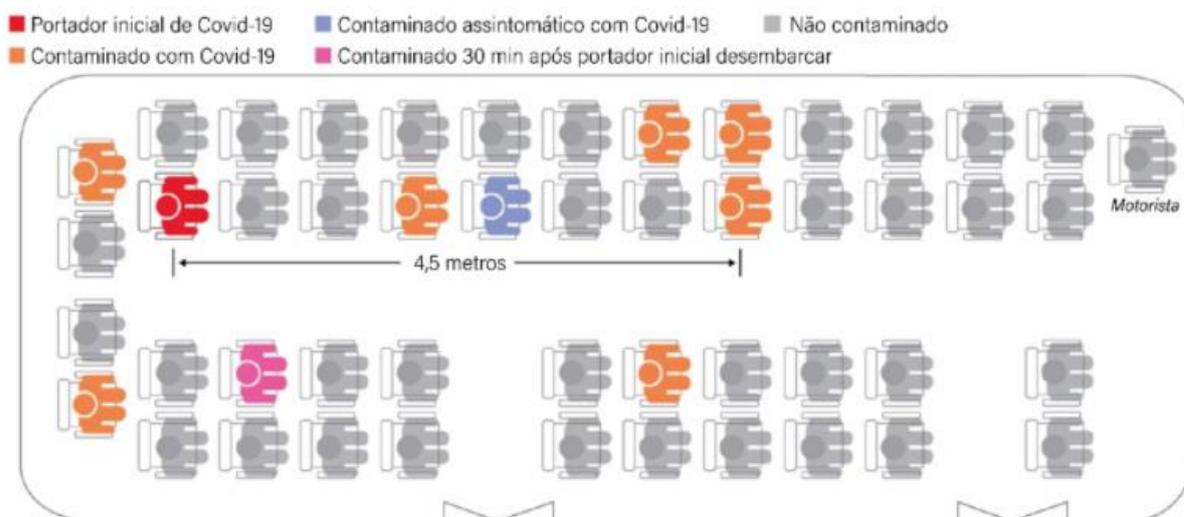
3.1.3 Meios de contágio

As altas taxas de contágio da COVID-19 trouxeram rápida difusão do coronavírus em todos os continentes, gerando a atual pandemia. A COVID-19 pode facilmente se difundir por meio de duas rotas. A rota primária consiste na infecção através do contato com fluidos corporais e de tosse ou gotículas respiratórias, já a rota secundária, pelo contato com superfícies contaminadas pelo vírus, por meio do toque seguido de autoinoculação das mucosas (SPORTELLI et al., 2020). Apesar da contaminação pela rota secundária ser menos provável do que pela rota primária, segundo a Organização Mundial da Saúde (2020), esse risco existe e é bem significativo.

Superfícies tocadas com frequência, ambientes hospitalares, transportes públicos e equipamentos de proteção individual foram testados para averiguar o risco da contaminação pela rota secundária, e a partir desses testes, foi constatado que existe persistência do coronavírus na superfície de materiais comuns (WARNES; LITTLE; KEEVIL, 2020).

Transportes públicos como ônibus e trens, apresentam alta capacidade de dispersão de patógenos como o coronavírus (IBOLD et al., 2020). Segundo uma pesquisa realizada por uma equipe de epidemiologistas do governo Chinês, o coronavírus pode permanecer no ar por pelo menos 30 minutos e viajar até 4,5 metros dentro de um ônibus, distância que vai além da “distância segura” recomendada por autoridades de saúde em todo o mundo. Essa equipe de epidemiologistas também ressalta que o vírus pode durar dias em uma superfície onde caem gotículas respiratórias, aumentando o risco de transmissão se pessoas desavisadas tocarem e esfregarem o rosto (CHEN, 2020). Na Figura 3 está demonstrado como a COVID-19 pode se espalhar no interior de um ônibus.

Figura 3 – Como a COVID-19 pode se espalhar dentro de um ônibus



Fonte: IBOLD et al., 2020.

Diversos recursos e capacidades biotecnológicas estão direcionados para a criação de tratamentos e vacinas contra a COVID-19. Além desses esforços, com a importância da contaminação via superfícies de materiais, é de extrema relevância desenvolver superfícies antivirais, juntamente com tecnologias e equipamentos de descontaminação (SPORTELLI et al., 2020).

3.1.4 Impactos sociais

Segundo a Fundação Oswaldo Cruz (2020), o coronavírus, vírus responsável pela pandemia de COVID-19, tem causado inúmeras repercussões, essas podem ser de ordem epidemiológicas e biomédicas em escala global, além de consequências e impactos sociais, políticos, econômicos, culturais e históricos.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (2021), em 20 de março de 2021, a estimativa de pessoas mortas e infectadas no mundo é de 2.708.531 e 122.733.136 respectivamente, esses dados concorrem diretamente com as consequências sobre os sistemas de saúde, os problemas financeiros, de saúde mental em época de confinamento pelo medo do risco de contrair a doença e morrer, aumento no número de casos de violência doméstica, além de dificultar o acesso a bens essenciais como alimentação, transporte e medicamentos, atingindo principalmente a população vulnerável.

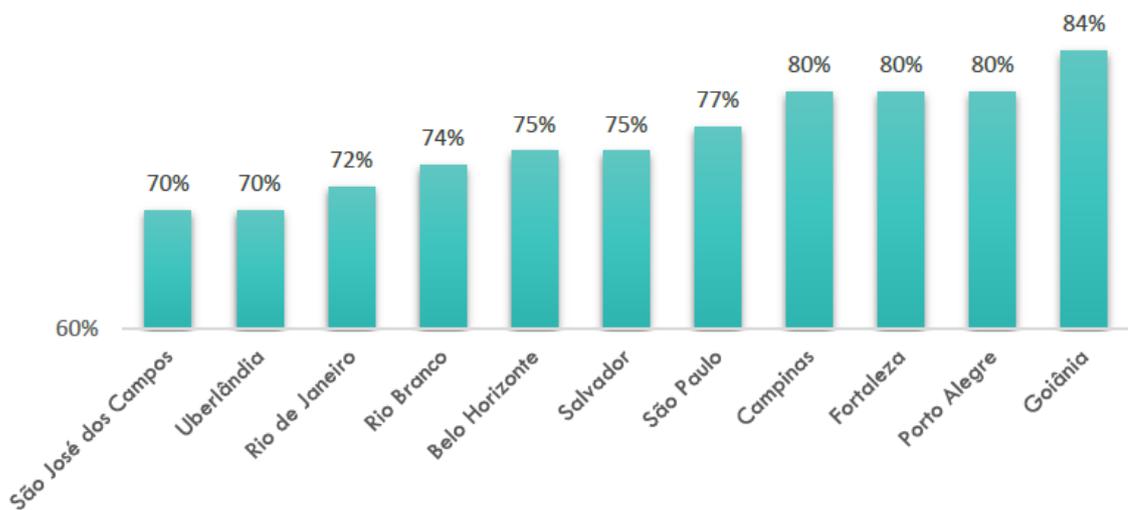
As determinações de contenção do trânsito da população, que reduzem a disseminação da COVID-19, não devem ser confundidas com uma suspensão na utilização do transporte público. Ainda que tenha ocorrido uma diminuição da quantidade de pessoas em tráfego nas

ruas, a paralisação dos serviços de transporte não é uma alternativa viável. Muitos usuários de transporte público não podem trabalhar remotamente ou dispõem de algum veículo particular para se locomoverem quando precisam. Também nesse sentido, para que uma parte da população tenha a possibilidade de ficar em casa e cumprir as medidas de isolamento social, a outra parte deve continuar trabalhando (LIMA et al., 2020).

Existem diversas pessoas que fazem serviços essenciais como profissionais da saúde, cozinheiros, motoristas, faxineiros, dentre outros. Estes necessitam chegar ao trabalho para de fato poder trabalhar. Os ônibus são responsáveis por aproximadamente 50% das viagens motorizadas do Brasil e realizam um serviço de extrema importância para que a cidade continue em movimento (LIMA et al., 2020).

Apesar das medidas de isolamento social serem de extrema importância para diminuir a disseminação do coronavírus, elas têm um elevado impacto na economia do país, e o setor de transporte público é um dos segmentos mais abalados pela pandemia no Brasil. Algumas empresas que atuam no setor de transporte público via ônibus, relatam que houve uma diminuição média de mais de 75% dos passageiros (LIMA et al., 2020). Na Figura 4 é demonstrada por meio de um gráfico a diminuição de passageiros em algumas cidades do Brasil desde o começo do isolamento social.

Figura 4 - Queda de demanda de passageiros nos sistemas de transporte público por ônibus



Fonte: LIMA et al., 2020.

A pandemia também deixa em evidência diversos níveis de tensões causadas pela ação do Estado ao implementar determinadas políticas públicas direcionadas a população brasileira,

que não consideram as diferenças culturais presentes no Brasil. Para a população indígena por exemplo, a pandemia envolve desde questões como a insegurança alimentar e o medo de deixar as aldeias, até a violência cultural, pela proibição de praticar ritos fúnebres tradicionais quando o falecimento é resultado da COVID-19 (SANTOS; PONTES; COIMBRA JR., 2020).

3.2 Materiais com ação antiviral

Polímeros com propriedades antivirais fazem parte da busca por alternativas para lidar com a pandemia. Liderada por cientistas empreendedores, essa busca apresenta duas abordagens principais: A primeira abordagem, demanda o desenvolvimento de moléculas relativamente pequenas para servir como medicamento e drogas, aproveitando das propriedades biodegradáveis de alguns polímeros para liberação de fármacos. A segunda abordagem consiste na busca de polímeros com propriedades antivirais para a eliminação/inativação do vírus no contato (JARACH; DODIUK; KENIG, 2020).

Polímeros com características antivirais podem ser confeccionados a partir da utilização de nanopartículas antivirais, como íons metálicos por exemplo, para obter polímeros contendo íons com propriedades antivirais (JARACH; DODIUK; KENIG, 2020).

Partículas com tamanho menor que 100nm são definidas como nanopartículas, elas têm conquistado muita relevância por causa de suas características especiais e interessantes. Suas propriedades físicas e químicas derivam da alta quantidade de átomos superficiais e da grande relação entre sua área e seu volume. Essa relação acontece, pois, à medida que seu diâmetro diminui, a área superficial da partícula aumenta consideravelmente e, com o resultado deste aumento, há um incremento nas características originais do material (GALDIERO et al., 2011).

A utilização de nanopartículas metálicas vem obtendo bons resultados, sejam elas funcionalizadas em uma superfície para melhorar as interações da nanopartícula com o meio ou não. Utilizar metais contra microrganismos é uma alternativa que pode ser vista como antiga, a prata por exemplo, era aplicada para procedimentos de cozimento, para preservar a água de uma possível contaminação e prevenção de deterioração de alimentos (GALDIERO et al., 2011).

As relações biológicas são normalmente multivalentes e os microrganismos e as células hospedeiras se relacionam muitas vezes através de receptores presentes na membrana plasmática e ligantes que estão na superfície do microrganismo de uma forma organizada, coordenada, específica e eficiente, fazendo com que o microrganismo infecte a célula hospedeira com facilidade. Infecções virais representam um exemplo dessas interações

multivalentes entre as estruturas da superfície viral e os receptores da membrana celular (GALDIERO et al., 2011). Segundo Sportelli et al. (2020), dificultar essas interações multivalentes, inativando ou destruindo o vírus, e assim, bloqueando a entrada do vírus nas células, é uma das maneiras mais promissoras que estão sendo utilizadas no desenvolvimento de produtos com ação antiviral.

Os surtos de doenças causadas por diversos vírus, que desenvolveram resistência ao serem expostos a medicamentos antivirais disponíveis na sociedade, encorajaram inúmeros cientistas a estudarem produtos e agentes antivirais. Para que um vírus cause uma doença, ele precisa necessariamente entrar e se fixar em células hospedeiras, através de ligações entre componentes presentes na superfície do vírus e proteínas presentes na membrana celular (SALLEH et al., 2020).

3.2.1 Nanopartículas de prata

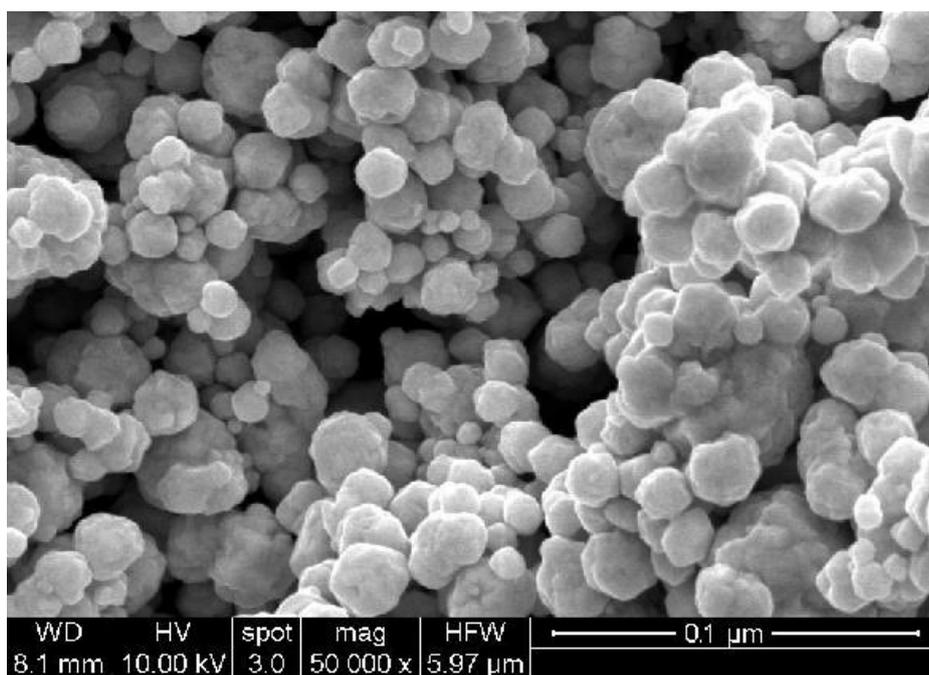
O elemento químico Ag faz parte de um grupo chamado de metais de transição e é classificado como um metal precioso devido a sua decrescente disponibilidade. A prata apresenta características interessantes, mas a sua utilização é limitada devido a instabilidade no contato com o oxigênio. Na última década, ocorreu um aumento gigantesco na aplicação de nanotecnologias e nanociências, isso levou a um crescimento na produção de nanomateriais, assim, tornou possível a confecção de prata em escala nano e os produtos dessas nanopartículas vêm despertando grande interesse, em razão das suas características químicas, físicas e biológicas em comparação com a prata em escala macro (SALLEH et al., 2020).

As propriedades das nanopartículas de prata (AgNps) podem ser avaliadas utilizando várias técnicas de caracterização. O DRX é utilizado para analisar a estrutura das nanopartículas, tamanhos, compostos e imperfeições estruturais. O FTIR é utilizado para caracterizar as várias ligações químicas das AgNps. A Espectroscopia UV/VIS é utilizada para avaliar a estabilidade e características de absorção das nanopartículas que dependem do meio dielétrico, tamanho e ambiente químico. A microscopia eletrônica de transmissão fornece medidas de tamanho de partícula, morfologia e distribuição de tamanho das mesmas. O Espalhamento de luz dinâmico mede o tamanho das AgNps, além de avaliar sua estabilidade ao longo do tempo em suspensão em diferentes condições de pH e temperatura. A Ressonância de plasmon de superfície localizada determina a oscilação espacial do elétron quando está excitado e não excitado, além de avaliar como acontece as interações na superfície da nanopartícula (SALLEH et al., 2020).

Fatores como a morfologia, o tamanho, a superfície e a distribuição das nanopartículas têm influência nas características físicas e químicas das AgNps, esses fatores podem ser modificados através de procedimentos na síntese e com a utilização de agentes estabilizadores e redutores.

O tamanho das nanopartículas de prata é a condição determinante de suas propriedades biológicas e ele pode ser adaptado de acordo com a aplicação desejada, normalmente a faixa de tamanho varia entre 2nm a 100nm. Outro fator importante influenciado pelo tamanho das nanopartículas é a toxicidade, quanto menor o tamanho das AgNps, maior é a toxicidade pois existe uma maior reatividade e liberação de íons no meio, além do tamanho, a forma das nanopartículas (nanoplacas, nanoesferas, nanobastões, em forma de flor) também influencia na toxicidade (SALLEH et al., 2020). A Figura 5 é uma micrografia obtida por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV) de nanopartículas de prata com formato esférico.

Figura 5 – Nanopartículas de prata em formato de esfera com tamanho de 20 nanômetros



Fonte: GRADY, 2007.

As AgNps estão sendo requisitadas em vários segmentos da sociedade, tanto em áreas da medicina quanto para áreas da indústria, graças às suas características especiais. O fator que influencia suas características especiais é a sua associação superfície-volume, que possibilita a alteração das suas propriedades biológicas, químicas e físicas. São diversas as formas de se produzir nanopartículas de prata (síntese física, síntese química e síntese biológica). Uma característica interessante das nanopartículas de prata é a característica biológica, que é alterada

pela faixa de tamanho, forma das partículas, aglomeração das partículas, química da superfície, composição química, resposta ao meio, agente de cobertura, agentes utilizados na síntese e liberação de íons. Entender as características dessas nanopartículas é de extrema importância, pois são elas que definem a eficiência da aplicação das AgNps (SALLEH et al., 2020).

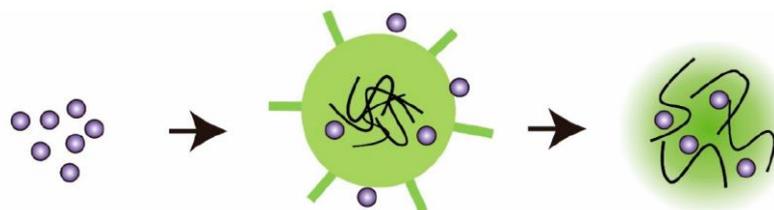
3.2.2 *Mecanismos de ação antiviral das nanopartículas de prata*

As AgNps apresentam alta capacidade antiviral contra diversos tipos de vírus, entre eles, vale ressaltar os retrovírus, que assim como o coronavírus, também possui um envelope com picos de glicoproteínas (RAI et al., 2016). Além dessa alta capacidade antiviral, a chance dos vírus adquirirem resistência aos mecanismos antivirais das nanopartículas de prata, comparando com outros agentes virais convencionais, é extremamente baixa (SALLEH et al., 2020).

Segundo Salleh et al. (2020), apesar de existirem diversos estudos sobre os efeitos das nanopartículas de prata contra vírus, esses estudos fornecem informações limitadas de como realmente ocorre a interação entre as AgNps e os vírus, devido ao fato de que as estruturas virais apresentam alta complexidade.

Existem duas formas principais das AgNps atuarem de forma antiviral. No primeiro, as AgNps realizam interações multivalentes com as estruturas presentes na superfície viral, que quando chegam nos receptores de membrana celular, não são reconhecidos e por esse motivo, são bloqueados, não conseguindo entrar nas células hospedeiras. O outro mecanismo principal das AgNps para impedir a infecção viral é a inibição do vírus ao se ligar com seu DNA ou RNA, impedindo a replicação e propagação do vírus no interior das células hospedeiras (SALLEH et al., 2020). Também é relevante expor que existem outras formas das AgNps atuarem de forma antiviral, conforme apontado por Pemmada et al. (2020), as nanopartículas de prata podem se aderir ao envelope viral, entrar dentro do vírus e destruir seu material genético, além disso as AgNps podem combater vírus não envelopados. Na Figura 6 está representado o mecanismo exposto por Pemmada et al. (2020).

Figura 6 – Exemplo de mecanismo antiviral de nanopartículas de prata

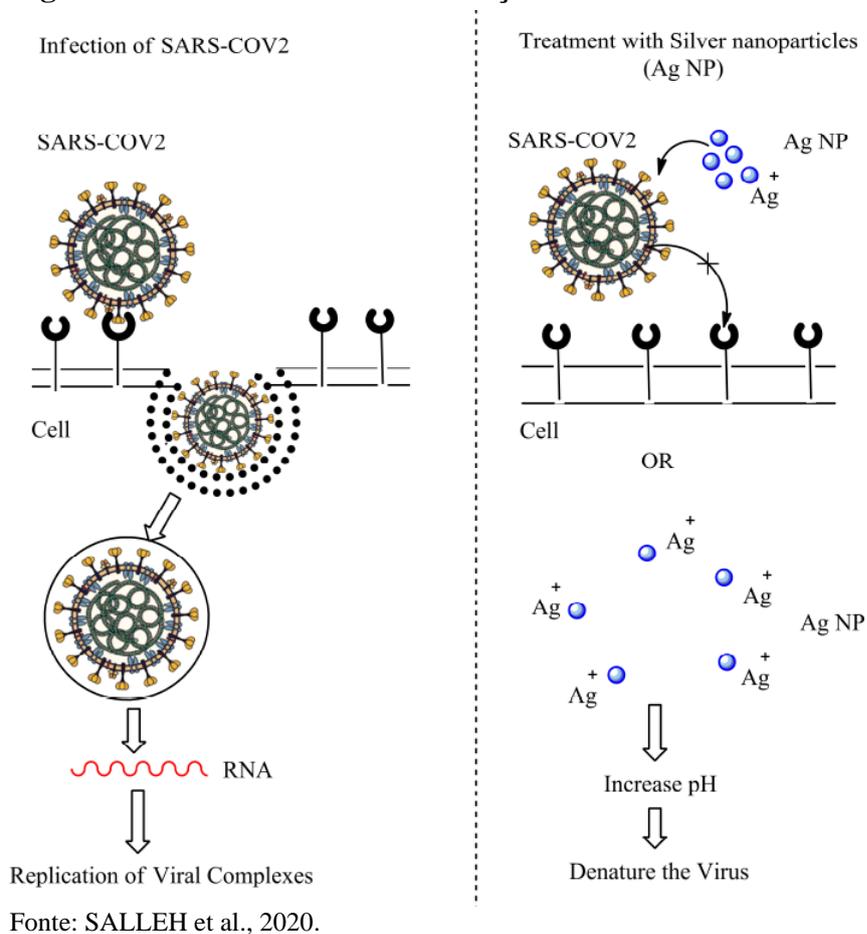


Fonte: PEMMADA et al., 2020.

De acordo com Salleh et al. (2020), interferir nas interações entre o vírus e a membrana celular, impedindo assim a fixação e entrada do vírus na célula, é a melhor estratégia para confeccionar novos produtos antivirais. Considerando o mecanismo de ação das nanopartículas metálicas em vírus, utilizar as AgNps como agente antiviral é uma atrativa solução. As muitas formas de combate aos vírus utilizando nanopartículas de prata fazem com que ela seja uma escolha muito eficiente.

As nanopartículas de prata podem ser utilizadas para lidar com novos surtos de doenças virais como a COVID-19 (SALLEH et al., 2020). As AgNps podem ser utilizadas para tratar pacientes com COVID-19 com efeitos colaterais mínimos. A hipótese era de que as nanopartículas prata se ligariam às glicoproteínas presentes na estrutura do coronavírus, impedindo assim, a ligação do vírus nas células, além de que a liberação de íons de prata podem diminuir o pH no epitélio respiratório (local onde o coronavírus geralmente ataca), tornando o ambiente hostil ao vírus (SARKAR, 2020). A Figura 7 mostra o possível mecanismo de ação contra o coronavírus.

Figura 7 – Possível mecanismo de ação contra o SARS-CoV-2



3.3 Produção de tecidos

Os produtos têxteis são tecidos ou não tecidos produzidos por fibras naturais, sintéticas ou por ambas. Os materiais têxteis apresentam uma variedade de áreas de aplicações como vestuário, material de construção, indústria automotiva, militar, indústria alimentícia, indústria médica, equipamentos esportivos, agricultura e decoração doméstica. Algumas propriedades dos têxteis, como estabilidade em alta temperatura, impermeabilidade, biodegradabilidade, elasticidade, ou ter atividade antimicrobiana são determinadas no processo de produção com base no local onde serão aplicados (IYIGUNDOGDU et al., 2017).

Atualmente, a indústria têxtil apresenta um grande número de processos que agregam valor à fibra de tecido. Esses processos variam desde a produção do fio até a costura de roupas, estampagem de tecidos, produção de compósitos, etc. No entanto, considerando a fibra têxtil como a unidade básica de construção de qualquer produto têxtil, a manufatura têxtil pode ser classificada como os têxteis convencionais e técnicos (UDDIN, 2019).

O processo de fabricação de têxteis convencionais é utilizado ao longo da história da sociedade e consiste na conversão de fibras naturais em produtos úteis, incluindo tecidos para o lar e vestuário. Recentemente, esses tecidos convencionais são transformados em têxteis técnicos por meio da utilização de efeitos de acabamento especiais através de técnicas como por exemplo, nanorrevestimento (UDDIN, 2019).

3.3.1 Fiação

A fiação é uma etapa da cadeia produtiva de têxteis que tem como objetivo principal fazer com que fibras se tornem fios. No passado, a fiação era realizada manualmente, onde as fibras de tecido eram estiradas e depois torcidas. Logo após, a humanidade começou a realizar o processo de fiação através de um instrumento chamado de roca. A evolução dessa roca foi a roca com tambor, onde o operador podia ficar sentado enquanto realizava o processo. Através da revolução industrial, o processo de fiação foi automatizado e as rocas se transformaram em máquinas chamadas atualmente de filatórios (PEREIRA, 2009).

A fiação é o processo de transformar fibras (matéria prima) previamente tratadas, em fios, através de diversas operações e processos que são determinados através das propriedades físicas das fibras (PEREIRA, 2009). Na Tabela 1 está apresentado alguns tipos de fiação e seus equipamentos específicos.

Tabela 1 - Tipos de fiação e seus equipamentos específicos

Preparação à Fiação	Abertura Automática ou Manual
	Batedores
	Cardas
	Passadores
Fiação Penteada	Reunideiras
	Penteadeiras
Fiação Convencional	Maçaroqueira
	Filatórios de Anéis
	Bobinadeiras/Conicaleiras
	Retorcedeiras
Fiação Não Convencional (Open End)	Filatórios Open End (Rotor)

Fonte: PEREIRA, 2009.

3.3.2 *Tecidos com ação antiviral*

O crescente aumento da conscientização do consumidor sobre os efeitos dos patógenos na saúde gera uma demanda crescente sobre materiais e produtos antibacterianos para serem utilizados em uma variedade de campos, como tecidos por exemplo (IYIGUNDOGDU et al., 2017).

Como consequência da pandemia causada pela COVID-19, desenvolver novos materiais com tecnologias inovadoras para evitar que a doença se espalhe ainda mais é uma grande preocupação do momento. Uma alternativa para lidar com a disseminação do coronavírus é a produção de tecidos com ação antiviral utilizando a tecnologia de nanorrevestimentos (TREMILIOSI et al., 2020).

Os nanorrevestimentos são utilizados para diversas aplicações de tecidos, como materiais para filtração, vestuários, tecidos médicos para curativos, implantes têxteis, substratos têxteis para crescimento celular entre outros produtos têxteis. Os nanorrevestimentos são formados em superfícies têxteis, por meio de filmes finos e nanopartículas. Eles geralmente apresentam dimensões que variam de dezenas de nanômetros até centenas de nanômetros. Propriedades de superfície como repelência a líquidos, resistência a manchas, atividade

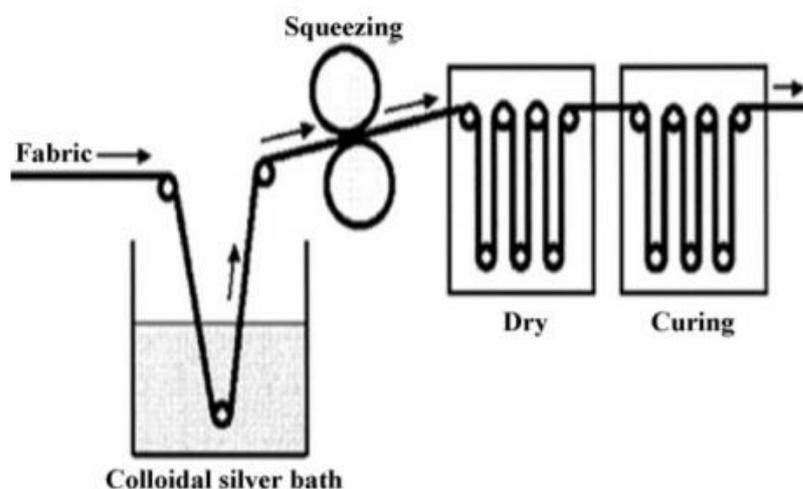
antimicrobiana, controle de odores e proteção UV podem ser adicionadas aos produtos têxteis pela aplicação de nanorrevestimentos (TESSIER, 2013).

Existem diversas técnicas para fazer nanorrevestimentos em produtos têxteis, algumas dessas técnicas de acabamento são: *pad-dry-cure*, nanossóis, dispersão polimérica, CVD e PVD (GUPTA, 2011). Para a produção de nanorrevestimentos com atividade antiviral contra o SARS-CoV-2, o método de *pad-dry-cure* foi utilizado por Tremiliosi et al., (2020) e foi capaz de produzir tecidos com capacidade de eliminar 99,99% do coronavírus em apenas 2 minutos de contato.

O método de *pad-dry-cure* é um método utilizado para dar acabamento em tecidos, fornecendo atributos específicos de acordo com o local de aplicação. Essa tecnologia é simples, confiável, produtiva e com baixo custo de manutenção. O tecido é imerso em uma solução contendo o agente que irá fornecer o atributo desejado, após isso, o tecido é seco e curado aplicando ciclos de temperatura (DELHI, 2013).

Nanopartículas metálicas podem ser dispersas em solventes para formar suspensões líquidas de nanopartículas, quando essas suspensões coagulam e floculam são chamadas de soluções coloidais, essas soluções podem ser associadas com sistemas poliméricos e aplicadas aos têxteis por enchimento, pulverização ou imersão. As nanopartículas metálicas por possuírem atividade antimicrobiana e propriedades de autodescontaminação, ao serem aplicadas em tecidos, fazem com que essas propriedades sejam transferidas para o tecido (TESSIER, 2013). A **Figura 8** é uma representação do método de *pad-dry-cure* para produção de tecido com ação antiviral utilizando nanopartículas de prata.

Figura 8 – Produção de tecido antiviral pelo método de *pad-dry-cure*



Fonte: HEBEISH et al., 2015.

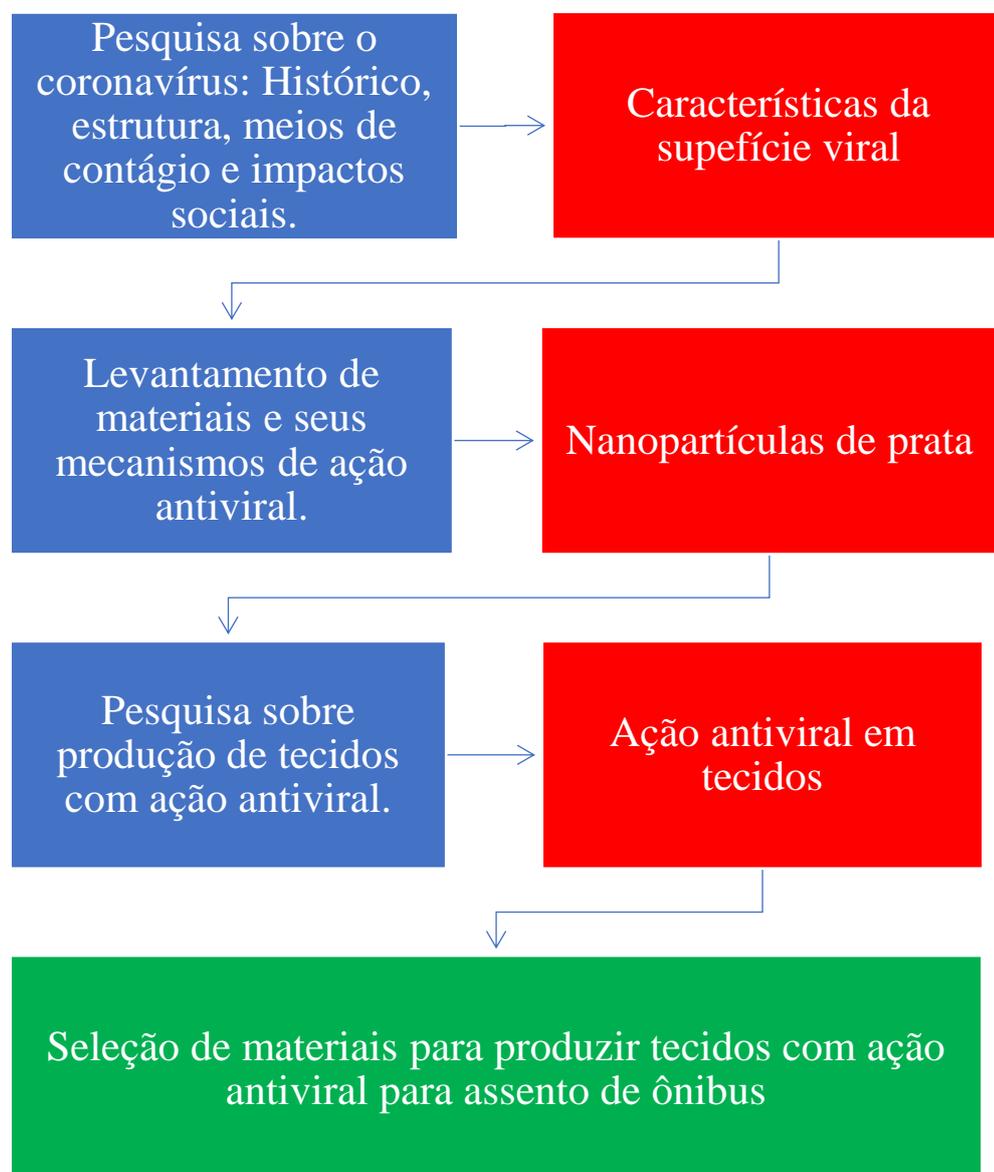
Apesar das características positivas do processo de *pad-dry-cure*, este processo apresenta algumas desvantagens. Em razão dos crescentes custos de combustível e energia, existe a necessidade de recursos para diminuir o consumo de energia na remoção de água por evaporação. Esforços tem sido direcionado em muitos desenvolvimentos na redução da quantidade de captação úmida durante o acabamento de tecidos utilizando o método de *pad-dry-cure* (DELHI, 2013).

4 METODOLOGIA

A metodologia de pesquisa aplicada a este trabalho pode ser dividida em duas etapas principais:

- Pesquisa e levantamento de dados;
- Seleção de materiais para produzir tecidos com ação antiviral.

Figura 9 – Fluxograma das etapas referentes a confecção deste trabalho



Fonte: Próprio autor, 2020.

4.1 Pesquisa e levantamento de dados

4.1.1 Coronavírus: Histórico, estrutura, meios de contágio e impactos sociais

A pesquisa sobre o coronavírus foi feita através da revisão de artigos científicos, revistas acadêmicas e organizações governamentais como a Fundação Oswaldo Cruz e a Organização Mundial da Saúde. As informações filtradas pela pesquisa tiveram como foco demonstrar características da estrutura, os meios de contágio e os impactos sociais causados pelo SARS-CoV-2, ressaltando a importância da criação de melhores equipamentos para diminuir o número de casos de COVID-19, além de demonstrar como as pessoas podem se contaminar pelo coronavírus dentro de um ônibus. Os autores que tiveram maior contribuição para a realização dessa etapa foram: (BRITANNICA ACADEMIC, 2020); (MITTAL et al., 2020); (WARNES, LITTLE, KEEVIL, 2020); (SPORTELLI et al., 2020) e (LIMA et al., 2020).

As características da superfície do coronavírus é o que torna possível a contaminação das células humanas e também a sua desativação quando em contato com materiais que possuem ação antiviral.

4.1.2 Materiais e seus mecanismos de ação antiviral

O levantamento sobre materiais e seus mecanismos de ação antiviral foi feito através da revisão de artigos científicos. As informações filtradas por esse levantamento tiveram como foco identificar materiais que possuem como característica ação antiviral contra o coronavírus, além de evidenciar seus mecanismos de ação antiviral. Os autores que tiveram maior contribuição para a realização dessa etapa foram: (SALLEH et al., 2020); (GALDIERO et al., 2011) e (SPORTELLI et al., 2020).

Dentre as nanopartículas pesquisadas, a nanopartícula de prata é o material que demonstra ter um melhor resultado contra o coronavírus, pois apresenta diversos mecanismos de ação antiviral.

4.1.3 Tecidos com ação antiviral

A pesquisa sobre a produção de tecidos com ação antiviral foi realizada através da revisão de artigos científicos e livros. As informações filtradas por essa pesquisa tiveram como foco entender os métodos utilizados para fazer com que um tecido comum se tornasse um tecido com ação antiviral, além de evidenciar a tendência crescente na produção de tecidos com essa

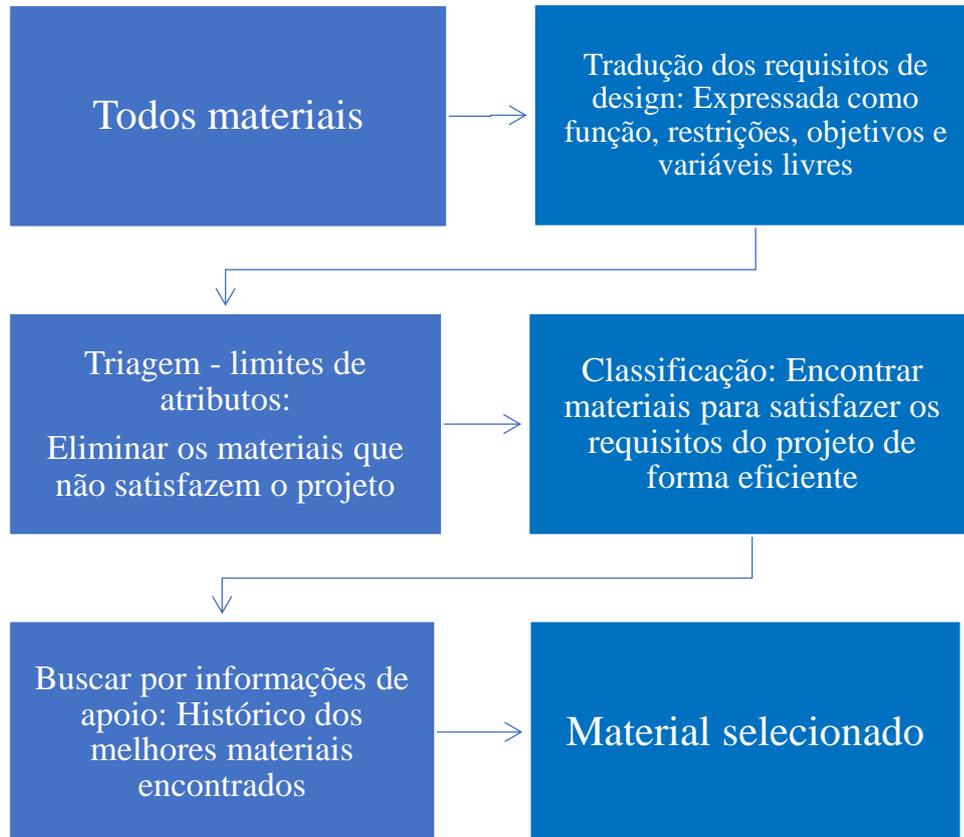
propriedade, no contexto da COVID-19. Os autores que tiveram maior contribuição para a realização dessa etapa foram: (TREMILIOSI et al., 2020); (TESSIER, 2013) e (IYIGUNDOGDU et al., 2017).

Dentre os métodos possíveis de se produzir tecidos com ação antiviral, o método de pad-dry-cure foi utilizado por Tremiliosi et al., (2020) e foi capaz de produzir tecidos com capacidade de eliminar 99.99% do coronavírus em apenas 2 minutos de contato.

4.2 Seleção de materiais para produzir tecidos com ação antiviral para assento de ônibus

Para selecionar os materiais para produzir tecidos antivirais, foi utilizado o método proposto por Ashby (2005). Conforme apontado por Ashby, materiais apresentam determinados atributos como por exemplo, custo, densidade, resistência mecânica entre outros. Para selecionar materiais para um projeto, os atributos característicos do material são os fatores principais para que seja feita uma escolha que cumpra os requisitos desse projeto. Nesse sentido, a primeira etapa de seleção de materiais é chamada de “tradução dos requisitos de design”, nesta etapa, os requisitos do projeto são analisados para verificar restrições na escolha do material. A segunda etapa é chamada da “triagem”, nesta etapa vários materiais incapazes de cumprir os requisitos do projeto são eliminados. A terceira etapa é chamada de “classificação”, nesta etapa é feita uma classificação dos materiais candidatos visando otimizar um determinado atributo para uma melhor performance. A quarta e última etapa é chamada de “busca por informações de apoio”, nesta etapa é realizado uma pesquisa sobre o histórico de aplicação dos materiais que passaram pelos filtros anteriores, para realização dessa pesquisa, são utilizadas análises de falha, estudos de caso, disponibilidade do material no mercado e custo. A **Figura 10** é um fluxograma do método para selecionar materiais proposto por Ashby.

Figura 10 – Método proposto por Ashby para seleção de materiais



Fonte: Adaptado de ASHBY, 2005.

Para selecionar materiais para produzir tecidos com ação antiviral para assento de ônibus, no contexto da COVID-19, foi utilizado o método desenvolvido por Ashby, utilizando o software CES Edupack. O primeiro passo foi determinar os atributos indispensáveis para a aplicação, para isso, os materiais do banco de dados do software foram filtrados em materiais para a produção de tecidos (apenas as fibras poliméricas, naturais e sintéticas), também foi admitido que qualquer tecido pode ser tratado com nanopartículas de prata para apresentar caráter antiviral através do método de pad-dry-cure, além disso, é necessário que o tecido apresente boa resistência a radiação ultravioleta, pois os assentos de ônibus ficam expostos ao sol. Em seguida, alguns atributos desejáveis para o produto como custo, consumo de água na produção primária, pegada de CO₂ na produção primária, consumo de energia para produção de tecido e biodegradabilidade foram definidos.

Para a avaliação desses atributos, utilizando o software CES Edupack foram feitos diagramas do atributo em função do custo dos materiais. Como a aplicação das capas antivirais

serão para assento de ônibus, serão necessárias diversas unidades do produto, nesse sentido, o custo é um fator extremamente relevante.

Em cada avaliação, os índices de mérito foram calculados, descrevendo os atributos como equações matemáticas. Os resultados dessas equações foram analisados de forma que, quanto maior o índice de mérito, mais apto o material é para a aplicação.

De acordo com as informações obtidas pela confecção dos diagramas e dos valores de índice de mérito, uma lista com os melhores materiais selecionados foi elaborada para cada atributo analisado e ao final, foi feita uma lista com o somatório dos índices de mérito para assim selecionar o material que melhor atende os atributos escolhidos. Após essa seleção, esse material foi comparado com materiais que já foram utilizados para produzir capas para assentos, com a intenção de verificar se possuem propriedades parecidas aos produtos que estão estabelecidos no mercado.

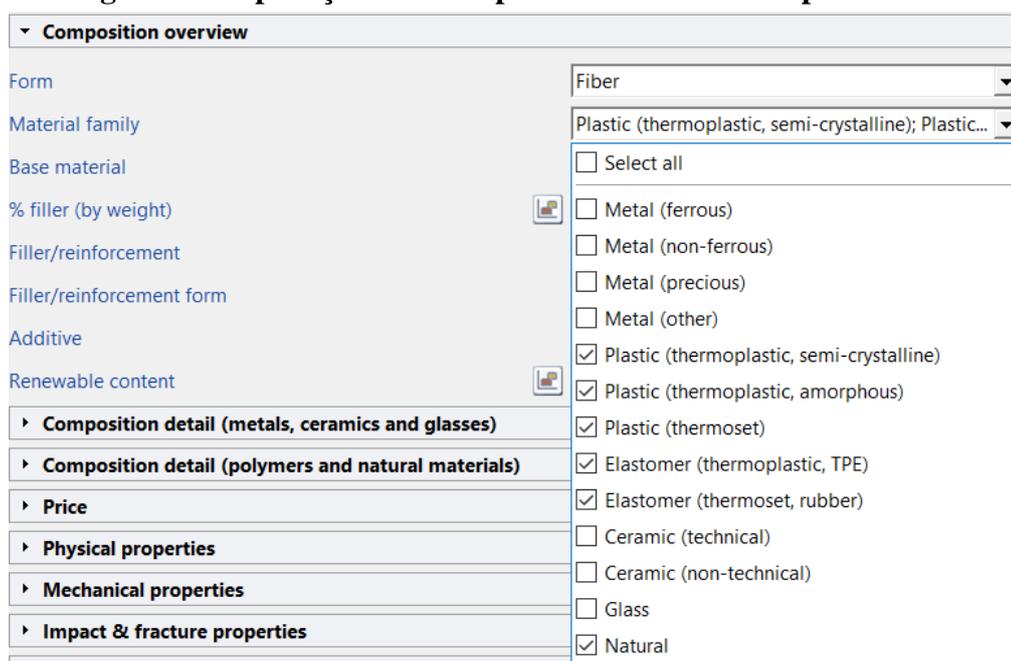
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Atributos indispensáveis

5.1.1 Filtro – Materiais para produção de tecido

O primeiro atributo indispensável para o projeto é a forma e a família de material, visando a possibilidade de produção de tecidos com esses materiais. Dos 4032 materiais presentes no banco de dados do software CES Edupack, apenas 23 passaram no filtro para a produção de tecidos. O filtro foi aplicado utilizando a forma e a família do material, fibras de polímeros (naturais e sintéticos). A **Figura 11** é a aplicação do filtro para selecionar fibras poliméricas.

Figura 11 - Aplicação do filtro para selecionar fibras poliméricas.



Fonte: Próprio autor, 2021.

Como apontado pela Figura 11, dos 4032 materiais presentes no banco de dados do software CES Edupack que passaram pelo filtro que selecionava materiais de acordo com a forma (fibras) e a família de materiais (Polímeros sintéticos e naturais), sobraram apenas 23 materiais.

5.1.2 Resistência a radiação UV

O segundo e último atributo indispensável avaliado foi a resistência a radiação ultravioleta. A partir deste atributo, é possível expressar o primeiro índice de mérito do projeto

e além disso, eliminar alguns materiais. O índice de mérito é diretamente proporcional a resistência a radiação UV, ou seja, quanto maior a resistência a radiação UV de um material, maior será seu índice de mérito. Dessa forma:

$$IM_1 = \text{Resistência a radiação UV} \quad (1)$$

Assim, foi obtido o diagrama da resistência a radiação UV (**Figura 12**), considerando os materiais obtidos previamente no filtro de forma e família.

Figura 12 – Diagrama da resistência a radiação UV

Excelente	0
Boa	13
Regular	6
Baixa	4

Fonte: Próprio autor, 2021.

Como este atributo é avaliado qualitativamente é necessário atribuir pesos para cada setor do diagrama, os pesos para cada setor são encontrados na **Tabela 2** abaixo:

Tabela 2– Peso dos setores do diagrama

Resistência a radiação UV	Peso
Excelente	-
Boa	2
Regular	1
Baixa	-

Fonte: Próprio autor, 2021.

Não é necessário atribuir peso para os setores “Excelente” e “Baixa”, pois nenhum material, dentre os materiais previamente filtrados, apresenta resistência a radiação UV excelente e os que apresentam baixa resistência a UV foram descartados, pois não cumprem o requisito do projeto. Os materiais que atendem os requisitos do projeto são encontrados na **Tabela 3**, juntamente com seus valores de índices de mérito (IM₁).

Tabela 3 – Materiais e os seus respectivos valores de Índices de Mérito (IM₁)

	Material	Resistência a radiação UV	IM ₁
1	Fibra Acrílica	Boa	2
2	Fibra de Polietileno 900	Boa	2
3	Fibra de Polietileno 1000	Boa	2
4	Fibra de Sisal	Boa	2
5	Fibra de Coco	Boa	2
6	Fibra de Rami	Boa	2
7	Fibra de Kenaf	Boa	2
8	Fibra de Kevlar 49 e Aramida	Boa	2
9	Fibra de Poliéster	Boa	2
10	Fibra de Poliarilato	Boa	2
11	Fibra de Linho	Boa	2
12	Fibra de Cânhamo	Boa	2
13	Fibra de Juta	Boa	2
14	Fibra de Kevlar 29 e Aramida	Regular	1
15	Fibra de Kevlar 149 e Aramida	Regular	1
16	Fibra de Polipropileno	Regular	1
17	Fibra de Algodão	Regular	1
18	Fibra de PLA	Regular	1
19	Fibra de Poliamida	Regular	1

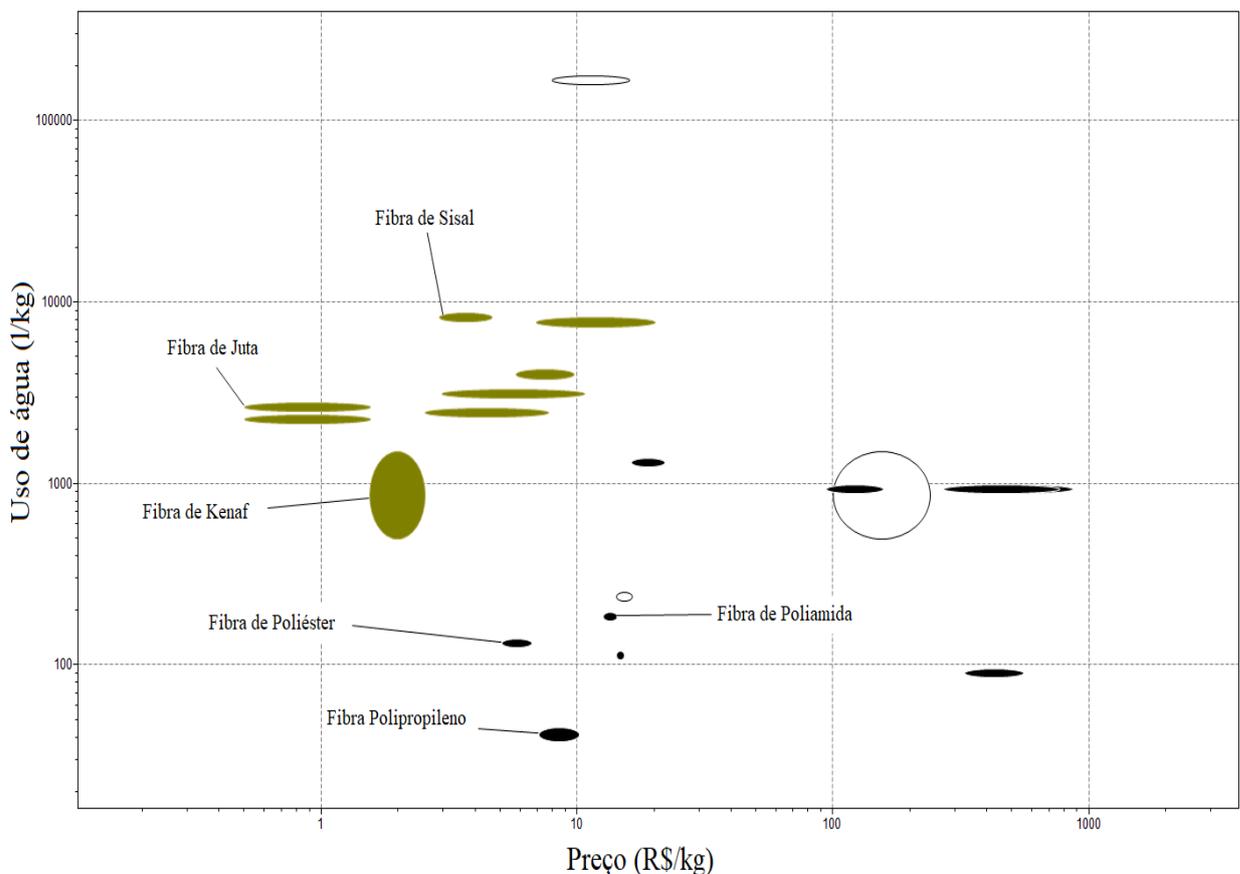
5.2 Atributos Desejáveis

Os atributos desejáveis foram avaliados em função do preço dos materiais. Apesar do preço não ser um atributo indispensável para a funcionalidade do projeto, é um atributo de extrema importância, visto que várias capas antivirais seriam necessárias para a aplicação desejada.

5.2.1 Consumo de água na produção primária

O atributo “consumo de água na produção primária” é um atributo desejável, pois avalia um viés ecológico para a produção de tecidos. Para avaliar este atributo, o diagrama do uso de água na produção primária (l/kg) em função do preço do material (R\$/kg) foi feito em escala logarítmica para os 19 materiais previamente filtrados, evidenciado pelo diagrama da **Figura 13**.

Figura 13 – Uso de água na produção primária em função do preço do material



Fonte: Próprio autor, 2021.

Para obter o segundo índice de mérito, pensando em um viés ecológico e num menor custo, quanto menor o uso de água e quanto menor o preço do material, maior é o índice de

mérito, ou seja, o índice de mérito é inversamente proporcional a esses atributos. Assim, a equação do segundo índice de mérito foi estabelecida da seguinte forma:

$$IM_2 = \frac{1}{Custo} \times \frac{1}{Uso\ de\ água} \quad (2)$$

O software CES Edupack apresenta os valores de custo e de uso de água na produção primária para cada material em intervalos, por esse motivo, foi feita uma média entre o maior e o menor valor do intervalo. Os materiais e seus respectivos índices de mérito são encontrados na **Tabela 4**.

Tabela 4 – Materiais e seus respectivos valores de índices de mérito (IM₂)

	Material	Uso de água(l/kg)	Custo(R\$/kg)	IM ₂
1	Fibra de Polipropileno	41,5	8,66	0,00278
2	Fibra de Poliéster	133	5,845	0,00129
3	Fibra Acrílica	114,5	14,75	0,00059
4	Fibra de Kenaf	1000	2,04	0,00049
5	Fibra de Coco	2300	1,021	0,00043
6	Fibra de Poliamida	185	13,45	0,0004
7	Fibra de Juta	2675	1,021	0,00036
8	Fibra de Cânhamo	2500	5,135	7,79x10 ⁻⁵
9	Fibra de Linho	3150	6,785	4,68x10 ⁻⁵
10	Fibra de PLA	1315	19,1	3,98x10 ⁻⁵
11	Fibra de Rami	4020	7,72	3,22x10 ⁻⁵
12	Fibra de Sisal	8295	3,76	3,21x10 ⁻⁵
13	Fibra de Polietileno 900	90,55	440	2,51x10 ⁻⁵
14	Fibra de Polietileno 1000	90,55	440	2,51x10 ⁻⁵
15	Fibra de Algodão	7800	13,52	9,48x10 ⁻⁶

16	Fibra de Kevlar 29 e Aramida	940	125,65	$8,47 \times 10^{-6}$
17	Fibra de Kevlar 49 e Aramida	940	517,5	$2,06 \times 10^{-6}$
18	Fibra de Kevlar 149 e Aramida	940	604	$1,76 \times 10^{-6}$
19	Fibra de Poliarilato	-	150	-

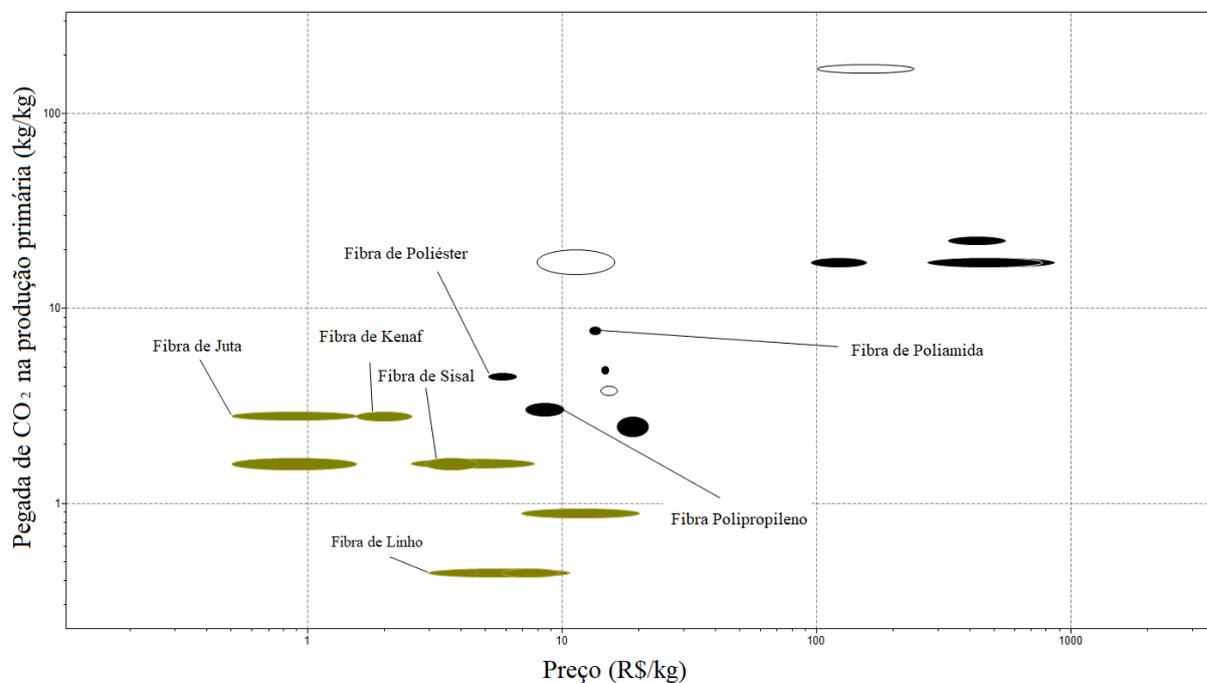
Fonte: Próprio autor, 2021.

Não foi possível calcular o IM_2 para a Fibra de Poliarilato pois o software não apresentou valores do uso de água na produção primária para este material, portanto esta fibra foi descartada da seleção.

5.2.2 Pegadas de CO_2 na produção primária

O próximo atributo analisado foi a pegada (emissão) de CO_2 na produção primária. Este também é um atributo desejável de viés ecológico para a produção de tecidos. Para avaliar este atributo, o diagrama das pegadas de CO_2 na produção primária em função do preço do material foi elaborado em escala logarítmica para os materiais previamente filtrados de acordo com o diagrama da **Figura 14**.

Figura 14 – Pegada de CO_2 na produção primária em função do preço do material



Fonte: Próprio autor, 2021.

Para obter o terceiro índice de mérito, pensando em um viés ecológico e num menor custo, quanto menor a pegada de CO₂ e quanto menor o preço do material, maior é o índice de mérito, ou seja, o índice de mérito é inversamente proporcional a esses atributos. Assim, a equação do terceiro índice de mérito foi estabelecida da seguinte forma:

$$IM_3 = \frac{1}{Custo} \times \frac{1}{Emissão\ de\ CO_2\ na\ Produção} \quad (3)$$

O software CES Edupack apresenta os valores de custo e da pegada de CO₂ na produção primária para cada material em intervalos, por esse motivo, foi feita uma média entre o maior e o menor valor do intervalo. Os materiais e seus respectivos índices de mérito são encontrados na **Tabela 5**.

Tabela 5 - Materiais e seus respectivos valores de índices de mérito (IM₃)

	Material	Emissão de CO ₂ (kg/kg)	Custo(R\$/kg)	IM ₃
1	Fibra de Coco	1,6	1,021	0,61214
2	Fibra de Juta	2,805	1,021	0,34917
3	Fibra de Linho	0,44	6,785	0,33496
4	Fibra de Rami	0,44	7,72	0,29439
5	Fibra de Kenaf	2,805	2,04	0,17475
6	Fibra de Sisal	1,6	3,76	0,16622
7	Fibra de Cânhamo	1,6	5,135	0,12171
8	Fibra de Algodão	0,895	13,52	0,08264
9	Fibra de Poliéster	4,5	5,845	0,03802
10	Fibra de Polipropileno	3,05	8,66	0,03786
11	Fibra de PLA	2,5	19,1	0,02094
12	Fibra Acrílica	4,85	14,75	0,01398
13	Fibra de Poliamida	7,7	13,45	0,00966

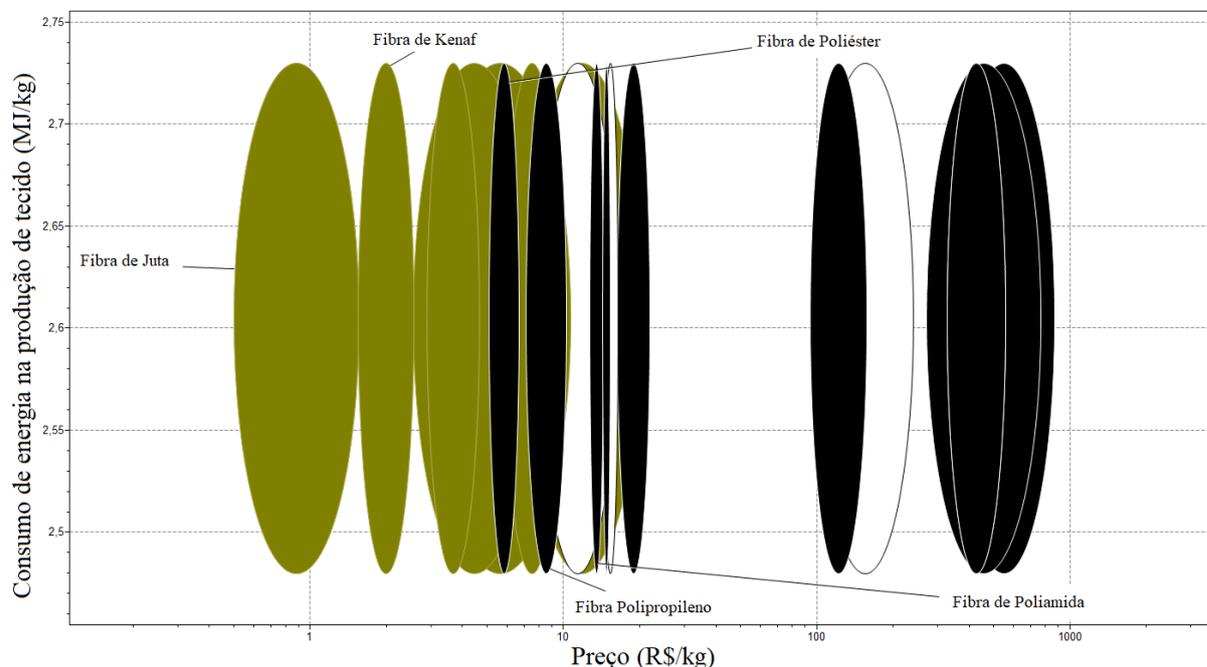
14	Fibra de Kevlar 29 e Aramida	17,3	125,65	0,00046
15	Fibra de Polietileno 900	22,4	440	0,00011
19	Fibra de Kevlar 49 e Aramida	17,3	517,5	0,00011
17	Fibra de Polietileno 1000	22,4	440	0,0001
18	Fibra de Kevlar 149 e Aramida	17,3	604	$9,57 \times 10^{-5}$

Fonte: Próprio autor, 2021.

5.2.3 Consumo de energia na produção de tecido

O próximo atributo analisado foi o consumo de energia na produção de tecido. Este também é um atributo desejável para produção de tecidos, pois quanto menos energia for utilizada mais barato é o processo. Para avaliar este atributo, o diagrama do consumo de energia na produção de tecido (MJ/kg) em função do preço do material (R\$/kg) foi elaborado para os materiais previamente filtrados de acordo com a **Figura 15**.

Figura 15 – Diagrama da energia na produção de tecido em função do preço do material



Fonte: Próprio autor, 2021.

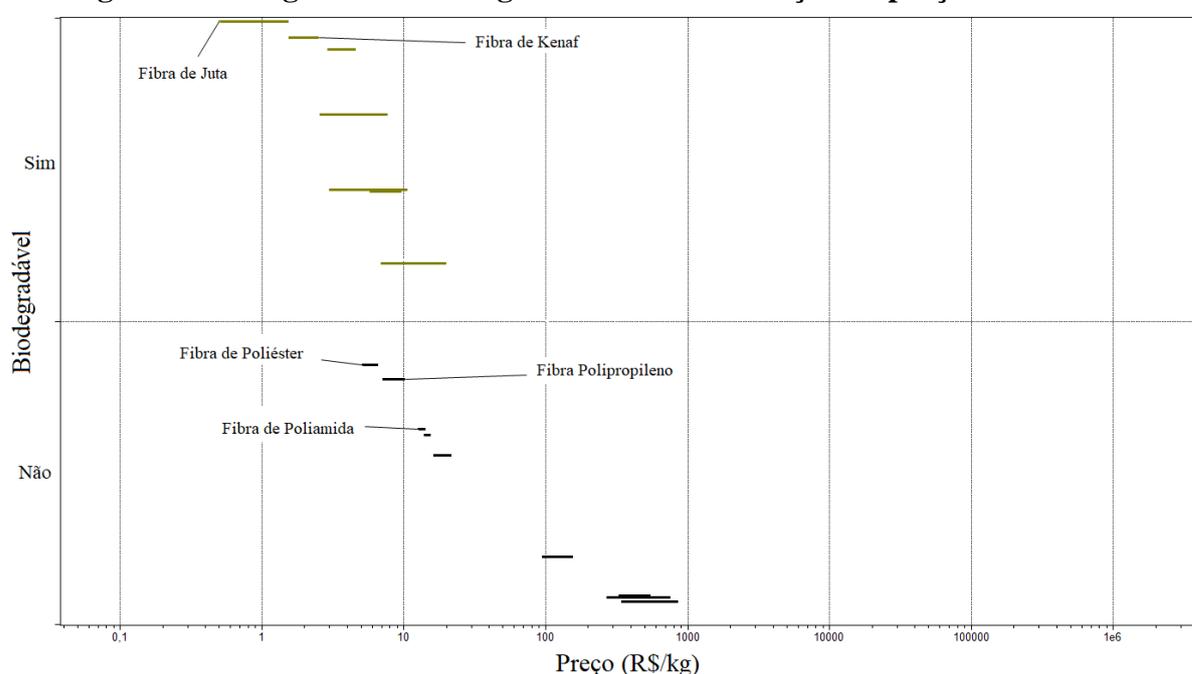
De acordo com o diagrama da Figura 16 e com as informações obtidas no software CES Edupack, a média do consumo de energia gasta para produzir tecidos com as fibras previamente filtradas é o mesmo (2,605 MJ/kg), o que varia no diagrama é o preço de cada material. Dessa forma, como o preço já é um parâmetro de análise em outros diagramas, o cálculo do índice de

mérito para o consumo de energia na produção de tecido em função do preço do material não foi realizado.

5.2.4 Biodegradabilidade

O último atributo analisado foi a biodegradabilidade. Este parâmetro também é um atributo desejável para a produção de tecidos, pois tem relação com a durabilidade do material. Para avaliar este atributo, o diagrama da biodegradabilidade em função do preço do material (R\$/kg) foi elaborado para os materiais previamente filtrados de acordo com a **Figura 16**.

Figura 16 – Diagrama da biodegradabilidade em função do preço do material



Fonte: Próprio autor, 2021.

Como a biodegradabilidade é avaliada qualitativamente, para calcular o índice de mérito, é necessário atribuir pesos para cada setor do diagrama, os pesos para cada setor são encontrados na **Tabela 2** abaixo:

Tabela 6 – Peso dos setores do diagrama

Biodegradável	Peso
Sim (menor durabilidade)	1
Não (maior durabilidade)	10

Fonte: Próprio autor, 2021.

Para obter o quarto e último índice de mérito, pensando na durabilidade do material e num menor custo, quanto mais durável e quanto menor o preço do material, maior é o índice de mérito, ou seja, o índice de mérito é diretamente proporcional a durabilidade e inversamente proporcional ao custo. Assim, a equação do quarto índice de mérito foi estabelecida da seguinte forma:

$$IM_4 = \frac{\text{Durabilidade}}{\text{Custo}} \quad (4)$$

O software CES Edupack apresenta os valores de custo para cada material em intervalos, por esse motivo, foi feita uma média entre o maior e o menor valor do intervalo. Os materiais e seus respectivos índices de mérito são encontrados na **Tabela 7**.

Tabela 7 - Materiais e seus respectivos valores de índices de mérito (IM₄)

	Material	Durabilidade	Custo(R\$/kg)	IM ₄
1	Fibra de Poliéster	10	5,845	1,71086
2	Fibra de Polipropileno	10	8,66	1,15473
3	Fibra de Coco	1	1,021	0,97943
4	Fibra de Juta	1	1,021	0,97943
5	Fibra de Poliamida	10	13,45	0,74349
6	Fibra Acrílica	10	14,75	0,67797
7	Fibra de PLA	10	19,1	0,52356
8	Fibra de Kenaf	1	2,04	0,4902
9	Fibra de Sisal	1	3,76	0,26596
10	Fibra de Cânhamo	1	5,135	0,19474
11	Fibra de Linho	1	6,785	0,14738
12	Fibra de Rami	1	7,72	0,12953
13	Fibra de Kevlar 29 e Aramida	10	125,65	0,07959

14	Fibra de Algodão	1	13,52	0,07396
15	Fibra de Polietileno 900	10	440	0,02273
19	Fibra de Polietileno 1000	10	440	0,02273
17	Fibra de Kevlar 49 e Aramida	10	517,5	0,01932
18	Fibra de Kevlar 149 e Aramida	10	604	0,01656

Fonte: Próprio autor, 2021.

5.3 Seleção final

Após determinar os índices de mérito do projeto, foi realizado um somatório dos valores encontrados, de acordo com a **Tabela 8**. Através desse somatório é possível determinar o material que apresenta o maior somatório dos índices de mérito e por consequência o material que melhor atende os requisitos propostos ao projeto.

Tabela 8 – Somatório dos índices de mérito do projeto

Material	IM ₁	IM ₂	IM ₃	IM ₄	Somatório
Fibra de Poliéster	2	0,00129	0,03802	1,71086	3,7502
Fibra de Coco	2	0,00043	0,61214	0,97943	3,5920
Fibra de Juta	2	0,00036	0,34917	0,97943	3,3290
Fibra Acrílica	2	0,00059	0,01398	0,67797	2,6925
Fibra de Kenaf	2	0,00049	0,17475	0,4902	2,6654
Fibra de Linho	2	4,68x10 ⁻⁵	0,33496	0,14738	2,4824
Fibra de Sisal	2	3,21x10 ⁻⁵	0,16622	0,26596	2,4322
Fibra de Rami	2	3,22x10 ⁻⁵	0,29439	0,12953	2,4240
Fibra de Cânhamo	2	7,79x10 ⁻⁵	0,12171	0,19474	2,3165
Fibra de Polipropileno	1	0,00278	0,03786	1,15473	2,1954
Fibra de Polietileno 900	2	2,51x10 ⁻⁵	0,00011	0,02273	2,0229
Fibra de Polietileno 1000	2	2,51x10 ⁻⁵	0,0001	0,02273	2,0229

Fibra de Kevlar 49 e Aramida	2	$2,06 \times 10^{-6}$	0,00011	0,01932	2,0194
Fibra de Poliamida	1	0,0004	0,00966	0,74349	1,7536
Fibra de PLA	1	$3,98 \times 10^{-5}$	0,02094	0,52356	1,5445
Fibra de Algodão	1	$9,48 \times 10^{-6}$	0,08264	0,07396	1,1566
Fibra de Kevlar 29 e Aramida	1	$8,47 \times 10^{-6}$	0,00046	0,07959	1,0801
Fibra de Kevlar 149 e Aramida	1	$1,76 \times 10^{-6}$	$9,57 \times 10^{-5}$	0,01656	1,0167

Fonte: Próprio autor, 2021.

Após somar os valores dos índices de mérito de cada atributo, foi possível verificar que o material mais indicado para a produção de tecido de acordo com os atributos escolhidos para o projeto é o poliéster. Os motivos principais que levaram o poliéster a ter o maior índice de mérito foram: O seu preço, que quando comparado a outros polímeros sintéticos não é tão elevado. A sua resistência a radiação ultravioleta, que é classificada como boa. E por último a sua durabilidade, fato que fez com que esse material apresentasse maior somatório de índice de mérito que diversas fibras naturais.

6 CONCLUSÃO

Utilizando o método proposto por Ashby (2005) juntamente com o banco de dados do software CES Edupack, foi possível selecionar materiais para o projeto da capa antiviral para assento de ônibus no contexto da COVID-19.

De acordo com o somatório dos valores dos índices de mérito encontrados para cada atributo, o poliéster foi o material que melhor atendeu as exigências do projeto. O poliéster atingiu o maior valor do somatório dos índices de mérito principalmente por apresentar boa resistência a radiação ultravioleta, não ser um material biodegradável e pelo seu preço, que não é tão elevado. Além disso, o poliéster é um material que já é amplamente utilizado na produção de tecidos e através do método de pad-dry-cure, poderia facilmente ser utilizado para a produção de tecidos antivirais.

As fibras de coco e de juta foram os materiais que apresentam respectivamente o segundo e o terceiro maior valor do somatório dos índices de mérito por serem materiais baratos quando comparados com os outros candidatos. Estes materiais por apresentarem um custo extremamente baixo, também poderiam ser utilizados para a produção de tecidos antivirais, mas por serem materiais biodegradáveis apresentam uma baixa durabilidade quando comparados com polímeros sintéticos.

Por fim, é importante destacar que todos os materiais presentes na **Tabela 8** poderiam ser utilizados para produzir tecidos com ação antiviral através do método de pad-dry-cure e que para uma aplicação diferente da proposta neste trabalho, com outros índices de mérito, diferentes resultados seriam encontrados.

7 REFERÊNCIAS

ASHBY, Michael. **Materials Selection in Mechanical Design**. 3. ed. Reino Unido: Elsevier Butterworth Heinemann, 2005.

CHEN, S. Coronavirus can travel twice as far as official ‘safe distance’ and stay in air for 30 minutes. **South China Morning Post**, Beijing, mar. 2020. Disponível em: <https://www.scmp.com/news/china/science/article/3074351/coronavirus-can-travel-twice-far-official-safe-distance-and-stay>. Acesso em: 11 out. 2020.

CORONAVIRUS evolution. **Innovative Genomics Institute**, California, jul. 2020. Disponível em: <https://innovativegenomics.org/covid-19-research-projects>. Acesso em: 21 out. 2020

CORONAVIRUS virus group. **Britannica Academic Encyclopedia**, Reino Unido, ago. 2020. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/coronavirus-virus-group>. Acesso em: 29 ago. 2020.

DELHI, Tuiy. Application technologies for coating, lamination and finishing of technical textiles. **Indian Institute of Technology**, India, p. 335-441, 17 aug. 2013.

GALDIERO, S.; FALANGA, A.; Vitiello, M.; CANTISANI, M.; MARRA, V.; GALDIERO, M. Silver Nanoparticles as Potential Antiviral Agents. **Molecules**, Italia, p. 8894–8918, 24 out. 2011.

GRADY, M. Certificate of Analysis of Silver Nanoparticles. **Sigma-Aldrich**, França, p. 1–3, jan. 2007.

GUPTA, D. Emerging techniques for functional finishing of textiles. **Indian Journal of Fiber & Textile Research**, India, v. 36, p. 388–397, dec. 2011.

HEBEISH, A.; EL-NAGGAR, M.; FOUDA, M.; RAMADAN, A.; SALEM, S.; RAFIE, E. Highly effective antibacterial textiles containing green synthesized silver nanoparticles. **Carbohydrate Polymers**, Arabia Saudita, v. 86, n. 2, p. 936–940, 2015.

IBOLD, S.; MEDIMORECK, N.; WAGNER, A.; PLATZER, L. O surto de COVID-19 e suas implicações para o transporte público sustentável: algumas considerações. **TUMI - TRANSFORMATIVE URBAN MOBILITY INICIATIVE**, Rio de Janeiro, mar. 31. Disponível em: <https://www.transformative-mobility.org/news/o-surto-de-covid-19-e-suas->

implica% C3%A7%C3%B5es-para-o-transporte-p% C3%BAblico-sustent% C3%A1vel-
algumas-considera% C3%A7%C3%B5es. Acesso em: 23 out. 2020.

IYIGUNDOGDU, Z.; DEMIR, O.; ASUTAY, A.; SAHIN, F. Developing Novel Antimicrobial and Antiviral Textile Products. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, India, v. 181, n. 3, p. 1155–1166, 2017.

JARACH, N.; DODIUK, H.; KENIG, S. Polymers in the medical antiviral front-line. **Polymers**, Isreal, v. 12, n. 8, p. 1-30, 31 jul. 2020.

LIMA, G.; SCHECHTMAN, R.; BRIZON, L.; FIGUEIREDO, M. Transporte público e COVID-19. **Centro de Estudos em Regulação e Infraestrutura da Fundação Getúlio Vargas (FGV CERJ)**, Rio de Janeiro, p. 1-29, 2020.

MITTAL, A.; MANJUNATH, K.; RANJAN, R.; KAUSHIK, S.; KUMAR, S.; VERMA, V. COVID-19 pandemic : Insights into structure , function , and hACE2 receptor recognition by SARS-CoV-2. **Plos Pathogens**, India, p. 1–19, 2020.

PEMMADA, R.; ZHU, X.; DASH, M.; ZHOU. Y.; RAMAKRISHNA, S.; PENG, X.; THOMAS, V.; JAIN, S.; NANDA, H. Science-Based Strategies of Antiviral Coatings with Viricidal Properties for the COVID-19 Like Pandemics. **MDPI Materials**, China, p. 1–18, 11 set. 2020.

PEREIRA, Gislaine. Materiais e Processos Têxteis. **Instituto Federal de Ciência e Tecnologia**, Santa Catarina, p. 1-94, 2009.

SALLEH, A.; NAOM, R.; UTAMI, N.; MOHAMMAD, A.; MAHMOUDI, E.; MUSTAFA, N.; FAUZI, M. The Potential of Silver Nanoparticles for Antiviral and Antibacterial Applications : A Mechanism of Action. **MDPI Nanomaterials**, Malásia, p. 1-20, 9 ago. 2020.

SANTOS, R. V.; PONTES, A. L.; COIMBRA JR., C. Um “fato social total”: COVID-19 e povos indígenas no Brasil. **CSP - Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 36, n. 10, p. 1–5, 2020.

SARKAR, S. Silver Nanoparticles with Bronchodilators through Nebulisation to Treat Covid 19 Patients. **Journal of Current Medical Research and Opinion**, India, v. 03, n. 04, p. 489–450, 22 abr. 2020.

SPORTELLI, M.; IZZI, M.; KAKUSHKINA, E.; HOSSAIN, S.; PICCA, R.; DITARANTO, N.; CIOFFI, N. Can Nanotechnology and Materials Science Help the Fight against SARS-CoV-2 ?. **MPDI Nanomaterials**, Itália, p. 1–12, 21 abr. 2020.

TESSIER, D. Surface modification of biotextiles for medical applications. **Woodhead Publishing**, Canadá, p. 137-156, 2013.

TREMILIOSI, G.; SIMOES, L.; MINOZZI, D.; SANTOS, R.; VILELA, D.; DURIGON, E.; GUARAGNA, R.; MEDINA, D.; RIBEIRO, L.; ROSA, I.; ASSIS, M.; ANDRES, J.; LONGO, E.; FREITAS, L. Ag nanoparticles-based antimicrobial polycotton fabrics to prevent the transmission and spread of SARS-CoV-2. **Nanox Tecnologia**, São Carlos, p. 1-19, 26 jun. 2020.

UDDIN, F. Textile Manufacturing Processes. **Intech Open**, India, p. 1-14, 28 ago. 2019.

WAN, Y.; SHANG, J.; GRAHAM, R.; BARIC, R.; LI, F. Receptor Recognition by the Novel Coronavirus from Wuhan : an Analysis Based on Decade-Long Structural Studies of SARS Coronavirus. **American Society For Microbiology - Journal of Virology**, EUA, p. 1–9, 17 mar. 2020.

WARNES, S. L.; LITTLE, Z. R.; KEEVIL, C. W. Human Coronavirus Remains Infectious on Common Touch Surface Materials. **UK Centre for Biological Science**, Reino Unido, v. 6, n. 6, p. 1–10, 2020.