

MATERIAIS NATURAIS: PADRÕES MICROSCÓPICOS COMO FONTE DE INSPIRAÇÃO EM PROJETOS DE DESIGN

NATURAL MATERIALS: MICROSCOPICAL PATTERNS AS SOURCE OF INSPIRATION IN DESIGN PROJECTS

Felipe Luis Palombini ¹

Mariana Kuhl Cidade ²

Jorge Ernesto de Araujo Mariath ³

Resumo

Os materiais naturais são um dos mais onipresentes e importantes para o desenvolvimento da humanidade, estando incluídos em uma variedade de artefatos e valorizados por um número de razões. Sua apreciação dá-se a partir da característica essencial de que suas variações naturais os tornam únicos. Tendo uma microestrutura hierárquica e complexa, sua morfologia singular pode ser aproveitada em diferentes aplicações. Esse trabalho foca na definição geral de materiais naturais e na sua utilização como fonte de inspiração em projetos de design. Amostras de material mineral, vegetal e animal tradicionais do Brasil foram observadas em microscopia de luz e empregadas no desenvolvimento de estampas. A exploração de geometrias e cores únicas das amostras levou à obtenção de diferentes padrões, evidenciando a beleza natural que a singularidade dos materiais naturais pode propiciar.

Palavras-chave: material natural; design; microscopia; superfície, estampa.

Abstract

Natural materials are one of the most ubiquitous and important to humanity's development, being included in a variety of artifacts and valued for a number of reasons. Their appreciation is based on the essential characteristic of their natural variations that make them unique. Having a hierarchical and complex microstructure, its singular morphology can be explored in different applications. This paper focuses on the general definition of natural materials and their use as a source of inspiration in design projects. Samples of traditional Brazilian mineral, plant, and animal materials were observed under light microscopy and used in the development of prints. The exploration of the unique geometries and colors of samples led to the obtaining of different patterns, highlighting the natural beauty that the uniqueness of natural materials can provide.

Keywords: natural material; design; microscopy; surface, print.

¹ Pós-Doutor, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Botânica, Porto Alegre, RS, Brasil, felipe.l.palombini@gmail.com; ORCID: 0000-0002-2112-6695.

² Professora Doutora, Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Desenho Industrial, Santa Maria, RS, Brasil, mariana.cidade@ufsm.br; ORCID: 0000-0001-5893-383X.

³ Professor Doutor, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Botânica, Porto Alegre, RS Brasil, jorge.mariath@ufrgs.br; ORCID: 0000-0002-2776-6781.

1. Introdução

Os materiais naturais cumprem um papel fundamental no desenvolvimento de todas as civilizações como um todo. Entre os primeiros objetos já usados pelo homem, podemos destacar madeiras, rochas, peles e couros, ossos (incluindo chifres, dentes e presas), conchas e vários tipos de fibras naturais (BAYSAL, 2019), que foram usados para a fabricação de ferramentas, armas, ornamentos, roupas, construções e muitos outros tipos de produtos (ASHBY; JONES, 2013; KOZŁOWSKI; MACKIEWICZ-TALARCZYK, 2020). Em termos de importância relativa, os materiais permaneceram por milênios como nossa principal fonte de matéria-prima, muito antes da idade dos metais (ASHBY; JOHNSON, 2011; BAYSAL, 2019). Somente mais tarde que experimentos químicos e físicos levaram ao desenvolvimento de materiais sintéticos, como metais e ligas, cerâmicas e vidros, polímeros e, no último século, compósitos.

Mesmo com a industrialização e com o advento de tecnologias modernas que levaram ao desenvolvimento de materiais e processos de fabricação avançados, os materiais naturais mantiveram uma importância significativa em muitas indústrias ao longo dos anos (ASHBY; JOHNSON, 2011). Apesar da existência de alternativas sintéticas nos dias atuais, ainda existem exemplos desses materiais amplamente utilizados e comumente encontrados em muitas aplicações, como látex, couro e cortiça, além de madeiras e bambu como matéria-prima para construção de casas e andaimes, além de móveis e utensílios diversos. No entanto, apesar de serem quase onipresentes em todos os ambientes que vivemos, algumas questões relacionadas a estes materiais permanecem confusas, como a própria definição do termo “material natural”, como classificá-lo, além de definir por quais motivos ele permanece com fundamental importância como matéria-prima.

Vários ramos do design podem se beneficiar de qualidades estéticas derivadas da exclusividade dos materiais empregados (ASHBY; JOHNSON, 2011). Mais do que uma percepção visual de um produto, os atributos estéticos estão relacionados à percepção pelos sentidos, quando a relação de um objeto agrada e é apreciada por sua beleza (MACNAB, 2011). No design de produto e gráfico, a estética é explorada em diferentes bens de consumo, embora sua superfície seja responsável pela maioria dos efeitos (ASHBY; JOHNSON, 2011). Em projetos inspirados na natureza, como em biônica, padrões estéticos inesperados podem ser obtidos através de meios de observação diferenciados, como o uso de microscopias para ressaltar detalhes e cores (CIDADE; PALOMBINI; KINDLEIN JÚNIOR, 2015; PALOMBINI *et al.*, 2021, 2022; PALOMBINI; MUTHU, 2022) Portanto, não apenas os materiais e processos de fabricação utilizados exercem influência no usuário, mas diferentes métodos de criação também podem desempenhar um papel importante na forma como um projeto é percebido e como ocorre sua interação (CIDADE; PALOMBINI, 2022).

Este artigo explora a utilização de materiais naturais como uma fonte de inspiração em projetos de design, através de técnicas de microscopia. Inicialmente, o tópico 2 apresenta conceitos gerais sobre materiais naturais, incluindo classificações e definições sobre sua terminologia, além de apresentar alguns dos motivos pelos quais os materiais permanecem tão importantes no nosso cotidiano. Em seguida, no tópico 3 é descrito um processo experimental de utilização de materiais naturais brasileiros de três origens, a ágata (material mineral), o capim dourado (material vegetal) e a crina de cavalo (material animal) como fonte de inspiração. Características gerais sobre os materiais são explicadas, bem como sua relação com aspectos culturais, econômicos e sociais no Brasil. Amostras dos materiais foram observadas por microscopia de luz, e seus padrões de sua anatomia e microestrutura foram utilizados no desenvolvimento de estampas gráficas para aplicação em projetos de design.

2. Materiais Naturais

A seleção de materiais clássica na literatura e livros didáticos de Engenharia e Design, como os trabalhos pioneiros de William John Patton (1968) a Michael Farries Ashby (1992), divide os materiais em quatro classes principais – Metais, Cerâmicos, Polímeros e Compósitos – devido às características estruturais em comuns (moléculas de cadeia longa em polímeros, ductilidade de metais, fragilidade da cerâmica, ou materiais mistos de compósitos) que determinam os pontos fortes e fracos de cada um (CIDADE; PERINI; PALOMBINI, 2022). Mais tarde, essas classes foram expandidas em famílias gerais, e em vez de simplesmente classificá-los por suas características estruturais, elas foram selecionadas devido à similaridade de propriedades, processamento e, muitas vezes, aplicações (ASHBY, 2012). Por causa da complexidade e da linha tênue entre uma classe de materiais e outra, está se tornando mais comum separá-los de acordo com sua origem. Chris Lefteri (2014), por exemplo, utiliza agrupamentos gerais de “*grown*” (ou “crescido”, como originados de plantas e animais) “*oil-based*” (ou “à base de petróleo”, como polímeros) e “*mined*” (ou “minerados”, como metais e cerâmicos). O autor utilizou essas seções com o objetivo de destacar e controlar melhor os recursos para cada tipo de material, uma vez que sua disponibilidade deve mudar drasticamente nas próximas décadas, seja desde a escassez de petróleo até o desenvolvimento de novos materiais de fontes renováveis.

2.1. Classificação de Materiais Naturais

Com relação aos materiais naturais, eles podem ser classificados de acordo com sua origem, sejam eles minerais ou biológicos. O primeiro grupo, também conhecido como materiais geológicos, pode ser dividido em rochas e gemas, além de meteoritos e ligas metálicas (DEMOUTHE, 2006). Embora as rochas e gemas possam ser mais bem interpretadas como materiais naturais, devido à sua simplicidade de uso, outros tipos exigem algum nível de processamento antes de estarem prontas para aplicação. Entre os metais de ocorrência natural, conhecidos como metais nativos, o ouro é uma exemplo notável devido à sua estabilidade química em sua forma pura; portanto esse metal nobre não requer o mesmo processamento que outros tipos de minério, que são muito mais reativos por natureza (CIDADE; PERINI; PALOMBINI, 2022). Rochas correspondem a grupos de minerais antes utilizadas para fins decorativos e objetos ornamentais, mas que estão se tornando mais importantes para joias pessoais (como mármore, obsidiana, alabastro, etc.). Já gema, por exemplo, é uma classificação destinada a minerais altamente valorizados, devido à sua beleza, durabilidade e raridade, e normalmente são classificadas como tal após serem cortadas e polidas (MILLER, 2016). No entanto, as fronteiras entre os materiais naturais de origem mineral e biológica tornam-se confusas quando consideramos as chamadas “gemas orgânicas”. Este grupo inclui materiais que preservaram ou adquiriram características minerais, apesar de sua origem orgânica, como coral, marfim, âmbar, madrepérola e materiais fossilizados (DEMOUTHE, 2006; MILLER, 2016)

No que diz respeito aos de origem biológica, os materiais naturais podem ser classificados de acordo com as suas propriedades e características, bem como com a sua composição. Wegst e Ashby (2004) apresentam uma classificação de materiais biológicos em quatro grupos, semelhantes aos usados em materiais sintéticos: cerâmicas naturais, polímeros naturais, elastômeros naturais e materiais celulares naturais (ou espumas). Cerâmicas naturais compreendem ossos, chifres, esmaltes, dentinas, conchas e corais, geralmente feitas de partículas, como hidroxiapatita, calcita ou aragonita, em uma matriz de colágeno. Os polímeros naturais incluem cascos de mamíferos, ligamentos e tendões e exoesqueletos de artrópodes, feitos de celulose e quitina, além de colágeno, seda e queratina. Os elastômeros naturais abrangem pele, músculos, vasos sanguíneos e a maioria dos tecidos moles, feitos de proteínas como elastina, resilina e abductina. E os materiais celulares naturais incluem madeiras, cortiça,

bambu e osso trabecular.

2.2. O Que é Um “Material Natural”?

Afirmar que determinado material é “natural” pode ter um significado amplo, desde o ponto de vista ambiental até sua origem e aplicabilidade. Por exemplo, algum “material natural” pode indicar falsamente que ele está livre de substâncias perigosas ou que não causa danos aos seres humanos, o que não é necessariamente verdade (KLASCHKA, 2015). Um grande número de substâncias tóxicas ou perigosas é encontrado na natureza e elas têm sido utilizadas em muitas aplicações, desde produtos de consumo até materiais de construção. Como exemplos, podemos citar o chumbo, o mercúrio e o amianto, que foram cada vez mais empregados após a Segunda Guerra Mundial e hoje são proibidos em muitos países por serem a causa direta de doenças pulmonares graves e câncer (VEZZOLI; MANZINI, 2008).

Outro problema frequente de classificação de materiais naturais reside em seguir o significado literal e absoluto de que representa uma substância que foi “retirada da natureza”. Simplificando, isso corresponderia a virtualmente todas as substâncias conhecidas pelos homens. Nesse sentido, não apenas o material mais simples, mas até o mais sofisticado material sintético já foi uma vez parte do mundo natural, e só poderia ser gerado depois que algum material básico fosse extraído da natureza. Por exemplo, o poliácido láctico (PLA) à base de plantas – polímero muito usado em filamentos de impressão 3D domésticos – até o poli(éter-éter-cetona) (PEEK), polímero de engenharia à base de petróleo – que pode ser reforçado com nanotubos de carbono e usado na indústria médica e área espacial – todos eles foram obtidos a partir da remoção de uma substância natural básica. Em vez disso, o que pode realmente distinguir um material natural de outros não é necessariamente sua *origem*, mas *como* e *quanto* dele foi processado antes de ser aplicado na sua forma final em um produto. Desta forma, Burden (2012, p. 347) o define como “*a product that is made from materials and ingredients found in nature, with little or no human intervention*” (um produto feito com materiais e ingredientes encontrados na natureza, com pouca ou nenhuma intervenção humana).

Em seu estado nativo, quase todos os materiais naturais devem ser preparados antes da aplicação. Mesmo no caso de uma simples peça de mobiliário, como uma mesa de madeira, por exemplo, depois que a árvore é cortada, a madeira precisa ser descascada, cortada, seca e aplainada em tábuas para então poderem ser utilizadas. Sem mencionar possíveis etapas adicionais como tingimento, marcação, moldagem à base de vapor, revestimento ou tratamento de sua superfície para evitar a deterioração, seja pelo clima ou por meios químicos ou biológicos. No entanto, de uma forma geral, a madeira pode ser considerada um material natural, principalmente quando comparada com outras alternativas, como polímeros ou metais, que essencialmente requerem processos de fabricação ainda mais complexos e, geralmente, envolvem algum nível de mudança de fase. Dadas as circunstâncias, apesar de ser cortada ou moldada, a madeira aplicada em um produto permanece o mesmo sólido contínuo que era quando xilema secundário (tecido vegetal). Materiais derivados de madeira, como MDF, MDP, OSB ou mesmo compensados envolvem a quebra da madeira em partículas ou camadas menores e sua união para formar um novo sólido; portanto, devem ser considerados um material secundário, apesar de não terem necessariamente passado por uma mudança de fase ou por um processo de reciclagem completa.

Além do fato de a maior parte de seu volume ser mantida inteira – da extração à aplicação – outra característica importante do material natural é que tratamentos destrutivos ou invasivos (químicos ou físicos) não devem ser obrigatórios para seu uso. Como Burden (2012) define, os materiais naturais requerem essencialmente “pouca ou nenhuma intervenção

humana”, ou seja, após removê-los da natureza, devem ser capazes de serem aplicados em um estado razoavelmente bruto, predominantemente. Ainda assim, isso não deve ser interpretado literalmente. Por exemplo, peles (ou couros verdes) requerem uma série de processos demorados para se tornarem uma peça de couro utilizável pela indústria. Da ribeira e curtimento até o acabamento, vários tipos de equipamentos e produtos químicos são necessários – seja por meio do curtimento mineral (com produtos à base de cromo) ou por processos mais tradicionais, à base de materiais vegetais. Por outro lado, as etapas necessárias para a fabricação da maioria das alternativas de couro à base de polímeros – como o couro de poliuretano (PU) – são muito mais numerosas e complexas, visto que grande parte de suas principais matérias-primas (polióis e isocianatos) são derivados do petróleo; e estão ainda mais distantes do couro genuíno no que diz respeito às transformações da extração para a aplicação, bem como às alterações em sua forma ou volume original.

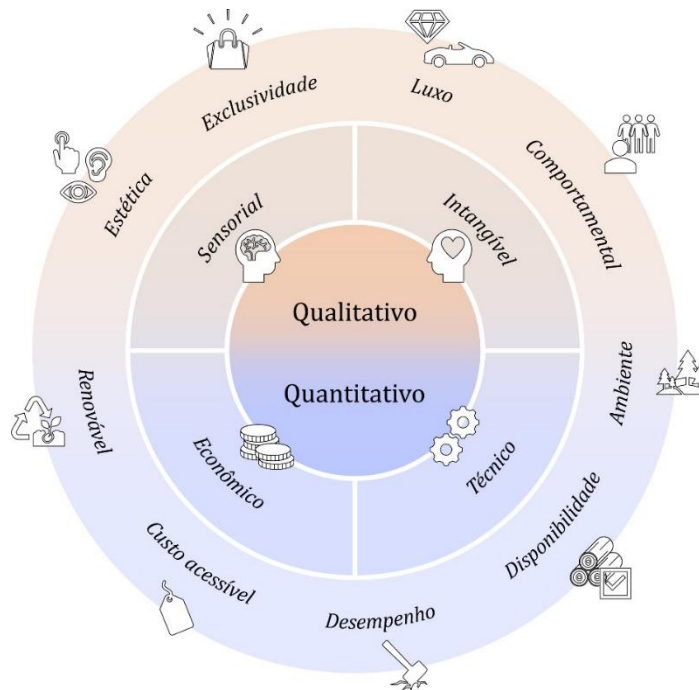
2.3. Seleção de Materiais Naturais

A escolha de um material natural para um determinado projeto pode ser devido a vários motivos. A Figura 1 ilustra alguns dos mais importantes, classificados de acordo com uma abordagem holística de seleção de materiais (PISELLI; SIMONATO; DEL CURTO, 2016). Tal classificação pode ser inicialmente dividida em parâmetros “quantitativos” e “qualitativos”, representado no círculo interno da imagem. O primeiro é baseado em fatores contáveis, que podem ser facilmente medidos e calculados com um nível de avaliação bastante preciso. Quanto aos parâmetros qualitativos, apesar de também poderem ser avaliados por meio de metodologias especializadas, são considerados mais subjetivos e, portanto, podem ser submetidos a diferentes interpretações, dependendo de fatores relacionados ao ser humano como cultura, idade, gênero, classe social, etc. No círculo intermediário da figura há uma separação entre as abordagens “econômicas” e “técnicas”, na classificação quantitativa, e entre aquelas “sensoriais” e “intangíveis”, na qualitativa. Enquanto “econômico” está obviamente relacionado às razões monetárias para a seleção de algum material natural, “técnico” diz respeito às propriedades clássicas dos materiais, comumente usados na engenharia. Já “sensorial” está relacionado aos parâmetros que podem ser avaliados quanto à interação entre o produto e o usuário, e “intangível” aos efeitos do produto medidos entre os usuários.

No caso de materiais naturais, seguindo o círculo mais externo, em primeiro lugar, há o fator chave de “desempenho”. Os materiais naturais são conhecidos por seu excelente comportamento, juntamente com propriedades múltiplas e simultâneas, mesmo para os padrões dos materiais sintéticos modernos (GIBSON; ASHBY; HARLEY, 2010). Por exemplo, Meyers e Chen (2014) apresentam uma lista de características que são exclusivas dos materiais naturais, incluindo automontagem (na qual eles não precisam de meios externos para serem construídos), capacidade de autocura (por reversão de danos ou falhas), hidratação (propriedades fortemente dependentes e influenciadas pelo teor mais úmido), condições leves de síntese (materiais biológicos são produzidos em condições atmosféricas ou subaquáticas de temperatura e pressão), funcionalidade (com mais de um propósito) e hierarquia (níveis de escala diferentes e organizados que conferem propriedades únicas e adaptáveis). Além disso, todas essas propriedades são derivadas de apenas poucos elementos – carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, cálcio e fósforo – que são organizados e combinados em formas eficientes, apesar de restrições ambientais. Outro motivo é a estética. Os materiais naturais continuam a ser muito apreciados pelos sentimentos que evocam, não só pela aparência, mas também pelo toque, som e aroma. Por exemplo, as pessoas preferem esses materiais por se reconectarem com memórias (cheiro marcante do couro), sentindo-se quentes e aconchegantes (com tapetes ou mantas de lã), confortáveis ou abraçados (toque suave da seda), ou experienciando notas

musicais profundas e claras (alto-falantes de madeira maciça). Em alguns atributos sensoriais, os materiais naturais são incomparáveis (KARANA; PEDGLEY; ROGNOLI, 2014). E além de possuírem aspectos estéticos visíveis a olho nu, o uso de equipamentos de aumento pode auxiliar em processos criativos em projetos de design.

Figura 1: Seleção de Materiais Naturais: uma abordagem holística sobre alguns dos motivos que os tornam preferidos como material base em processos de manufatura.



;Fonte: Elaborado pelos Autores.

Em terceiro lugar, podemos apontar o fator de custo acessível. Apesar da existência de plantas fabris tecnológicas, capazes de produzir milhares de artefatos poliméricos por dia, às vezes a seleção de uma contraparte de material natural pode ter um preço mais razoável, principalmente quando se busca uma fabricação de menor volume, ou com uma produção artesanal. Por exemplo, a praticidade de construir um simples banco de madeira ou um andaime de bambu é enorme (LIESE; KÖHL, 2015). Não há necessidade de usar moldes de alumínio para injeção de polímeros ou projetar juntas complexas para aço tubular; o material natural está praticamente pronto para ser empregado – da colheita ao uso. O próximo fator decisivo é a disponibilidade. Por milhares de anos, os materiais naturais locais eram as únicas opções existentes para fabricar quase todos os tipos de artefatos. Hoje, qualquer empresa pode ter acesso a matérias-primas sintéticas das regiões mais distantes, porém, em muitos casos, selecionar uma alternativa natural local não é apenas mais acessível física, mas financeiramente. Por exemplo, muitas fibras locais e naturais são subprodutos de outras aplicações e ainda são exploradas na fabricação de itens desde sacolas de compras reutilizáveis até reforços em compósitos (KOZŁOWSKI; MACKIEWICZ-TALARCZYK, 2020). A quinta razão é um dos principais benefícios dos materiais biológicos: sua renovabilidade. Com a clara exceção dos minerais, os materiais naturais podem ser regenerados em um período bastante curto, compatível com as necessidades humanas. Mesmo a cortiça, utilizada no fabrico de rolhas de garrafas, por exemplo, que requer cerca de 9 anos entre ciclos de colheita, ainda pode ser gerenciada de forma a permitir um fluxo de abastecimento economicamente sustentável (PEREIRA, 2007). E se

os cuidados apropriados forem tomados, ao contrário de polímeros sintéticos de origem fóssil, esse tecido vegetal não será esgotado. Semelhante à renovabilidade, outro fator chave é o meio ambiente. Em muitas análises de ciclo de vida (LCA), as vantagens de se escolher um material natural estão nos custos de energia, principalmente durante as fases de extração e fabricação. Os produtos de madeira, por exemplo, apresentam uma série de benefícios ambientais quando comparados aos materiais concorrentes, como um menor consumo de combustíveis fósseis e menos contribuições para o efeito estufa e geração de resíduos sólidos (WERNER; RICHTER, 2007). Produtos à base de bambu, sendo um dos materiais de crescimento mais rápido, são inclusive preferidos na indústria em virtude de sua capacidade de sequestro de carbono durante o cultivo (SONG *et al.*, 2011).

O sétimo fator é o comportamento social. É perceptível a demanda recente por produtos feitos com materiais e processos socialmente justos e ecologicamente corretos. Tendências contemporâneas, estilos de vida e filosofias de vida, como naturalismo e veganismo, têm pressionado as empresas a fornecer materiais naturais em muitos mercados, de capas de telefone a materiais de construção e indústrias automobilísticas. O oitavo fator principal é a exclusividade. A característica fundamental que torna os materiais biológicos ou minerais tão almejados é a sua individualidade. Nem mesmo o processo de fabricação mais uniforme e tecnológico pode homogeneizar sua variabilidade natural, o que é vantajoso. Cada mineral, pedaço de couro ou acabamento de madeira é distinto e, por isso, confere personalidade a um produto. Inclusive quando o produto está desgastado, alguns artigos de couro tornaram-se ainda mais valiosos com o desenvolvimento de uma pátina natural do envelhecimento na superfície. Associado a essa propriedade de variabilidade, o luxo é outra razão pela qual os materiais naturais são tão frequentemente selecionados. Se por um lado os materiais naturais são únicos em tamanho, padrão, brilho ou forma, por outro podem ser considerados bastante exclusivos, o que significa que nenhum outro consumidor terá um produto semelhante, principalmente no caso de gemas para a joalheria (MILLER, 2016). Além disso, muitos bens de consumo de luxo, como relógios e carros, são projetados com acabamentos e superfícies naturais como forma de demonstrar a atenção e cuidado da marca durante a fabricação de um artefato que será exposto como símbolo de status e riqueza.

2.4. Materiais Naturais Brasileiros Como Fonte de Inspiração

O Brasil é um dos países mais ricos do mundo em recursos naturais e é conhecido por sua grande diversidade tanto em termos de materiais minerais quanto biológicos (biodiversidade). No entanto, apesar das grandes reservas de recursos naturais, o país não obtém retornos monetários tão relevantes à sua capacidade. Em termos de recursos minerais, o Brasil possui uma das maiores reservas do mundo e a sexta maior indústria de mineração do mundo, com produção e exportação de cerca de 80 commodities minerais (KORINEK; RAMDOO, 2017). Por outro lado, o país é também considerado um dos principais exportadores de minerais do mundo, indicando que a maior parte de suas commodities minerais não fica no país para ser processada e desenvolvida em produtos aplicados (OECD, 2021).

No que diz respeito às gemas, o país conta com uma variedade de gemas com finalidade comercial, sendo as mais importantes turmalinas, topázios, opalas, variedades de quartzo (ágata, ametista e citrino) e esmeraldas, além de ser um dos únicos produtores mundiais de topázio imperial e turmalina Paraíba (BARRETO; BITTAR, 2010). Em relação à biodiversidade, o Brasil possui ainda mais recursos, estando entre os países mais ricos do mundo e sendo considerado uma das chamadas nações “megadiversas” (UNESCO, 2021). O país tem mais de 116.000 e 46.000 espécies de animais e vegetais conhecidas, respectivamente, espalhadas por seis biomas terrestres e três grandes ecossistemas marinhos, segundo o Ministério do Meio

Ambiente (MMA, 2021). A biodiversidade brasileira compreende 70% das espécies animais e vegetais já catalogadas no mundo, e estima-se que detenha entre 15 e 20% da diversidade biológica mundial (CDB, 2021). No entanto, assim como os recursos minerais, a biodiversidade brasileira ainda é pouco explorada em termos de produtos que se traduzam em desenvolvimento sustentável, abrangendo qualidade de vida social, proteção ambiental e crescimento monetário. Valli *et al.* (2018) destacam que o Brasil poderia se tornar líder mundial em bioeconomia devido ao potencial sustentável dos recursos naturais do país.

Apesar da riqueza dos recursos naturais brasileiros, percebe-se que grande parte de seus materiais e substâncias é aplicada em produtos com pouco valor agregado e pouco potencial estético, o que conseqüentemente resulta em um pequeno retorno para sua população. Nesse sentido, diante da riqueza das diversidades minerais e biológicas brasileiras, este artigo pretende apresentar um novo olhar sobre alguns de seus materiais naturais, de forma a incorporá-los ao design através da multidisciplinariedade de áreas para a visualização de aspectos gráficos para auxiliar o processo criativo. Materiais naturais brasileiros de origem mineral, animal e vegetal foram selecionados e utilizados como inspiração em um projeto experimental para a criação de estampas gráficas.

3. Projeto Experimental

Primeiramente foram escolhidos três materiais naturais representativos e diferenciados do Brasil, com o intuito de analisá-los com técnicas de microscopia. O objetivo foi analisá-los esteticamente para inspiração sob uma ótica de visualização não usual, para verificar detalhes imperceptíveis a olho nu. Foi selecionado um material de origem mineral, a ágata, um vegetal, o capim dourado, e um animal, a crina de cavalo. As coletas destes materiais para o projeto experimental foram feitas nas regiões sul e central do país. A metodologia utilizada como base para criação foi a de Cidade e Palombini (2022) e de Palombini *et al.* (2021).

3.1. Material Mineral: Ágata

Ágata é uma variedade de calcedônia (Figura 2), ocorrendo de forma compacta e por preenchimento de cavidades, como geodos e fraturas, entre outras formas de incidência (CIDADE, 2017; CIDADE *et al.*, 2018; DEER; HOWIE; ZUSSMAN, 1981). Os geodos são cavidades total ou parcialmente alocadas em rochas vulcânicas com formas arredondadas a ovoides, tendo suas dimensões entre 20 e 60 cm de diâmetro, embora a ocorrência de tamanhos maiores não seja incomum (JUCHEM *et al.*, 2007; MICHELIN *et al.*, 2021). Estes geodos, após coletados e selecionados (Figura 2 A), podem ser serrados ao meio ou em fatias. Nestes dois modos, os geodos de ágata transmitem visualmente uma espécie de “desenhos sucessivos”, acompanhando o formato externo da peça, exemplificado na Figura 2 B. Para fins estéticos, quando explorados, tais “desenhos” podem proporcionar um novo olhar para designers durante o processo criativo em variados produtos. Geologicamente, estes padrões são chamados de bandas, sendo visíveis a olho nu e compostos por camadas sucessivas de calcedônia ou, às vezes, intercalada com opala. As bandas de calcedônia são compostas de quartzo microcristalino e fibroso, orientados perpendicularmente à superfície das camadas individuais do bandamento (FRONDEL, 1962; SCHUMANN, 2006).

Figura 2: Geodos de (A) ágata e (B) chapas em diversas tonalidades evidenciando suas bandas.



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Além do Brasil, atualmente a ágata é encontrada em diversos lugares do mundo, como Botsuana, África do Sul, Egito, México, China e Escócia, e com diferentes tonalidades em seu interior (MILLER, 2016). Até o início do século XIX, os depósitos de ágata mais importantes localizavam-se em Idar-Oberstein, na Alemanha (SCHUMANN, 2006), onde atualmente estão esgotados. O Distrito Mineiro Salto do Jacuí (SJMD) está localizado na região central do Rio Grande do Sul e é um dos maiores produtores mundiais de ágata, com área de 250 km² de extração realizada em minas a céu aberto. Neste município, às margens dos rios Jacuí e Ivai, a principal extração de ágata é a variedade conhecida como “Umbú”, que possui coloração azul-acinzentada e bandas pouco desenvolvidas, sendo muito utilizado para tingimento (CIDADE *et al.*, 2018). Os tingimentos dados a este material natural nesta região dão-se através de corantes orgânicos inorgânicos e sintéticos, em tonalidades em azul, vermelho, preto, verde, rosa, roxo, entre outros.

A grande maioria dos produtos derivados da ágata processados e comercializados são objetos ornamentais ou artefatos decorativos, como móveis de pratos, suportes para livros, cinzeiros, relógios, pirâmides, esferas, obeliscos, cabos de talheres, entre outros. A ágata, independente de onde é extraída, é um material com aspectos visuais marcantes, cujas características naturais podem ser exploradas em projetos de design não convencionais. E partindo de suas características microestruturais marcantes, novas fontes de inspiração podem surgir a partir de diferentes modos de observação.

3.2. Material Vegetal: Capim Dourado

Na região central do Brasil, no bioma Cerrado encontra-se uma importante planta classificada como um produto florestal não-madeireiro, *Syngonanthus nitens* (Bong.). Apesar de comumente chamada de “capim dourado” devido ao alto brilho do caule (ou escapo) da inflorescência que lembra o ouro, a planta na verdade pertence à família Eriocaulaceae. *S. nitens* é uma planta perene com ocorrência em todas as regiões do Brasil, sendo reconhecida internacionalmente como fonte de produtos artesanais. Para manter sua renovabilidade, há uma série de restrições quanto aos períodos de colheita, o que contribui para seu manejo sustentável (OLIVEIRA *et al.*, 2014). O brilho dourado é o principal atributo da planta, já sendo alvo de investigações para compreender as razões de ter um aspecto visual tão distinto (BERLIM *et al.*, 2014). Na Figura 3, é apresentado o capim dourado enfatizando o seu aspecto dourado no caule.

Figura 3: Capim dourado e aspecto do brilho do seu escapo floral.



;Fonte: Elaborado pelos Autores.

A floração do capim dourado ocorre entre julho e agosto, e durante agosto e setembro ocorre a produção de sementes, as quais são dispersas naturalmente pela ação do vento em outubro, ou dispersas manualmente durante todo o período de colheita manual. Nos meses seguintes, as sementes podem germinar e crescer em forma de rosetas, mantendo assim um ciclo de colheita sustentável (SCHMIDT; FIGUEIREDO; SCARIOT, 2007). Quando ocorre a maturação e a planta está seca, o haste começa a se desprender da roseta. Quando o talo ainda não está pronto para a colheita, a roseta é retirada junto com a haste, o que leva à morte da planta. Assim, se a colheita antecipada for realizada – por desconhecimento sobre biologia, regras de colheita ou por exploração de matérias-primas – há um grande impacto ambiental. Após a colheita, as hastes das plantas são armazenadas em local seco e protegido do sol. Para o artesanato feito com o capim dourado, uma fibra extraída da planta buriti (*Mauritia vinifera* Martius) é usada para costura. Costurando as hastes de capim dourado com fibras de buriti, os artesãos as tecem torcendo-as em fios que são combinados em uma trama. Em seguida, o capim dourado é conformado em várias formas, dependendo do produto pretendido a ser criado. Vários produtos artesanais são fabricados com o capim dourado, incluindo cestas, chapéus, pulseiras, brincos, bolsas, cintos, e muitos outros itens.

3.3. Material Animal: Crina de Cavalo

Como em muitos países, os cavalos têm uma relação histórica com o Brasil, mantendo um papel importante para a vida, cultura e trabalho no país. No Brasil, existem aproximadamente 5,9 milhões de cavalos (*Equus ferus caballus*), segundo o IBGE (2020). Os animais são utilizados principalmente para lazer, esporte, competição, criação e desenvolvimento da pecuária e agricultura. Uma das raças mais importantes do sul do Brasil é o cavalo Crioulo (ADELMAN; CAMPHORA, 2019). A raça tem origem nos equinos espanhóis Andaluz e Jaca, trazidos da Península Ibérica no século XVI, por colonizadores (ABCCC, 2021). Estabelecidos principalmente na Argentina, Chile, Uruguai, Paraguai e no sul do Brasil, na região dos Pampas, com grande representação entre diferentes raças, muitos desses animais passaram a viver livres, formando rebanhos selvagens que, por cerca de quatro séculos, enfrentaram temperaturas extremas e condições de alimentação adversas. Tais adversidades ajudaram a estabelecer algumas de suas

características mais marcantes: rusticidade e resistência. Na Figura 4 é exemplificado o cavalo crioulo com o padrão de pelagem tobiano, e uma amostra de crina, a qual costuma ser periodicamente aparada por motivos estéticos, comerciais ou de saúde.

Figura 4: Cavalo crioulo e detalhe da crina aparada.



;Fonte: Elaborado pelos Autores.

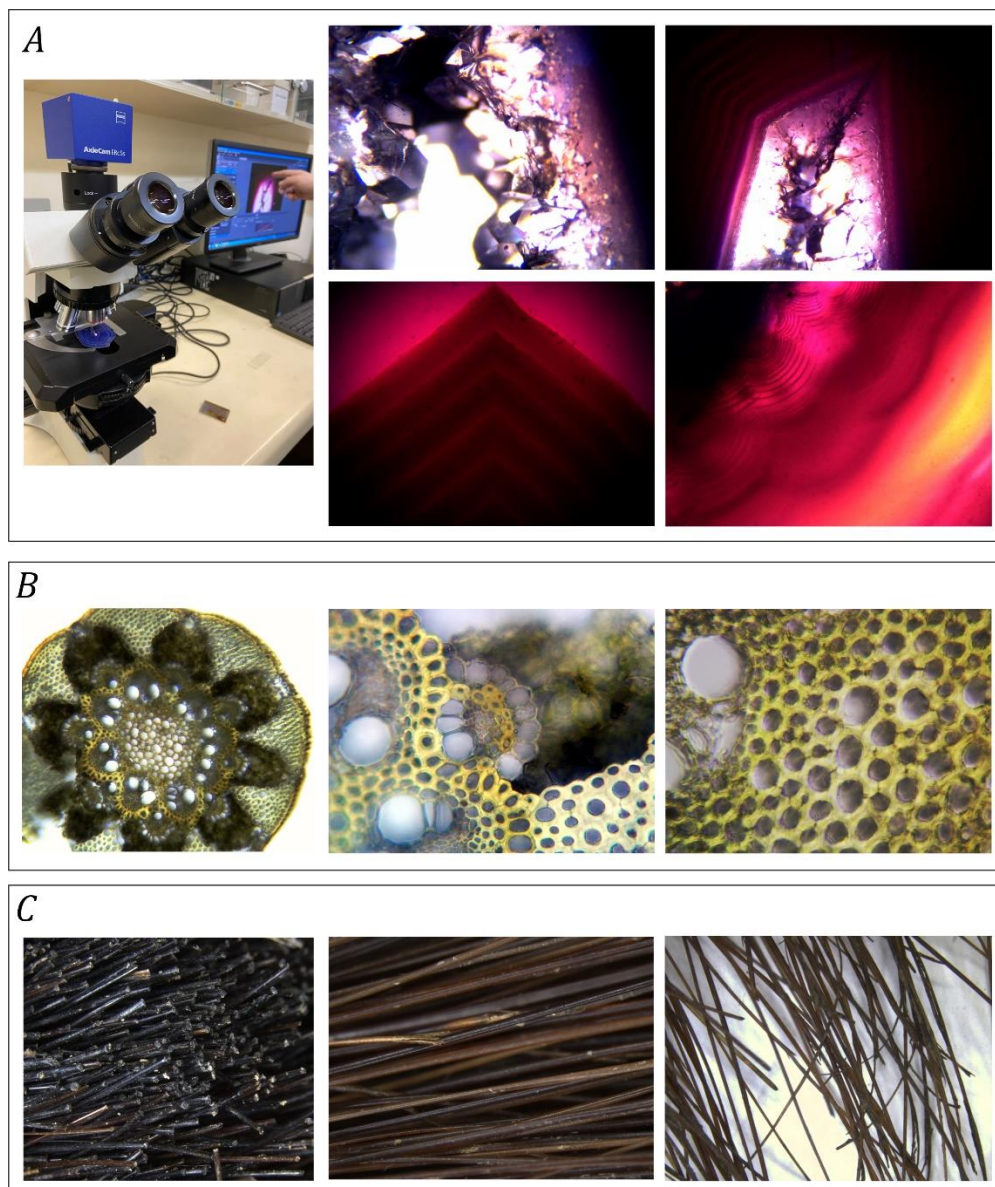
Em meados do século XIX, os agricultores do sul do continente tomaram consciência da importância e qualidade da raça. Bem definida e com características próprias, ela passou a ser preservada, vindo a ganhar notoriedade mundial a partir do século XX, quando a seleção técnica exaltou o seu valor e provou suas virtudes. No estado do Rio Grande do Sul, para uma estimativa de 520 mil cavalos, cerca de 386 mil estão registrados e identificados como Crioulos, o que representa 85% da quantidade dessa raça no país (ABCCC, 2021; IBGE, 2020). Na crina e cauda do cavalo encontra-se grande quantidade de fios com estruturas longas, geralmente maiores que 300 mm. O cabelo da cauda tem um diâmetro de fibra que varia de 75 μm a 280 μm , enquanto o da crina é mais fino, variando de 50 μm a 150 μm (KOZŁOWSKI; MACKIEWICZ-TALARCZYK, 2020). Em relação a estes fatores, o cavalo Crioulo diferencia-se de outras raças, cuja identidade regional é ampliada e muito apreciada em termos de morfologia, função e genética, destacando-se não só no mercado nacional como no internacional.

3.4. Microscopias e Processo criativo

As amostras coletadas foram observadas através de microscopia de luz. Ao invés de utilizar técnicas de maior resolução, como a microscopia eletrônica de varredura – que permitiria a observação de detalhes topológicos ainda mais sutis – optou-se pela microscopia de luz devido à capacidade de registrar tons e gradientes de cores, além de detalhes morfológicos suficientes. Os equipamentos do sistema de imagem utilizados foram o microscópio BX41 (Olympus® Co., Tóquio, Japão) e estereoscópico M165 FC (Leica® Microsystems, Wetzlar, Alemanha), disponíveis no Laboratório de Anatomia Vegetal (LAVeg) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Na Figura 5 são apresentados exemplos de fotomicrografias obtidas das amostras investigadas. Para a ágata, buscou-se selecionar regiões das amostras com representação mais marcante de bandas. Já para o capim dourado, amostras foram previamente

cozidas em água para amolecimento do haste floral, sem tingimento, sendo seguidas de seccionamento transversal manual. Para a crina de cavalo, somente uma separação uniforme foi realizada. As fotomicroscopias foram realizadas com ampliações de 4X a 20X.

Figura 5: Microscopias de amostras de (A) ágata, (B) capim dourado, e (C) crina de cavalo.



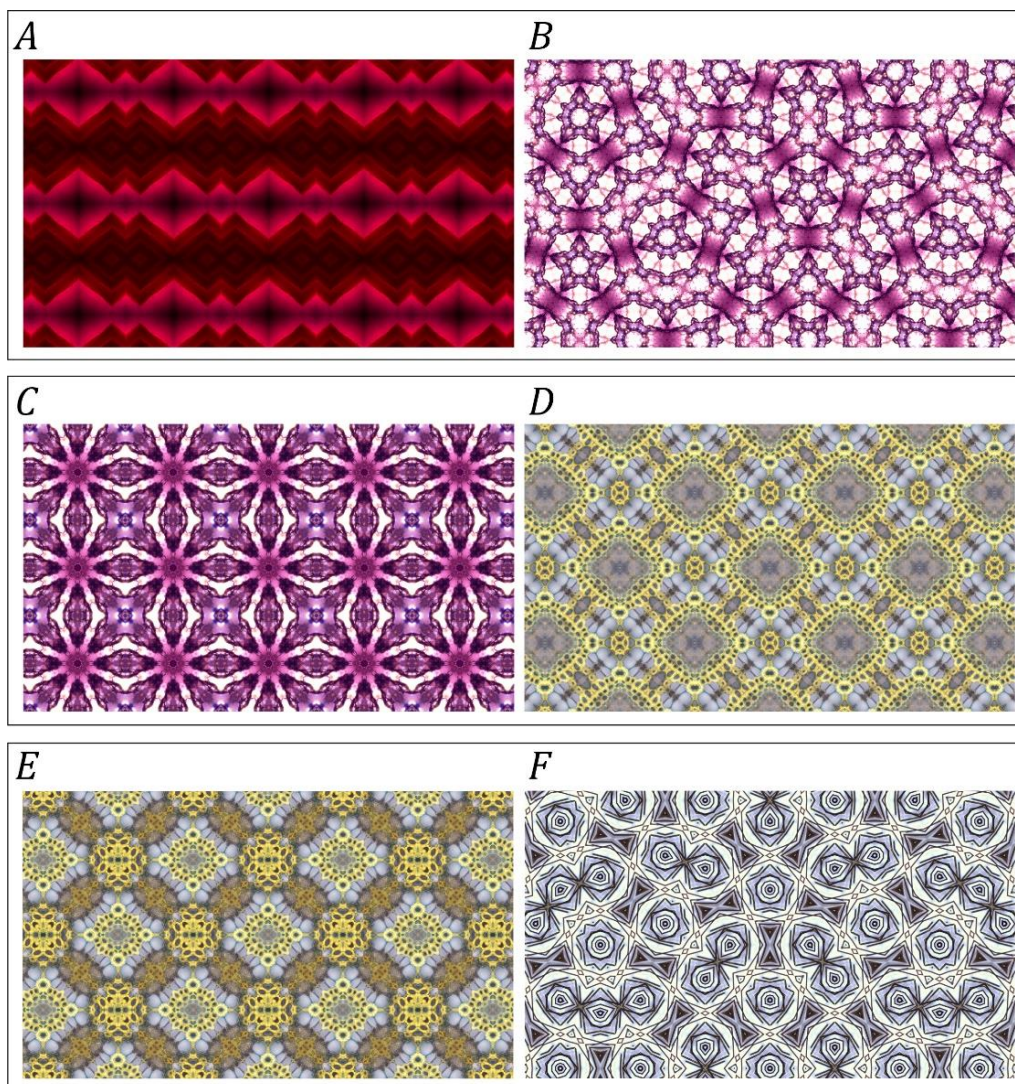
;Fonte: Elaborado pelos Autores.

As fotomicrografias de ágata (Figura 5 A) mostraram o aspecto distinto das geometrias das bandas, que se destaca pela diferença nos níveis de translucidez de cada região. Apesar da cor da variedade original de ágata da região sul ser cinza-azulada, a amostra observada consistiu em uma placa tingida de roxo-vermelho. Já as fotomicrografias do capim dourado mostraram o escapo de uma planta madura com paredes celulares lignificadas e o tradicional aspecto dourado dos tecidos (epiderme, colênquima, esclerênquima e clorênquima). Na Figura 5 B, podemos observar a beleza dos detalhes apresentados na fotomicrografia, com uma espécie de “rendado” natural. Outro ponto a destacar é as tonalidades encontradas nas imagens

fotomicrografadas, e não somente no exterior do caule à vista desarmada. Quanto às amostras de crina de cavalo (Figura 5 C), as fotomicrografias mostraram pelos fibrosos muito ásperos e com espessura uniforme.

Após as análises das fotomicrografias das amostras dos materiais naturais, foi realizado o processo criativo das estampas. Para isso, foi utilizado um *software* vetorial para a aplicação de um sistema de repetição e encaixe a partir de um módulo. Neste processo os módulos utilizados foram as próprias fotomicrografias. Os módulos desenvolvidos para este artigo foram baseados em *rapport* com diferentes meios de repetição, utilizados no design de superfície (RUBIM, 2010; RÜTHSCHILLING, 2008), por meio de um *software* vetorial. Na Figura 6, são apresentados os resultados deste processo criativo utilizando materiais naturais para o desenvolvimento de 6 estampas. Na Figura 6 A, B e C foi utilizado o módulo da ágata, e na Figura 6 D e E o capim dourado. Já na figura 6 F foi empregado a fotomicrografia da crina de cavalo.

Figura 6: Estampas da (A, B e C) ágata, (D e E) capim dourado e (F) crina de cavalo.



;Fonte: Elaborado pelos Autores.

De maneira geral, buscou-se basear tanto nas texturas originais obtidos pelas

microscopias de luz, em termos de padrões morfológicos e suas colorações, quanto em aspectos subjetivos relacionados aos materiais em si, e como é nossa relação com eles. Nota-se que o bandamento bem definido da ágata levou a padrões de repetição mais geométricos e bem definidos e com estampas que valorizassem a coloração avermelhada da amostra, remetendo aos processos de corte em chapas finas e polidas do material. O aspecto de renda da anatomia do capim dourado foi explorado em padrões que remetem a artesanatos e renda, associando as cores marcantes da planta à delicadeza dos trabalhos manuais que o empregam como matéria-prima. Já para a estampa baseado nas microscopias da crina do cavalo, a geometria retilínea das fibras e seu contraste foi utilizado em estampas com características tribais, evidenciando a associação do cavalo crioulo com a importância cultural e com tradições regionais.

4. Considerações Finais

Os materiais naturais estão fortemente ligados à história e ao desenvolvimento da humanidade, permanecendo em grande utilização até os dias de hoje. Sua pronta disponibilidade e renovabilidade ainda os fazem adequados para as mais diversas aplicações, as quais contribuíram diretamente para nossa evolução em direção às civilizações modernas. Além disso, sua variabilidade natural, raridade e singularidade também fizeram dos materiais naturais alguns dos mais raros, únicos e desejáveis, muitas vezes contribuindo para associá-los a riqueza, *status*, desempenho industrial, ou ainda a questões relacionadas a preocupação ambiental, ou mesmo a características culturais e comportamentos sociais.

Mesmo com processos de fabricação automatizados, e produções em grande escala, a maior virtude dos materiais naturais é preservada: sua característica de ser único. Valorizar esse atributo é uma parte essencial e inerente da utilização destes materiais. Pode-se dizer que suas propriedades estéticas são oriundas de falhas e imperfeições em diferentes escalas, da macro à microscópica, que trazem singularidade e valor aos bens de que são feitos. Possuindo estes materiais tanto potencial estético singular, buscou-se nesse trabalho valorizar aspectos visuais considerados pouco comuns, como a utilização de microscopias de luz, para ressaltar detalhes da anatomia (materiais biológicos) ou da microestrutura (materiais minerais).

Por fim, é possível ressaltar o potencial que materiais naturais possuem para serem explorados como fonte de inspiração para projetos de design, como as estampas desenvolvidas. Muito além de suas características externas, observáveis à vista desarmada, intrincados padrões microscópicos podem ser obtidos, ressaltando sua complexidade hierárquica e estrutural. Somando-se tais atributos organizacionais em escala microscópica com a característica do material em ser único em cada amostra, é possível desenvolver padrões de estampas com apelo estético diferenciado e variado.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Anatomia Vegetal (LAVeg) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) pela disponibilidade de equipamentos para preparação e visualização das amostras em microscopia de luz; à Prof^a. Ana Lúcia Oderich, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), pela doação das amostras de capim dourado (*S. nitens*); ao Comercial de Pedras Palludo, da cidade de Soledade (RS), pela doação das amostras de ágata; e à Cabanha Marca do Freio, da cidade de Tapes (RS), pela doação da crina de cavalo.

Referências

- ABCCC - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CRIADORES DE CAVALOS CRIoulos. **O Cavallo Crioulo**. Disponível em: <https://www.cavalocrioulo.org.br/studbook/cavallo_crioulo>. Acesso em: 11 nov. 2021.
- ADELMAN, M.; CAMPHORA, A. L. Crioulos e crioulistas. In: **Horse Breeds and Human Society**. [s.l.] Routledge, 2019. p. 104–120. DOI: <https://doi.org/10.4324/9780429024009-9>
- ASHBY, M. F. **Materials Selection in Mechanical Design**. Oxford: Pergamon Press, 1992.
- ASHBY, M. F. **Seleção de materiais no projeto mecânico**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.
- ASHBY, M. F.; JOHNSON, K. **Materiais e design : arte e ciência na seleção de materiais em projeto de produto**. 2ª ed. Rio de Janeiro: CAMPUS, 2011.
- ASHBY, M. F.; JONES, D. R. H. **Engineering Materials 2 : An Introduction to Microstructures and Processing**. [s.l.] Elsevier, 2013.
- BARRETO, S. DE B.; BITTAR, S. M. B. The gemstone deposits of Brazil: occurrences, production and economic impact. **Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana**, v. 62, n. 1, p. 123–140, 2010.
- BAYSAL, E. L. **Personal Ornaments in Prehistory : An Exploration of Body Augmentation from the Palaeolithic to the Early Bronze Age**. Oxford: Oxbow Books, 2019.
- BERLIM, L. S.; GONÇALVES, H. A.; DE OLIVEIRA, V. S.; MATTOSO, N.; PRUDENTE, A. S.; BEZERRA, A. G.; SCHREINER, W. H. Synghanthus nitens: Why it looks like spun gold. **Industrial Crops and Products**, v. 52, p. 597–602, 1 jan. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2013.11.030>
- BURDEN, E. **Illustrated Dictionary of Architecture**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 2012.
- CDB - CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY. **Brazil - Main Details**. Disponível em: <<https://www.cbd.int/countries/profile/?country=br>>. Acesso em: 4 nov. 2021.
- CIDADE, M. K. **Design e tecnologia para a joalheria : microtomografia da gravação a laser CO₂ em ágata e implicações para projetos com desenhos vetoriais**. 2017. 106 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.
- CIDADE, M. K.; PALOMBINI, F. L. Design de joias: proposição de metodologia para ensino voltado ao mercado joalheiro. **Design e Tecnologia**, v. 12, n. 24, p. 57–72, 7 set. 2022. DOI: <https://doi.org/10.23972/det2022iss24pp57-72>
- CIDADE, M. K.; PALOMBINI, F. L.; DUARTE, L. DA C.; PACIORNIK, S. Investigation of the thermal microstructural effects of CO₂ laser engraving on agate via X-ray microtomography. **Optics & Laser Technology**, v. 104, p. 56–64, ago. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2018.02.002>
- CIDADE, M. K.; PALOMBINI, F. L.; KINDLEIN JÚNIOR, W. Biônica como processo criativo : microestrutura do bambu como metáfora gráfica no design de joias contemporâneas. **Revista Educação Gráfica**, v. 19, n. 1, p. 91–103, 2015.
- CIDADE, M. K.; PERINI, J. T.; PALOMBINI, F. L. Bionics for Inspiration: A New Look at Brazilian Natural Materials for Application in Sustainable Jewelry. In: PALOMBINI, F. L.; MUTHU, S. S. (Eds.). **Bionics and Sustainable Design**. Singapore: Springer-Nature, 2022. p. 195–223. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-19-1812-4_8
- DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, J. **Minerais constituintes de rochas : uma introdução**. Lisboa:

Fundação Calouste Gulbenkian, 1981.

DEMOUTHE, J. **Natural Materials : Sources, Properties and Uses**. Oxford: Architectural Press, 2006.

FRONDEL, C. **The system of mineralogy of James Dwight Dana and Edward Salisbury Dana, Silica Materials**. 7th. ed. New York and London: John Wiley & Sons, Inc., 1962. v. III

GIBSON, L. J.; ASHBY, M. F.; HARLEY, B. A. **Cellular materials in nature and medicine**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2010.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **PPM - Municipal Livestock Production**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/en/statistics/economic/agriculture-forestry-and-fishing/17353-municipal-livestock-production.html>>. Acesso em: 11 nov. 2021.

JUCHEM, P. L.; STRIEDER, A. J.; HARTMANN, L. A.; BRUM, T. M. M. DE; PULZ, G. M.; DUARTE, L. DA C. Geologia e mineralogia das gemas do Rio Grande do Sul. In: **50 Anos de Geologia**. Porto Alegre: Comunicação e Identidade, 2007. p. 177–197.

KARANA, E.; PEDGLEY, O.; ROGNOLI, V. (EDS.). **Materials Experience : fundamentals of materials and design**. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2014.

KLASCHKA, U. Naturally toxic: natural substances used in personal care products. **Environmental Sciences Europe**, v. 27, n. 1, p. 1, 14 dez. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12302-014-0033-2>

KORINEK, J.; RAMDOO, I. Local Content Policies In Minerals-Exporting Countries : The Case of Brazil. **OECD Trade Policy Papers**, n. 209, 2017. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/https://doi.org/10.1787/4b9b2617-en>

KOZŁOWSKI, R. M.; MACKIEWICZ-TALARCZYK, M. (EDS.). **Handbook of Natural Fibres - Volume 1 : Types, Properties and Factors Affecting Breeding and Cultivation**. [s.l.] Elsevier, 2020.

LEFTERI, C. **Materials for design**. London: Laurence King Publishing, 2014.

LIESE, W.; KÖHL, M. (EDS.). **Bamboo : the plant and its uses**. Cham, SZ: Springer International Publishing, 2015.

MACNAB, M. **Design by Nature : Using Universal Forms and Principles in Design**. Berkeley, USA: New Riders, 2011.

MEYERS, M. A.; CHEN, P.-Y. **Biological materials science : biological materials, bioinspired materials, and biomaterials**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2014.

MICHELIN, C. R. L.; DUARTE, L. DA C.; JUCHEM, P. L.; BRUM, T. M. M. DE; MIZUSAKI, A. M. P. Depósitos de ágata e de opala no estado do Rio Grande do Sul. In: JELINEK, A. R.; SOMMER, C. A. (Eds.). **Contribuições à Geologia do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura, 2021. p. 355–370. DOI: <https://doi.org/10.29327/537860.1-21>

MILLER, J. **Jewel : a celebration of earth's treasures**. London: Dorling Kindersley Ltd., 2016.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Biodiversidade**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade>>. Acesso em: 4 nov. 2021.

OECD. **Trade in raw materials**. Disponível em: <<https://www.oecd.org/trade/topics/trade-in-raw-materials/>>. Acesso em: 4 nov. 2021.

OLIVEIRA, M. N. S. DE; CRUZ, S. M.; SOUSA, A. M. DE; MOREIRA, F. DA C.; TANAKA, M. K. Implications of the harvest time on *Syngonanthus nitens* (Bong.) Ruhland (Eriocaulaceae) management in the state of Minas Gerais. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 37, n. 2, p. 95–103, 1 jun. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/S40415-014-0049-2/FIGURES/4>

PALOMBINI, F. L.; CIDADE, M. K.; MAGRIS, D. A.; GHEDINI, J. V. S. Práticas projetuais transdisciplinares entre design e biologia: metodologia prática para o ensino de biônica. **Revista Educação Gráfica**, v. 25, n. 2, p. 245–257, 2021.

PALOMBINI, F. L.; MUTHU, S. S. (EDS.). **Bionics and Sustainable Design**. Singapore: Springer Nature Singapore, 2022.

PALOMBINI, F. L.; NOGUEIRA, F. M.; DE OLIVEIRA, B. F.; DE ARAUJO MARIATH, J. E. Two-Way Bionics: How Technological Advances for Bioinspired Designs Contribute to the Study of Plant Anatomy and Morphology. In: PALOMBINI, F. L.; MUTHU, S. S. (Eds.). **Bionics and Sustainable Design**. Singapore: Springer-Nature, 2022. p. 17–44. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-19-1812-4_2

PATTON, W. J. **Materials in Industry**. 1. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1968.

PEREIRA, H. **Cork : biology, production and uses**. Amsterdan: Elsevier, 2007.

PISELLI, A.; SIMONATO, M.; DEL CURTO, B. **Holistic approach to materials selection in professional appliances industry**. Proceedings of International Design Conference, DESIGN. **Anais...** 2016

RUBIM, R. **Desenhando a Superfície**. 2. ed. São Paulo: Edições Rosari, 2010.

RÜTHSCHILLING, E. A. **Design de Superfície**. Porto Alegre: UFRGS, 2008.

SCHMIDT, I. B.; FIGUEIREDO, I. B.; SCARIOT, A. Ethnobotany and effects of harvesting on the population ecology of *Syngonanthus nitens* (Bong.) Ruhland (Eriocaulaceae), a NTFP from Jalapão region, central Brazil. **Economic Botany**, v. 61, p. 73, 2007.

SCHUMANN, W. **Gemas do mundo**. Rio de Janeiro: Editora ao Livro Técnico, 2006.

SONG, X.; ZHOU, G.; JIANG, H.; YU, S.; FU, J.; LI, W.; WANG, W.; MA, Z.; PENG, C. Carbon sequestration by Chinese bamboo forests and their ecological benefits: assessment of potential, problems, and future challenges. **Environmental Reviews**, v. 19, n. NA, p. 418–428, dez. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1139/a11-015>

UNESCO. **Biodiversity in Brazil**. Disponível em: <https://en.unesco.org/fieldoffice/brasil/expertise/biodiversity-brazil>. Acesso em: 4 nov. 2021.

VALLI, M.; RUSSO, H. M.; BOLZANI, V. DA S. The potential contribution of the natural products from Brazilian biodiversity to bioeconomy. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 1, p. 763–778, 16 abr. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820170653>

VEZZOLI, C. A.; MANZINI, E. **Design for Environmental Sustainability**. London: Springer, 2008.

WEGST, U. G. K.; ASHBY, M. F. The mechanical efficiency of natural materials. **Philosophical Magazine**, v. 84, n. 21, p. 2167–2186, 21 jul. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1080/14786430410001680935>

WERNER, F.; RICHTER, K. Wooden building products in comparative LCA. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 12, n. 7, p. 470–479, 17 nov. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1065/lca2007.04.317>