

# As potencialidades do grafeno para os designers têxteis de amanhã

## Victoria Pires Zanon

Bacharelanda em Moda - Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)  
E-mail: [victoria.zanon@hotmail.com](mailto:victoria.zanon@hotmail.com) | ORCID: [0000-0002-3829-8952](https://orcid.org/0000-0002-3829-8952)

## Valdecir Babinski Júnior

Doutorando em Design - Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)  
E-mail: [vj.babinski@gmail.com](mailto:vj.babinski@gmail.com) | ORCID: [0000-0002-5298-4756](https://orcid.org/0000-0002-5298-4756)

## Sérgio Henrique Pezzin

Doutor em Química - Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)  
E-mail: [sergio.pezzin@udesc.br](mailto:sergio.pezzin@udesc.br) | ORCID: [0000-0002-5667-1968](https://orcid.org/0000-0002-5667-1968)

## Resumo

A inovação têxtil acompanha o desenvolvimento da sociedade ocidental desde a Revolução Industrial. No presente, acredita-se que ela demanda dos designers têxteis a lida com nanomateriais. A partir desse ponto de vista, esta pesquisa tem como objetivo discutir as potencialidades do grafeno, no âmbito da inovação têxtil. Para tanto, além de uma revisão bibliográfica, narrativa e assistemática, entrevistou-se um especialista na produção do grafeno. Como resultado, observou-se que as potencialidades do material podem ser organizadas em dois grupos: (I) enquanto revestimento para o beneficiamento têxtil; e (II) como componente junto às fibras têxteis. A partir da pesquisa realizada, conclui-se que o grafeno consiste em um material promissor para as indústrias têxteis e de confecção e, conseqüentemente, para os designers têxteis de amanhã.

**Palavras-chaves:** Design têxtil; Materiais têxteis; Grafeno; Inovação têxtil; Nanomateriais.

**Recebido em:** 15/11/2022 | **Aceito em:** 27/12/2022 | **Publicado em:** 31/12/2022

Versão: 1 | DOI: <https://doi.org/10.35818/redesign.v1i1.1151>

Este artigo está licenciado sob a Licença Creative Commons ([CC BY NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)) que permite a adaptação e compartilhamento do trabalho desde que haja o reconhecimento da autoria e publicação inicial nesta revista.

## Como Citar:

ZANON, Victoria Pires; BABINSKI JÚNIOR, Valdecir; PEZZIN, Sérgio Henrique. As potencialidades do grafeno para os designers têxteis de amanhã. **[re]Design**, v. 1, n. 1, p. 99-111, 2022. DOI: 10.35818/redesign.v1i1.1151

## ***Graphene's potential for the textile designers of tomorrow***

### ***Abstract***

*Textile innovation has followed the development of Western society since the Industrial Revolution. At present, it is believed that it demands from textile designers to deal with nanomaterials. From this point of view, the present research aims to discuss the potential of graphene in the context of textile innovation. In addition to a narrative and unsystematic literature review, an expert in the production of graphene was interviewed. As a result, it was observed that the potential of the material can be organized into two groups: (I) as a coating for textile processing; and (II) as a component into textile fibers. From the research carried out, it is concluded that graphene is a promising material for the textile and clothing industries and, consequently, for the textile designers of tomorrow.*

**Keywords:** *Textile design; Textile materials; Graphene; Textile innovation; Nanomaterials.*

## ***El potencial del grafeno para los diseñadores textiles del futuro***

### ***Resumen***

*La innovación textil ha acompañado el desarrollo de la sociedad occidental desde la Revolución Industrial. En la actualidad, se cree que ella exige a los diseñadores textiles que se ocupen de los nanomateriales. Desde este punto de vista, esta investigación pretende debatir el potencial del grafeno en el contexto de la innovación textil. Para ello, se realizó una revisión bibliográfica, narrativa y asistemática, y se entrevistó a un experto en la producción de grafeno. Como resultado, se observó que las potencialidades del material pueden organizarse en dos grupos: (I) como recubrimiento para el procesamiento textil; y (II) como componente junto con las fibras textiles. De la investigación realizada se concluye que el grafeno es un material prometedor para la industria textil y de la confección y, por tanto, para los diseñadores textiles del futuro.*

**Palabras claves:** *Diseño textil; Materiales textiles; Grafeno; Innovación textil; Nanomateriales.*

## 1. Introdução

Carro-chefe na Revolução Industrial (1760-1840), a inovação nas indústrias têxteis e de confecção acompanhou o desenvolvimento da sociedade ocidental e subsidiou a produção em massa de artigos têxteis e peças de vestuário. Além de transformar a artesanaria em manufatura, ao longo da história, a inovação têxtil esteve presente no avanço tecnológico e científico que permitiu aos indivíduos conquistar melhores condições de vida. No tempo presente, ela impulsiona designers têxteis a pesquisarem novas possibilidades de materiais com base na nanotecnologia (SOUZA, 2019).

Para Souza (2019, p. 40), “a nanotecnologia na moda significa a manipulação de matérias com dimensões do tamanho de átomos ou moléculas, para ser aplicados às fibras ou fios formando estruturas têxteis com diferentes propriedades”. Segundo a autora, as nanopartículas que podem ser empregadas pelas indústrias têxteis e de confecção na produção de artigos inovadores têm como função a criação de produtos que, além de vestir e proteger, podem ter propriedades adicionais, como a capacidade de monitorar o usuário ou localizá-lo, geograficamente.

Na visão de Zarbin e Oliveira (2013), entre os nanomateriais mais tecnológicos estão os nanotubos de carbono — identificados pela sigla NTC — e o grafeno, objeto de estudo desta pesquisa. Os autores defendem o grafeno como um nanomaterial único com propriedades extraordinárias. Do ponto de vista de sua estrutura, Vieira Segundo e Vilar (2016) citam que o grafeno consiste em uma folha plana de átomos de carbono, sendo seu alótropo mais recente. Conforme os autores, o material que se apresenta em uma camada monoatômica tem diversas características que superam os materiais convencionais:

[...] sua estrutura eletrônica resulta em propriedades que traduzem uma resistência maior do que a do aço, mobilidade eletrônica mais elevada que o silício, condutividade térmica mais alta que o cobre, área superficial maior que a observada para o grafite e ainda [se trata de] um material mais leve que tantos outros (VIEIRA SEGUNDO; VILAR, 2016, p. 54).

Vieira Segundo e Vilar (2016) e Silva (2019) comentam que essas propriedades foram descobertas por volta de 2004 por Andre Geim e Konstantin Novoselov, estudiosos e pesquisadores da Universidade de Manchester, no Reino Unido (UK). Essa descoberta rendeu aos acadêmicos o prêmio Nobel de Física, em 2010, e foi importante para determinar as formas gráficas do carbono, em especial, os formatos fulereno, nanotubo e grafite. Ademais, a descoberta deu ao grafeno o título de “[...] material mais fino já conhecido e o mais forte já medido no universo [...]” (VIEIRA SEGUNDO; VILAR, 2016, p. 55).

Para se ter uma percepção apurada do quão fino e resistente o grafeno pode ser, Neves (2018, p. 21-22) esclarece que se trata do “[...] material mais forte até agora descoberto (200 vezes mais forte que o aço), mas também o mais fino (um milhão de vezes mais fino do que o nosso cabelo) [...]”. A autora também salienta que o grafeno tem condições favoráveis para a condução de eletricidade e de calor, sendo ainda impermeável, transparente, flexível e elástico. Por essas razões, Silva (2019, p. 17) afirma que “o grafeno possui fenomenal propriedade estrutural, elétrica e mecânica [...]”.

Dessa forma, pode-se dizer que as propriedades supramencionadas tornam o grafeno um material promissor para os designers têxteis, pois permitem sua aplicação em diversos segmentos das indústrias têxteis e de confecção. A partir dessa compreensão, a presente pesquisa busca discutir as potencialidades do grafeno no âmbito da inovação têxtil. As justificativas que subsidiam a proposição do trabalho estão apoiadas em duas perspectivas: (I) a expressividade do grafeno no mercado nacional; e (II) a relevância do desenvolvimento de estudos voltados para o grafeno e suas propriedades em diferentes áreas do conhecimento.

Acerca da primeira, observa-se que o Brasil (BR) apresenta uma capacidade de produção expressiva na área. Souza (2019, p. 47) menciona que:

O Brasil possui uma das maiores reservas mundiais de grafite e responde pela terceira maior produção do mineral atualmente, sendo que Minas Gerais lidera a produção brasileira, contribuindo com mais de 70% do grafite produzido [...] projeta-se que o mercado mundial de grafeno seja de R\$ 1,1 bilhão até 2025, com crescimento médio anual de 32% [...].

A estimativa de Souza (2019) potencializa a necessidade de se desenvolverem pesquisas sobre o grafeno em solo brasileiro. Visto que o país não precisa importar grafite, a oportunidade de aproveitar as reservas nacionais para promover a inovação em diversos setores da indústria mostra-se não apenas vantajosa para o mercado interno, como também proveitosa para aqueles que desejam colocar o país no mapa das pesquisas do material. Da perspectiva do setor energético, Vieira Segundo e Vilar (2016, p. 54) defendem esse ponto de vista ao afirmarem que:

O desenvolvimento de pesquisas relacionadas ao grafeno pode promover a difusão de conhecimento técnico-científico numa área promissora, uma vez que as principais utilizações do grafeno concentram-se em sistemas de geração e armazenamento de energia. Além do mais, pode também despertar a motivação em ampliar investigações a respeito deste material e possibilitar estudos de outra natureza [...].

Na dimensão têxtil, estima-se que esses estudos também sejam profícuos. Nesse sentido, Silva (2019, p. 44) considera que “[...] o setor têxtil tem uma promessa de trabalho infindável relativa à duração da espécie humana [...]”. O autor acredita que as pesquisas sobre a inovação tecnológica atrelada aos artigos têxteis envolvem o destino de diversas indústrias que trabalham ou usam insumos têxteis - desde a agrícola até a aeroespacial - e da sociedade ocidental como um todo, uma vez que elas têm o potencial de impactar a saúde, o bem-estar e a qualidade de vida de diversos indivíduos. De modo semelhante ao exposto por Silva (2019), Bellucci, Vasquez e Conti (2021, p. 3) acreditam que as pesquisas na área “[...] têm potencial de inaugurar novas plataformas tecnológicas em diversos campos no conhecimento e na indústria, com importantes impactos sociais, econômicos e ambientais [...]”.

A relevância de serem estudados nanomateriais, em especial, o grafeno, também foi sublinhada por Zarbin e Oliveira (2013, p. 1537): “[...] indiscutivelmente, o Brasil faz parte do mapa global da pesquisa em nanotubos de carbono e grafeno, com vários grupos [de pesquisa] reconhecidos e consolidados [...]”. Adicionalmente, os autores comentam que “[...] essa realidade só foi possível devido à alta inter e multidisciplinaridade da área, onde as fronteiras clássicas de disciplinas foram rompidas e novas concepções do fazer ciência foram adotadas” (ZARBIN; OLIVEIRA, 2013, p. 1538).

Neves (2018, p. 21) vai ao encontro do exposto por Zarbin e Oliveira (2013) ao citar que “[...] embora a investigação na área do grafeno tenha começado na Física, esta é hoje uma área de investigação multidisciplinar, com cientistas das áreas de Química, Ciências dos Materiais, Electrónica e mesmo Medicina [...]”. Conforme a autora, o estudo do grafeno só se faz possível se ocorrer de maneira a envolver diversos campos do conhecimento.

Isso significa que, além de contribuir para sublinhar a importância do grafeno mediante o mercado nacional, a presente pesquisa justifica-se por colaborar com os estudos sobre o material em uma perspectiva múltipla. Para tanto, neste trabalho, empregam-se autores de diferentes áreas do conhecimento e fontes científicas que variam em natureza e formato. Logo, explorada a introdução, a problemática e a justificativa da pesquisa, dirige-se para a fundamentação teórica.

## 2. Grafeno: estruturas, aplicações e propriedades

A aplicação de nanomateriais nas indústrias têxteis e de confecção apresenta-se em um estágio embrionário. Apesar de já existirem diversos produtos sendo comercializados com componentes que envolvem a nanotecnologia, conforme citam Zarbin e Oliveira (2013), os nanomateriais ainda carecem de estudos que avaliem seu emprego nos diferentes setores da atividade humana. Ademais, os autores sustentam que, por sua proeminência, o grafeno deve ser pesquisado e considerado uma alternativa viável aos materiais convencionalmente usados pelas indústrias em questão, que, por sua vez, podem ser vistas como ambientalmente problemáticas.

Nesse sentido, Neves (2018, p. 22) defende que por suas propriedades, “[...] o grafeno é hoje em dia visto como um dos materiais mais promissores do futuro e pode vir a substituir muitos materiais que usamos no dia a dia”. A partir disso, acredita-se que seja interessante aos designers têxteis de amanhã, compreender como o grafeno pode ser empregado no desenvolvimento de novos artigos têxteis e como suas potencialidades podem ser aproveitadas pelas indústrias têxteis e de confecção para se alcançar patamares elevados em relação à inovação. Entretanto, antes disso, faz-se necessário explorar o material, sua estrutura, suas aplicações e propriedades.

Neves (2018), Villa (2018), Azevedo *et al.* (2021), Bellucci, Vasquez e Conti (2021) e Calleja (2021) são unânimes em definir o grafeno como uma camada de átomos de carbono que podem ser organizados de modo hexagonal, com a espessura de um átomo. Por essa condição, o material pode ser compreendido como bidimensional e apresentar um formato semelhante aos de favos de mel (representado por “f” na Figura 1). Silva (2019, p. 16) corrobora com todos os autores e esclarece que:

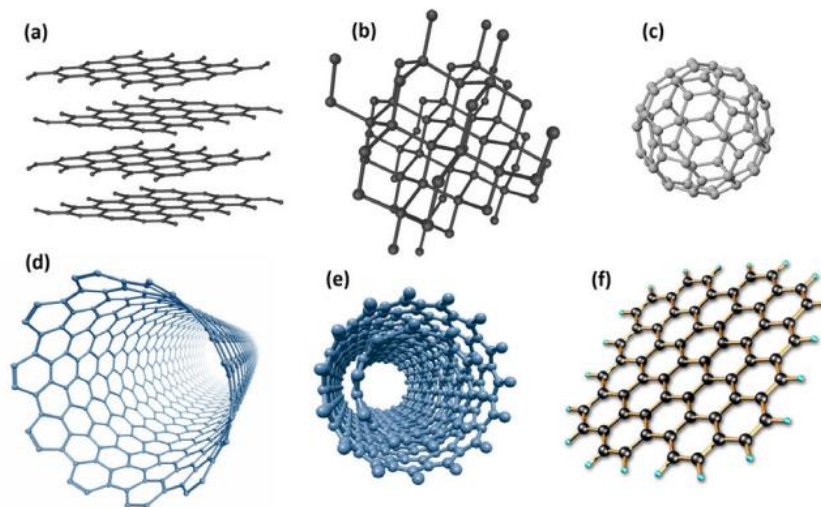
Grafeno é o nome dado a qualquer monocamada de átomos de carbono arranjados e condensados em uma treliça hexagonal e é a base para a construção de outros alotrópicos do carbono, que pode ser disposto em uma esfera para formar fulereno, enrolado para criar nanotubos ou empilhado em uma estrutura tridimensional, formando o grafite.

Zarbin e Oliveira (2013) citam que esses nanotubos de carbono podem ser criados com base no anelamento de uma ou mais folhas de grafeno. Para os autores, essas formas cilíndricas e concêntricas com diâmetros medidos em nanômetros podem dar origem a duas estruturas: (I) os nanotubos de parede simples (d); e (II) os nanotubos de parede múltipla (e). Enquanto a primeira estrutura emprega apenas uma folha de grafeno, a segunda leva diversas folhas enroladas como em um tubo coaxial com cavidade oca. Conforme o disposto acima, o grafeno ainda está presente na formação de estruturas como fulereno (c), grafite (a) e diamante (b).

Acerca do assunto, Vieira Segundo e Vilar (2016, p. 55) destacam que, por conta do formato que pode assumir, “essa estrutura única fornece ao grafeno várias propriedades superiores, tais como altas condutividades elétricas e térmicas, boa transparência, boa resistência mecânica, [e] flexibilidade inerente [...]”. Para os autores, por essas características, o grafeno pode ser empregado tanto em dispositivos eletrônicos movidos por meio de células de energia solar ou sistemas de armazenamento de energia eletroquímica, como em sistemas poliméricos ativados por sensores ou transistores.

Além de seu uso em células solares e em dispositivos de fotocatalise, o grafeno pode ainda ser utilizado em supercapacitores, em baterias, em pás de turbinas eólicas, em instrumentos de dissipação de calor e em diferentes equipamentos eletrônicos (VIEIRA SEGUNDO; VILAR, 2016; CALLEJA, 2021). Adicionalmente, Zarbin e Oliveira (2013) mencionam que o grafeno pode ser encontrado em diversos produtos. Como exemplos, os autores citam os solados de tênis de corrida da Adidas®, as bicicletas da BMC®, os tacos de golfe da Aldila®, os tacos de beisebol produzidos pela Easton®, as raquetes de tênis da Yonex®, os compósitos para

energia eólica da Amroy®, da Hexcel® e da Eagle Windpower® e os materiais antichamas da Nanocomp®, entre muitos outros.



**Figura 1:** Representação esquemática dos diferentes alótropos de carbono. **Fonte:** Zarbin e Oliveira (2013, p. 1533).

Do ponto de vista do vestuário, Souza (2019) apresenta como exemplo uma peça gerada a partir da combinação de algodão e grafeno. A autora menciona que, como contém em sua estrutura uma série de microfios que podem conduzir correntes elétricas, a peça pode ser controlada por um celular com tecnologia *smartphone* para mudar de cor ou aumentar e diminuir sua temperatura. Segundo a autora, esse e outros produtos têm sido objeto de estudos da MackGraph®, um laboratório brasileiro situado na Universidade Mackenzie, em São Paulo (SP), que investiga a aplicação do grafeno em artigos têxteis e vestíveis.

Além do uso no vestuário, Zarbin e Oliveira (2013, p. 1535) afirmam que “[...] o grafeno já vem sendo considerado, assim como os nanotubos de carbono, um material altamente estratégico, com inúmeras possibilidades reais de aplicações”. Os autores sustentam que o grafeno pode ser aplicado em materiais compósitos, se combinado com polímeros para aumentar sua resistência mecânica, térmica e química, e em dispositivos de armazenamento, transmissão e conversão de energia, a fim de aumentar o rendimento de seu funcionamento e baratear seu custo.

Ademais, Zarbin e Oliveira (2013) também mencionam que o grafeno pode ser empregado na construção de sensores e biossensores, pois apresenta uma alta seletividade e facilita a detecção de biomoléculas. Nesse sentido, o material pode ser usado para identificar “[...] variações na condutividade, fluorescência, propriedades óticas, impedância, piezoelectricidade, mudanças espectroscópicas, dentre outras [...]” alterações produzidas sob o meio em que se encontra (ZARBIN; OLIVEIRA, 2013, p. 1536). Os autores ainda consideram que o grafeno pode ser aplicado em: (I) equipamentos com componentes microeletrônicos, em especial, para dispersão do calor; (II) filmes finos, tal como *Light Emitting Diode* (LED, ou Diodo Emissor de Luz, em livre tradução) e *touch screens* (telas sensíveis ao toque, em livre tradução); e em (III) filtros e membranas para purificar e descontaminar fontes de água.

Bellucci, Vasquez e Conti (2021) acreditam que essas várias possibilidades de aplicação se devem ao fato de que o material apresenta propriedades que podem ser aproveitadas por diversos setores industriais que possuem demandas por inovação e tecnologia. Para sintetizar o exposto, o Quadro 1 apresenta um compilado produzido pelos autores sobre as propriedades e os usos do grafeno.

Qualidade	Aplicação tecnológica
Espessura atômica	Aparelhos e componentes finos e flexíveis
Dobrável em escala nanométrica	Engenharia de novos materiais a partir da manipulação e do empilhamento de diferentes planos atômicos
Material de superfície	Controle fino da química de superfície
	Engenharia de novos recobrimentos e filmes finos
	Plataforma para novos sensores químicos e biológicos
Processável em solução	Novos materiais compósitos com excelentes propriedades
	Novos materiais funcionais
Mobilidade de elétrons	Eletrônica de alta frequência
Absorção ótica e efeito fotoelétrico	Novos dispositivos óptico-eletrônicos e termoeletrônicos
	Fotodetectores
Sensibilidade ao efeito de campo	Transdutores de alta sensibilidade
Alta capacitância: alta área específica	Excelentes supercapacitores
Efeito voltaico e fotocatalítico	Conversão e captura de energia
	Dispositivos autoalimentados
Supercondutividade quiral	Supercondutores de alta temperatura

**Quadro 1:** Propriedades e aplicações tecnológicas do grafeno. **Fonte:** adaptado de Bellucci, Vasquez e Conti (2021, p. 5).

Assim como Bellucci, Vasquez e Conti (2021), Vieira Segundo e Vilar (2016) também defendem que o grafeno tem tantas qualidades que o futuro do material se mostra próspero e auspicioso para a indústria como um todo e, ainda, consideram que os produtos existentes no presente utilizam apenas uma parte moderada do potencial do grafeno. Para os autores:

Estas propriedades notáveis tornam o grafeno promissor em aplicações como materiais polímero-compósito, fotoeletrônicos, transistores de efeito de campo, sistemas eletrônicos, sensores e sondas, armazenamento de hidrogênio e sistemas de energia eletroquímica [...] (VIEIRA SEGUNDO; VILAR, 2016, p. 55).

Vieira Segundo e Vilar (2016) também destacam as propriedades óticas do grafeno. Os autores citam que o material apresenta uma transparência elevada (quase total), uma vez que absorve apenas 2,3% da luz. Isto faz com que seja possível considerar o grafeno na construção de sistemas óticos ultrarrápidos. Além do mais, “[...] o grafeno tem grande vantagem em aplicações eletroquímicas, devido principalmente aos seus atributos atóxicos e propriedades condutoras, além de [ser] ambientalmente benéfico [...]” (VIEIRA SEGUNDO; VILAR, 2016, p. 61).

Zarbin e Oliveira (2013) diferem do exposto por Vieira Segundo e Vilar (2016) ao afirmarem que o material tem um grau de toxicidade desconhecido. Segundo apontam os autores, o maior problema em relação ao grafeno e aos nanotubos de carbono está na falta de conhecimento sobre o quão nocivos esses materiais podem ser aos seus usuários e/ou portadores. Diante desse cenário incerto, há uma “[...] necessidade do desenvolvimento de uma avaliação das implicações da exposição [humana] aos nanomateriais, como dados

relacionados à sua absorção, distribuição, metabolismo e excreção nos sistemas biológicos [...]” (ZARBIN; OLIVEIRA, 2013, p. 1535).

Zarbin e Oliveira (2013) afirmam, também, que a toxicidade dos nanomateriais pode estar atrelada às suas propriedades, estruturas e condições de quiralidade<sup>1</sup>, bem como pode ser influenciada pelo comprimento do tubo e pela área de superfície que ocupa no produto. Ainda que incerta, estima-se que essa nocividade pode envolver desde a contaminação metálica até a aceleração das atividades intracelulares em processos inflamatórios, carcinogênicos e genotóxicos. Entretanto, “apesar das dificuldades relacionadas à avaliação da toxicidade de materiais baseados em carbono, sabe-se que eles têm um enorme potencial para serem aplicados no tratamento e no diagnóstico de doenças [...]” (ZARBIN; OLIVEIRA, 2013, p. 1536).

Assim, além de ser transparente e flexível, o grafeno apresenta-se como um material com excelentes propriedades físico-químicas, elétricas, mecânicas, ópticas e térmicas. Suas aplicações já podem ser encontradas no mercado e estão presentes em calçados, roupas, equipamentos, combustíveis e dispositivos eletrônicos, entre outros. Entretanto, ainda são escassos os estudos que visam a mensuração da toxicidade do grafeno em organismos biológicos. Logo, exposta a fundamentação teórica desta pesquisa, a seguir, apresentam-se os procedimentos metodológicos empregados no trabalho.

### 3. Procedimentos metodológicos

Diante dos pressupostos metodológicos de Gil (2008), esta pesquisa pode ser classificada como: (I) aplicada, pois visa a obter conhecimento a partir de uma dinâmica prática; (II) qualitativa, em função de que está interessada no aspecto fenomenológico do objeto de estudo (o grafeno); (III) bibliográfica, na medida em que busca na literatura científica a construção do corpo de conhecimento; e (IV) de campo, uma vez que foi realizada uma visita *in loco* no Centro de Ciências Tecnológicas (CCT) da Universidade do Estado de Santa Catarina (Udesc). Ainda, faz-se possível compreender que: (I) a pesquisa possui sua natureza descritiva, visto que se emprega uma revisão narrativa e assistemática das obras selecionadas para compor este trabalho; e (II) a pesquisa foi construída de modo transversal, multi e interdisciplinar, pois se apoia em autores de diferentes áreas do conhecimento.

O método de pesquisa escolhido foi o abduutivo, pois o artefato desta pesquisa (a discussão sobre as potencialidades do grafeno) pode servir como modelo para uma classe de problemas, mas não pode ser generalizado. Como postura epistemológica, a pesquisa adota uma inclinação interpretativista. Como instrumento de coleta de dados, optou-se por uma observação não participante<sup>2</sup> e uma entrevista por pauta não estruturada. Realizada às 14 horas do dia 13/06/2022, a observação ocorreu por meio de visita agendada no laboratório de polímeros da instituição<sup>3</sup>. Na ocasião, a visita foi guiada e acompanhada pelos professores doutores Sérgio Henrique Pezzin e Ricardo Antônio Zanon.

Na oportunidade, também aconteceu a entrevista que partiu da seguinte pergunta de pauta: “Quais são as potencialidades do grafeno como insumo têxtil?” A entrevista obtida foi transcrita para posterior utilização na pesquisa. A técnica de análise de dados foi a análise de conteúdo, que teve como objetivo decodificar unidades de registro e reorganizá-las em agrupamentos

---

<sup>1</sup> Zarbin e Oliveira (2013) empregam o termo em referência à orientação por meio da qual o grafeno pode ser enrolado em relação ao eixo do nanotubo.

<sup>2</sup> Também conhecida como *fly on the wall*.

<sup>3</sup> O laboratório foi escolhido por conveniência (a autora principal reside na mesma cidade onde ele está localizado, isto é, Joinville, em Santa Catarina). Contudo, faz-se necessário destacar que o espaço tem um histórico relevante na produção de conhecimento sobre materiais poliméricos.



com verbalizações similares. Cabe sublinhar que o especialista escolhido para a entrevista (Professor Doutor Sérgio Henrique Pezzin) tem bacharelado e licenciatura (1990), mestrado (1993) e doutorado (1998) em Química pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).

O entrevistado também realizou um estágio de pós-doutoramento no instituto de pesquisa alemão GKSS Forschungszentrum Geesthacht GmbH, em 2007. Professor titular da Universidade do Estado de Santa Catarina (Udesc), Pezzin já ocupou diversos cargos de liderança, desde a Chefia do Departamento de Química da instituição até a Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação do CCT. Suas pesquisas têm ênfase na Química e na Ciência de Materiais, especialmente no estudo de polímeros, coloides, compósitos de matriz polimérica, polímeros biodegradáveis e materiais autorregeneráveis.

Por fim, destaca-se que a pesquisa teve como etapas: (I) revisão assistemática da literatura pré-selecionada; (II) levantamento de laboratórios geograficamente próximos à residência da autora principal para a observação não participante; (III) visita *in loco* no laboratório escolhido; (IV) entrevista com o especialista selecionado; (V) transcrição da entrevista, decodificação, reagrupamento, apresentação do resultado e discussão frente à literatura; e (VI) redação do relatório final da pesquisa. Assim, exibidos os procedimentos metodológicos empregados neste trabalho, procede-se para a discussão.

## 4. Discussão

O potencial do grafeno para a inovação têxtil se mostra promissor, conforme visto anteriormente na literatura consultada. Esse potencial também foi reforçado pelo entrevistado, que destacou que além de boa condução eletrotérmica, o grafeno tem condições de ser utilizado como revestimento ou de ser adicionado às fibras têxteis na composição de peças de vestuário, o que as torna mais rígidas e resistentes. Ao ser questionado sobre as propriedades do material, o entrevistado declarou que:

A resistência mecânica dele é grande, mas caso seja dispersado no interior da fibra, em tese, você vai aumentar bastante a rigidez da fibra, agora a questão toda de você fazer na superfície é que você tem que fazer uma deposição que nem sempre é fácil, então, geralmente, ou você faz as folhas de grafeno e depois você faz uma deposição eletrostática, existem algumas maneiras de fazer essa deposição, ou como se estivesse pintando a fibra.

Assim como o entrevistado, Silva (2019) também destaca o uso do grafeno em beneficiamentos têxteis. Segundo o autor, em processos convencionais, os substratos têxteis recebem aplicações de compostos orgânicos ou inorgânicos que servem para proteger, enriquecer ou embelezar a superfície dos materiais têxteis. Todavia, esses compostos não possuem propriedades permanentes e, não raro, perdem sua função ao longo do tempo de uso das peças em que são aplicados. Desse modo, a rotina de lavagem, manutenção e higienização das roupas faz com que os beneficiamentos têxteis tenham sua vida útil encurtada.

Entretanto, se empregadas substâncias com nanoestruturas, a relação entre a área e o volume dos substratos têxteis pode ser beneficiada pela afinidade duradoura que esses elementos possuem com as propriedades dos beneficiamentos convencionais. Como exemplo, Silva (2019) cita um tecido desenvolvido pela norte-americana Nano-Tex®, o qual, por meio de um revestimento nanointeligente, tornou-se mais resistente do que o insumo tradicional e, ainda, apresentou melhores condições de respirabilidade sem perder as suas propriedades em relação ao toque e ao caimento.

Entre outras propriedades do grafeno que podem ser combinadas com artigos têxteis, Silva (2019) elenca: (I) a hidrofobia ou hidrorrepelência; (II) a resistência às manchas e aos amassados; (III) a proteção antimicrobiótica; (IV) a capacidade antiestática; (V) o efeito

retardante em situações com chamadas; (VI) a melhoria na absorção de pigmentos no tingimento; (VII) o potencial antiestático do material; e (VIII) a proteção contra raios ultravioletas (UV). De maneira semelhante, ao ser perguntado sobre quais seriam os jeitos de incorporar o grafeno às fibras têxteis, o entrevistado citou que:

O grafeno pode estar dentro das fibras, tem várias maneiras de fazer isso, produzir as fibras e depositar o grafeno no material polimérico e depois fazer a fiação. Você pode fazer o *electrospinning* que é usando um eletrofiador, então, usando o campo elétrico para você formar as fibras poliméricas e ela ter dentro das fibras o grafeno. Outra maneira de pensar é as nanopartículas na superfície da fibra, não dentro. As propriedades e as possíveis aplicações são um pouco diferentes umas das outras, porque, se tiver dentro da fibra, a ideia é você ter maior condutividade, [isto é] maior condutividade da fibra em princípio elétrico [...].

Conforme expôs o entrevistado, se o grafeno for adicionado ao substrato em seu beneficiamento, as propriedades do material serão diferentes do que se ele for inserido dentro das fibras têxteis. Silva (2019) comenta que nessa segunda condição, o grafeno pode ser empregado para integrar sistemas com componentes eletrônicos embarcados — chamados, popularmente, de *wereables devices* (dispositivos eletrônicos vestíveis, em livre tradução) — que podem ser usados para diversos fins, desde o monitoramento da saúde de pacientes em estado crítico até o aperfeiçoamento do desempenho de atletas profissionais.

Assim como Silva (2019), Neves (2018) também acredita que o grafeno possa ser usado em *wereables devices* para estimular a inovação têxtil em benefício dos usuários. Como exemplo, a autora comenta o quão importante seria a captura de dados de um lençol hospitalar se ele pudesse monitorar o paciente e comparar os resultados com parâmetros clínicos pré-programados, tal como a temperatura corporal ou o ritmo cardíaco. Ou, ainda, se o mesmo lençol pudesse liberar fármacos em uma região do corpo inflamada para iniciar o processo de recuperação do enfermo.

Além do uso hospitalar, Silva (2019) comenta que há outras possibilidades a serem exploradas se a inovação têxtil se debruçar sobre os nanomateriais. O autor afirma que os novos substratos gerados a partir de nanotecnologia podem ter qualidades autolimpantes, funcionar como bloqueadores solares e ter resistência à abrasão, ao fogo e a amassados, por exemplo. Bellucci, Vasquez e Conti (2021, p. 4) corroboram com o argumento apresentado por Silva (2019) e acrescentam que:

[...] além disso, tais qualidades podem ser combinadas e 'engenheiradas' em um único material, componente ou sistema. Diante disto, as aplicações são promissoras tanto para o aperfeiçoamento de tecnologias existentes quanto para a criação de tecnologias disruptivas.

Nesse cenário, Neves (2018, p. 26) comenta que “[...] os desafios para a disseminação do grafeno no mercado prendem-se, em muito, com os métodos de produção, o seu custo e limitações”. De maneira similar a Neves (2018), ao ser perguntado sobre a escalabilidade industrial do grafeno e seus métodos de produção, o entrevistado respondeu que:

A parte de escalar a produção do grafeno a partir da esfoliação é muito difícil, então, o que é vendido, que é escalável, é [feito] pelo processo/método de Hummers<sup>4</sup>, que consiste em transformar o grafite em óxido de grafite. Como ele é intercalado com substâncias bastante oxidantes, quando você o coloca a 300°C ou 350°C, ele se expande. E quando expandido, ele joga um monte de flocos de óxido de grafeno, isto é, você ainda não tem o grafeno. A partir disso, você tem que fazer outro processo químico ou térmico para serem retirados os grupos oxigenados, e uma parte do grafeno resultante acaba sendo danificada, mas o problema maior nessa criação do grafeno é a parte ambiental [...].

---

<sup>4</sup> O entrevistado se refere ao processo de oxidação da grafita que usa de ácidos para alcançar uma condição favorável à sua redução que, por sua vez, pode ser química ou térmica.

Diferentemente da informação apresentada por Vieira Segundo e Vilar (2016) na fundamentação teórica desta pesquisa, o entrevistado afirmou que o material não pode ser considerado ambientalmente benéfico, pois ainda faltam estudos que comprovem ou criem alternativas à nocividade do grafeno. Sobre o processo de produção do material em questão, o entrevistado ainda citou que o método utilizado gera “[...] nanoplateletos, ou seja, pacotes de 10 a 20 folhas de grafeno. Do ponto de vista elétrico, o grafeno de espessura atômica tem propriedades incríveis, mas nesse formato perde um pouco dessas qualidades [...]”.

Adiante na entrevista, quando perguntado sobre a combinação do grafeno com tecidos inteligentes, o professor declarou que o material pode ser adicionado com insumos anti-odores, contudo, não os transforma em substratos com mais respirabilidade do que aqueles convencionais — o que vai contra o exposto por Silva (2019). Nesse sentido, o entrevistado afirmou que “[...] a respeito dos odores, o grafeno consegue absorver muito [as substâncias que provocam odores desagradáveis], então ele consegue não deixar cheiro [...]”. Sobre materiais termocromáticos, ele comentou que “[...] para o grafeno, a mudança de cor seria possível como uma forma superficial de deposição, não sendo combinado dentro da fibra [...]” e complementou a fala ao sinalizar que o material tem características isotrópicas que permitem a troca térmica com o meio sem dificuldade.

Por último, assim como nos exemplos vistos na literatura, o entrevistado destacou que o grafeno já tem sido usado e aceito nos esportes, em especial, na fabricação de artigos para a prática de beisebol. Depois de encerrada a entrevista com o especialista, foram realizados registros da visita ao laboratório.

Logo, ao proceder a visita ao laboratório escolhido para o trabalho, a autora principal desta pesquisa pôde perceber que há uma área de inovação têxtil que pode ser considerada amplamente vantajosa para designers têxteis. Trata-se da nanotecnologia que pode ser combinada aos polímeros biodegradáveis. Recente nas grades curriculares dos cursos de moda, esse assunto despertou a curiosidade da autora principal ao passo em que mostrou a relevância de se pensar os nanomateriais como insumos que devem ser abordados interdisciplinarmente. A parceria entre os *campi* da Udesc, nomeadamente, CCT e Ceart, também se mostrou oportuna para a pesquisa e pode representar o início de uma produtiva relação entre as unidades e suas áreas de conhecimento. Logo, findada a discussão sobre o grafeno, procede-se para as considerações finais.

## 5. Considerações finais

A presente pesquisa teve como objetivo discutir as potencialidades do grafeno no âmbito da inovação têxtil. Para alcançar a finalidade proposta, além de uma revisão bibliográfica, narrativa e assistemática, procedeu-se a uma visita *in loco* em um laboratório que lida com nanomateriais e entrevistou-se um especialista na produção do grafeno. Como resultado, observou-se que as potencialidades do material podem ser organizadas em dois grupos: (I) enquanto revestimento para o beneficiamento têxtil; e (II) como componente junto às fibras têxteis.

No primeiro agrupamento, os principais benefícios envolvem o incremento à funcionalidade dos substratos, visto que eles podem passar a ser hidrofóbicos, autolimpantes ou apresentar filmes finos com sensores tecnológicos avançados, entre outros. No segundo, abordam-se as propriedades fotovoltaicas, a condutibilidade elétrica e a rigidez dos produtos que podem ser gerados a partir da combinação do grafeno e dos nanotubos de carbono com as fibras têxteis convencionais.

Para a formação de uma agenda de pesquisa, sugere-se que os próximos trabalhos empreguem pesquisas aplicadas com uma coleta de dados primária em mais laboratórios

institucionalizados ou privatizados. Acredita-se que, em confrontação com a prática, outros pontos de vista possam ser levantados.

Para concluir, faz-se necessário agradecer ao Centro de Artes, Design e Moda (Ceart) da Universidade do Estado de Santa Catarina (Udesc) e ao laboratório coordenado pelo Prof. Dr. Sérgio Henrique Pezzin no Centro de Ciências Tecnológicas (CCT) da mesma instituição. Por fim, agradece-se ao corpo discente e docente do curso de Moda da universidade pelo apoio, incentivo e encorajamento.

## 6. Referências

AZEVEDO, Paulo Gabriel Ferreira de *et al.* Aspectos ambientais relacionados à síntese, utilização e descarte do grafeno. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, [S.L.], v. 8, n. 19, p. 993-1007, ago. 2021. Disponível em: <http://revista.ecogestaobrasil.net/v8n19/v08n19a25.html>. Acesso em: 07 mar. 2022.

BELLUCCI, Felipe; VASQUEZ, Henrique; CONTI, Júlia. **Panorama tecnológico do grafeno: contexto brasileiro e sua demanda por financiamento**. Rio de Janeiro: Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), 2021. Disponível em: [https://goto6solutions.com/images/blog/documentos/Grafeno\\_setorial\\_2021.pdf](https://goto6solutions.com/images/blog/documentos/Grafeno_setorial_2021.pdf). Acesso em: 18 mar. 2022.

CALLEJA, Tamara Rocío Ruiz. **Funcionalización de textiles mediante la aplicación de grafeno**. 2021. 201 f. Tese (Doutorado) — Curso de Pós-graduação em Ingeniería Textil y Papelera, Universitat Politècnica de València, Valência, 2021. Disponível em: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/179634/Ruiz%20-%20FUNCIONALIZACION%20DE%20TEXTILES%20MEDIANTE%20LA%20APLICACION%20DE%20GRAFENO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 09 mar. 2022.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6.ed. São Paulo: Atlas, 2008.

NEVES, Ana. Grafeno: do átomo de carbono às roupas inteligentes. *In*: LEMOS, Maria Amélia; AZEVEDO, Cristina Gomes de; SIMÃO, Dulce. **Laboratórios Abertos 2018**. 2018: Departamento de Engenharia Química do Instituto Superior Técnico, 2018. p. 21-27. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/157582131.pdf#page=21>. Acesso em: 20 mar. 2022.

SILVA, Delcacio. **Nanoestruturas: possíveis aplicações têxteis**. 2019. 48 f. TCC (Graduação) — Curso de Superior de Tecnologia em Produção Têxtil e Moda, Faculdade de Tecnologia de Americana, Americana, 2019. Disponível em: [http://ric.cps.sp.gov.br/bitstream/123456789/4017/1/20192S\\_SILVADelcacio\\_OD0803.pdf](http://ric.cps.sp.gov.br/bitstream/123456789/4017/1/20192S_SILVADelcacio_OD0803.pdf). Acesso em: 12 jan. 2022.

SOUZA, Waleria Oliveira de. **Biomimética no mundo da moda: inovações tecnológicas**. 2019. 76 f. TCC (Graduação) — Curso de Superior de Tecnologia em Produção Têxtil e Moda, Faculdade de Tecnologia de Americana, Americana, 2019. Disponível em: [http://ric.cps.sp.gov.br/bitstream/123456789/3997/1/20192S\\_SOUZAWaleriaOliveirade\\_OD0783.pdf](http://ric.cps.sp.gov.br/bitstream/123456789/3997/1/20192S_SOUZAWaleriaOliveirade_OD0783.pdf). Acesso em: 19 abr. 2022.

VIEIRA SEGUNDO, José Etimógenes Duarte; VILAR, Eudésio Oliveira. Grafeno: uma revisão sobre propriedades, mecanismos de produção e potenciais aplicações em sistemas energéticos. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, Campina Grande, v. 11, n. 2, p. 54-67, 2016. Disponível em: <http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/view/493/387>. Acesso em: 21 mar. 2022.

VILLA, Fernando Martín. ***Aplicaciones de la nanotecnología en la industrial textil***. 2018. 79 f. Dissertação (Mestrado) — Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Química, Universidad Nacional de Educación A Distancia, Madrid, 2018. Disponível em: [http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:master-Ciencias-CyTQ-Fmartin/Martin\\_Villa\\_Fernando\\_TFM.pdf](http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/bibliuned:master-Ciencias-CyTQ-Fmartin/Martin_Villa_Fernando_TFM.pdf). Acesso em: 21 abr. 2022.

ZARBIN, Aldo José Gorgatti; OLIVEIRA, Marcela Mohallem. Nanoestruturas de carbono (nanotubos, grafeno): *quo vadis?* **Química Nova**, São Paulo, v. 36, n. 10, p. 1533-1539, out. 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/3JPDqp4ZqLGYqf68grqZ5w/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 24 mar. 2022.