

## **Sustentabilidade e Desenvolvimento no Século 21: Demandas para o Design de Materiais Avançados**

### *Sustainability and Development in the 21st Century: Demands for the Advanced Materials Design*

**Debora Barauna, mestre, Universidade Federal do Paraná (UFPR)**

debora.barauna1@gmail.com

**Dalton Luiz Razera, doutor, Universidade Federal do Paraná (UFPR)**

daltonrazera@ufpr.com.br

#### **Resumo**

O objetivo deste estudo foi compreender as direções de desenvolvimento da sociedade no Século 21 em relação à interface materiais e design. Para tanto, realizou-se uma revisão narrativa da literatura por meio de pesquisa bibliográfica e análise de conteúdo. Foi discutido o uso dos recursos materiais na ciência, na tecnologia e no design bem como a demanda por projetos de inovação para a efetiva transformação social. Os resultados apresentados convergiram em tendências para a sustentabilidade e para o design de materiais avançados. Foi destacado a humanização nos processos de pesquisa, desenvolvimento e inovação, além da demanda por maior colaboração e criatividade.

**Palavras-chave:** Design; Materiais Avançados; Inovação; Tendências; Sustentabilidade.

#### **Abstract**

*The aim of this study was to understand the development trends of society in the 21st Century in the interface "materials and design". A narrative review of the literature was carried out through bibliographic research and content analysis. It was discussed the use of material resources in science, technology and design as well as the demand for innovation projects to effective social transformation. The results show trends for sustainability and for advanced materials design with the humanization of research, development and innovation processes, as well as demand for greater collaboration and creativity.*

*Keywords:* Design; Advanced Materials; Innovation; Trends; Sustainability.

## **1. Introdução**

O homem desde a sua existência fez uso dos recursos naturais para a sua sobrevivência. No entanto, com o avanço das civilizações, o desenvolvimento econômico e tecnológico transformou o consumo dos recursos naturais em recursos materiais, ou seja, em matérias primas e insumos para a produção e consumo. No design os recursos materiais são utilizados para dar vazão às ideias. Isto decorre da união entre valores tangíveis e intangíveis dos materiais, tais como propriedades e características simbólicas, técnicas e funcionais desses. O objetivo é o uso do material em um produto orientado por demandas ou necessidades do usuário. No entanto, em um universo de aumento de complexidade e de níveis de insustentabilidade do planeta, com a escassez das fontes de fornecimento material, é preciso reavaliar as demandas para replanejar o uso dos recursos materiais por novos sistemas e processos de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) de materiais e produtos que resultem em soluções sustentáveis para a sociedade.

O planejamento de novos sistemas e processos de PD&I para a obtenção de soluções sustentáveis exige pensar em inovação no sentido de mudança ou transformação social. São necessárias ações de práxis (consciência), além de práticas, para buscar maior equilíbrio entre as dimensões social, econômica e ambiental da sustentabilidade. Isto passa em considerar os impactos socioambientais tanto do ponto de vista das escolhas de materiais (quem consome) como das ofertas (quem fornece e produz). Também compreende em redefinir propósitos para otimizar o uso dos recursos materiais e tornar os processos mais efetivos à sociedade, principalmente, no que tange ao planejamento dos extremos do processo, ou seja, as entradas e saídas. Na entrada dos processos deve se situar a conscientização dos limites entre o raro e real, como cita McBride (2011) com a identificação das reais demandas da sociedade. Na saída deve estar a oferta de soluções sustentáveis e inovadoras.

Por outro lado, na atualidade a implementação da inovação deve ser cada vez mais dinâmica, o que tem exigido a colaboração em processos de modo tanto multi e interdisciplinar como transdisciplinar. Porém, nos setores da ciência e tecnologia (C&T) de materiais, a integração e a interação com demais áreas do conhecimento, interessadas no processo de inovação, como o design, podem ser melhoradas, dinamizadas e humanizadas. Isto, considerando, principalmente, a realidade brasileira bem como a ideia da efetiva transformação social com a aplicação e difusão da inovação.

Assim, dentro deste contexto objetivou-se compreender os fluxos mundiais de desenvolvimento da sociedade no Século 21 em relação à C&T de materiais e o design, considerando questões tanto socioambientais como políticas e econômicas da humanidade. Para tanto, foi realizada uma revisão narrativa da literatura. Procedimentos de pesquisa bibliográfica e análise de conteúdo foram adotados para coleta, seleção, interpretação e síntese das informações. Os resultados encontrados destacaram a sustentabilidade como uma força motora para os avanços na C&T de materiais e design, além da consideração dos contextos e significados dos materiais ao produto. Também foi apontado a direção de novos processos de desenvolvimento simultâneos entre materiais avançados, alta tecnologia e design, remetendo a ideia do design de materiais avançados. Entretanto, observou-se, ainda, um demanda por maior colaboração e criatividade entre as partes interessadas nos processos de PD&I na interface materiais e design.

## **2. Método de pesquisa**

Foi realizado uma revisão narrativa da literatura "para descrever e discutir o desenvolvimento" do tema proposto "sob ponto de vista teórico ou contextual"(ROTHER, 2007, p.V). Um estudo de revisão narrativa da literatura caracteriza-se por uma pesquisa de mapeamento, onde, inicialmente, é realizado um levantamento bibliográfico amplo e aberto de trabalhos publicados com o uso de termos abrangentes de busca (VOSGERAU e ROMANOWSKI, 2014). Neste estudo os principais termos de busca empregados foram 'novos materiais', 'materiais avançados' ou '*advanced materials*', '*material innovation*' e '*innovative materials*'. Ambos relacionados ao design por meio do operador booleano *AND* ou outro, conforme o guia do sistema de busca utilizado, tais como o Google Acadêmico e Portal de Periódicos da CAPES. Desta forma, o estudo tratou-se de uma pesquisa qualitativa e bibliográfica, onde foram coletadas dados em livros, artigos de periódicos eletrônicos e de congressos entre outros, publicados no período de 2001 a 2015.

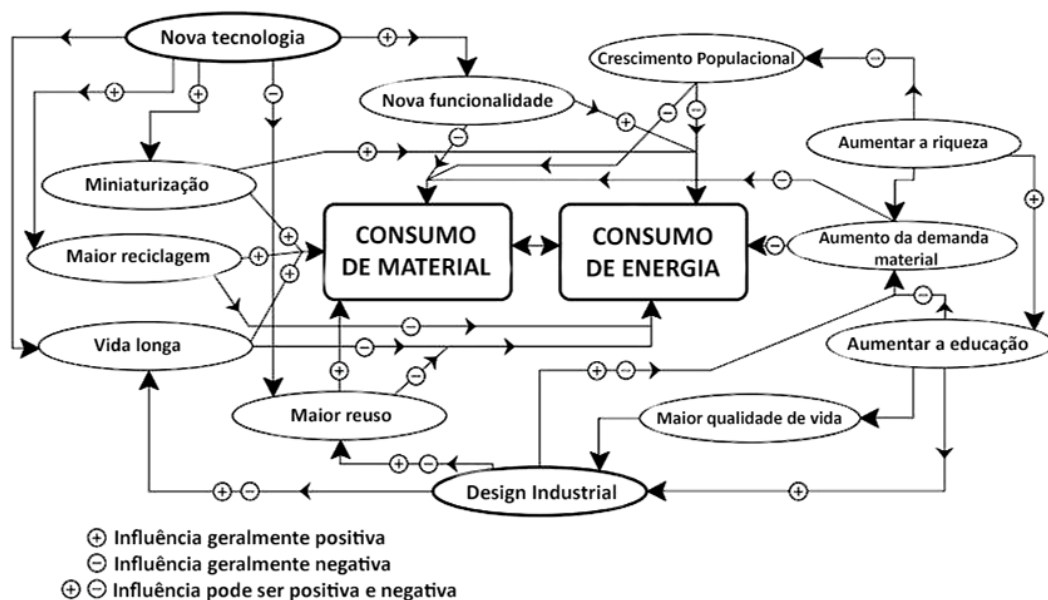
A análise de conteúdo do tipo "temática" foi empregada para a seleção e interpretação das informações obtidas. Tal tipo de análise "trabalha com a noção de tema, o qual está ligado a uma afirmação a respeito de determinado assunto; comporta um feixe de relações e pode ser graficamente representada por meio de uma palavra, frase ou resumo" (GERHARDT e SILVEIRA, 2009, p.84). Com a análise de conteúdo foi elaborado um ensaio teórico a fim de sintetizar e contextualizar o tema proposto, promovendo a discussão por meio da relação entre as produções anteriores identificadas e apontando perspectivas de "caminhos ou referências teóricas para novas pesquisas" (VOSGERAU e ROMANOWSKI, 2014, p.174).

## **3. Sustentabilidade e desenvolvimento**

A sustentabilidade na contemporaneidade é destacada com uma potencial condutora de avanços na C&T de materiais. Esta transforma a maneira como é pensado os processos de PD&I em materiais bem como questiona o modo como as tecnologias e os produtos são produzidos e consumidos. Sabe-se que toda atividade humana exerce impactos negativos sobre o meio ambiente, que tem capacidade limitada para absorver todos esses impactos sem danos irreversíveis (FIELD, CLARK E ASHBY, 2001). Só entre 1960 a 2010, em relação a todo o período anterior de existência da humanidade, a utilização dos recursos materiais foi aumentado 1.000 por cento (%) (McBRIDE, 2011). O que tem ocasionado ao planeta diversos problemas ambientais como a escassez dos recursos naturais. Com isso, muitos fabricantes de materiais e produtos no mundo tem desenvolvido novas tecnologias ou revisado as suas já existentes com o intuito de adaptarem-se às pressões ambientais existentes (BELL, 2011).

A ideia é que desenvolvedores de materiais e produtos assumam papel mais crítico e criativo sobre como otimizar os recursos materiais, bem como sobre como questionar o uso de resíduos e o pós-uso dos materiais e produtos considerando o seu retorno ao ciclo produtivo. "Em muitos casos, os produtos são desviados do fluxo de resíduos e convertidos em usos que apresentam maior valor quanto às suas aplicações originais". Materiais renováveis também estão a substituir o uso dos não renováveis. Fontes e plantas com

crescimento rápido estão em estudo pelo seu valor como combustível ou para a substituição de demais materiais tóxicos ou com a perspectiva de findar-se (BELL, 2011, p.6). Esse é o caso da celulose, um carboidrato rico em fibras que pode ser empregado tanto como fonte de combustão quanto usado em combinação com outros materiais ou, ainda, em substituição a demais materiais, tais como os de origem poliméricas (petróleo) e fibrosas (algodão) etc. No design as formas mais óbvias para preservar os recursos materiais são pela criação de produtos menores, mais duráveis e passíveis de reciclagem no fim da sua vida útil. "Porém, a obviedade aparente as vezes pode ser enganosa. Materiais e formas de energia partem de um complexo sistema interativo" (FIELD, CLARK E ASHBY, 2001, p.720). Conforme mostra a Figura 1 "a demanda, a produção e o preço dos materiais estão estreitamente relacionados com o consumo de energia. O consumo de energia na produção de materiais é da ordem de 15 a 25% de toda a energia primária utilizada nas economias industrializadas" (PADILHA, 2000, p.26).



**Figura 1: Influências no consumo de materiais e energia. Fonte: Field, Clark e Ashby (2001).**

"O diagrama traz à tona a complexidade". A saber: as linhas de conexão indicam influências; o sinal de mais [+] indica um resultado positivo; o sinal de menos [-] sugere uma influência negativa e um par de sinal de mais e menos [+/-] sugere que o condutor tem a capacidade de ser ambos influência positiva e negativa. Agora observem as linhas de influência das novas tecnologias e suas consequências como exemplo: O aumento da população com maior poder aquisitivo e grau de instrução possibilitou maior acesso aos produtos [+/-], por conseguinte acelerou o desenvolvimento de novas tecnologias [+]. Estas questões somadas às tendências dos sistemas de informação, da comunicação, do design e do comportamento humana, onde estar incluído na sociedade contemporânea significa em parte possuir a mais alta tecnologia e design do momento, gerou o modismo e dinamizou o uso e descarte dos produtos [-]. Em suma, novas tecnologias em forma de produtos catalisam o consumo e deliberaram sobre a obsolescência desses. Os autores do diagrama

apontam que "80% dos produtos eletrônicos são descartados enquanto ainda funcionam". Assim, mesmo que esses tenham sido projetados com materiais e energia a influir positivamente na sua vida longa, é a simples decisão de consumo do usuário que determina o tempo de vida útil desses produtos. O celular é o objeto mais expressivo para ilustrar esta questão. Por outro lado, vive-se em uma era em que novas tecnologias oferecem modos de energia mais limpo. Portanto, muitas vezes, estender a vida útil de produtos antigos, desenvolvidos com modos de energia menos eficientes, gera-se uma influência negativa sob o processo (FIELD, CLARK E ASHBY, 2001, p.720). Em contraponto, as tecnologias de energia limpa, como turbinas eólicas, energia para veículos elétricos e células solares de película fina, utilizam materiais com propriedades magnéticas, catalíticas e luminescentes que são classificados como críticos por possuírem alta demanda e substitutos limitados. A exemplo disto destacam-se os ímãs de neodímio empregados em turbinas eólicas e veículos elétricos. Outros materiais críticos como európio, térbio e ítrio são usados em lâmpadas fluorescentes, televisores de tela plana e telas de computadores. Assim, a "disponibilidade básica não é o único fator que afeta o risco global de fornecimento de um material crítico", demais fatores são: demandas tecnológicas concorrentes, (como computadores, telefones, celulares etc.); falta de diversidade de produtores e regulamentação de países considerados grandes produtores de matérias primas essenciais (ENERGY, 2016, p.2).

Desta forma, políticas de uso de materiais críticos já é uma realidade em vários países da Europa e no Estados Unidos. Em 2014, um Relatório da Comissão Europeia divulgou uma lista de 20 matérias primas com perspectivas de fornecimento crítico. Foram considerados riscos de escassez do material e a sua repercussão na economia. A China revela-se como o país mais influente quanto à oferta mundial dessas matérias primas essenciais, tendo o domínio de 15 dentre todas aquelas relacionadas. Vários outros países têm uma posição dominante no fornecimento de matérias primas específicas, como é o caso do Brasil com o nióbio, além do EUA, da Rússia, da África do Sul, da Turquia, do Cazaquistão e do Congo (EUROPEAN COMMISSION, 2014). Com este panorama, projetos de usos de materiais críticos devem se tornar cada vez mais estratégicos nas esferas políticas, ambientais, sociais e culturais tanto em instância local como global (McBRIDE, 2011).

De modo geral, Dobrzanski (2006) considera que a situação e as previsões atuais ao fornecimento e uso de recursos materiais, críticos ou não, exigem, cada vez mais, a coordenação de atividades estratégicas voltadas para a preservação das matérias primas disponíveis, consistindo em: (i) projetar para o uso econômico de materiais, principalmente, daqueles raros e com indícios de esgotamento, considerando o consumo mínimo de energia; (ii) usar materiais com maior disponibilidade de acesso e aproximação territorial da aplicação fim, considerando ainda a grande margem de sobrevida desses, bem como o menor consumo de energia; (iii) promover pleno uso da reciclagem para a reutilização e valorização dos materiais, quando houver garantia de redução do consumo de energia e insumos, além de se mostrar economicamente viável. Por exemplo, a reciclagem, reutilização e utilização mais eficiente dos materiais críticos poderiam contribuir para a redução do consumo de energia e da demanda de extração mundial (ENERGY, 2016, p.3). Entretanto, apenas 1 % dos materiais críticos são reciclados no final da vida útil de um produto (EUROPEAN COMMISSION, 2014). Neste contexto, Margarethe Hofmann-Amttenbrink no Simpósio Internacional de Materiais, MATERIAIS 2015 (2015), realizado na Universidade do Porto em Portugal, dissertou sobre materiais

críticos em produtos inteligentes como oportunidade e desafios para a C&T de materiais, engenharia e design. Em sua visão, a inovação em materiais leva um longo tempo desde a ideia até a comercialização em produtos. Assim, para evitar estratégias erradas de longo prazo de PD&I é necessário hoje e para o futuro considerar a pesquisa das reservas e da disponibilidade dos elementos críticos em materiais, como a mineração e o processamento, bem como o uso e o seu potencial de reciclagem.

Sobretudo, atrelar a sustentabilidade ao desenvolvimento continua a ser um desafio para a sociedade contemporânea. Todavia, direções em PD&I no Século 21 buscam aproximar o design aos materiais avançados a fim de obter maior previsibilidade de soluções que ofereçam maior qualidade ambiental e melhores condições de vida à sociedade. Algumas dessas direções, citadas na literatura entre 2001 e 2015, são apresentadas na sequência.

#### **4. Direções em PD&I no Século 21**

"Nada é estático". Materiais são melhorados para atender as necessidades de hoje, mas antes de as melhorias estarem completas, as condições limite são alteradas, exigindo novos desenvolvimentos (FIELD, CLARK e ASHBY, 2001, p. 724). A relevância dos materiais no desenvolvimento tecnológico aumentou de modo significativo entre os Séculos 20 e 21, "tornando-os, em muitos casos, fatores determinantes para a introdução de novas tecnologias e agentes fundamentais do processo de inovação" (CGEE, 2010, p.8). Porém, o período de obsolescência curto do conhecimento na C&T de materiais tem exigido, cada vez mais, estudos complexos e dinâmico em PD&I para aumentar o nível de conhecimento e acelerar a transferência de tecnologias à sociedade (DOBRZANSKI, 2006).

Com a contemporaneidade surgiu um "mundo novo e infinito dos materiais que selecionamos, escolhemos e combinamos para produzir outros, de cada vez mais alto desempenho" (KULA e TERNAUX, 2012, p.315). No Século 21 os novos materiais também foram chamados de materiais avançados, aqueles que são manipulados e controlados para que propriedades funcionais e desejadas possam ser criadas (PADILHA, 2000; BELL, 2011; DOBRZANSKI, 2006). Esses são obtidos por meio de "processos de síntese da matéria-prima, com controle das características estruturais do material", visando desempenho sistêmico e específico do produto acabado, o que é chamado também de design de materiais. Os materiais avançados "viabilizam engenhos e soluções de grande potencial estratégico" (CGEE, 2010, p.7), conduzindo a introdução radical de tecnologias e produtos (BELL, 2011). Desta forma, destacam-se na literatura diversas tendências relacionadas aos materiais avançados e ao design indicando direções de desenvolvimento da sociedade no Século 21. Algumas dessas são apresentadas na sequência de modo cronológico entre os anos de 2001 e 2015.

As direções de desenvolvimento do mundo no início do Século 21 diferem-se, expressivamente, daquelas do final do Século 20. O panorama deixado pelo último Século foi de um domínio dos materiais estruturais, do tamanho mínimo ou reduzido dos produtos bem como maior funcionalidade para esses e as prioridades foram noções de defesa, energia nuclear e espacial. Já no Século 21 as questões voltam-se para o crescimento econômico, a gestão do conhecimento e a saúde. Com uma indústria globalizada e um livre comércio virtual os atributos econômicos de materiais, a propriedade intelectual e as

estratégias de negócios são enfatizados. A ênfase também recai sobre novos estudos de materiais e tecnologias relacionados aos atributos não-estruturais de materiais elétricos, ópticos, magnéticos e biológicos. São propriedades de filmes finos, de superfícies ou de interfaces. Nas superfícies destacam-se também os atributos percebidos como cor, textura, sentir, além das associações que os materiais adquirem. Estágios de maturidade dos produtos e previsibilidade de novos cenários relançam o design, seus conhecimentos e sua capacidade criativa individual e coletiva ao encontro de conceitos e atributos associativos, percebidos, estéticos e emocionais para materiais e produtos. As preocupações ambientais ganham atenção pelos atributos ambientais de materiais, relacionando demanda, fornecimento de recursos materiais e impacto ambiental. O que tem exigido também soluções de análise de sistemas, além da consideração do uso de materiais renováveis, da prática de reciclagem e da extensão de vida dos produtos. Todas essas questões devem ser dirigidas de acordo com a economia e estratégias de desenvolvimento à implantação simultânea (FIELD, CLARK e ASHBY, 2001).

Para Dobrzanski (2006) a principal prioridade de desenvolvimento da C&T de materiais está na previsão entre estrutura, processo tecnológico e propriedades funcionais em sistemas complexos de desenvolvimento conjunto entre materiais, tecnologias e produtos direcionados para melhorar as condições de vida da sociedade e do meio ambiente. Com isso, a Tabela 1 apresenta áreas essenciais de desenvolvimento no mundo que devem guiar os avanços na C&T de materiais no início deste novo milênio.

**Tabela1: Direções de desenvolvimento do mundo para o Século 21 na C&T de materiais.**

PRIORIDADE	ESTRATÉGIA	PAPEL DA C&T DE MATERIAIS
<b>Melhoria da Condição de Vida</b>	É necessário uma utilização mais eficiente dos materiais e fontes de energia, de modo urgente, devido ao seu impacto negativo para o meio ambiente.	Novas tecnologias de geração de energia, essas com dispositivos mais eficientes em termos energéticos, materiais menos tóxicos e reciclagem.
<b>Sistema de Saúde</b>	Desenvolvimento de novos métodos de diagnóstico e terapêuticos, bem como novos dispositivos, aparelhos e drogas são necessários, devido à importância de prevenção de doenças, para limitar o alcance e as consequências de deficiências; devido à preocupação com a melhoria da saúde pública mundial.	Desenvolvimento e introdução de novos materiais, incluindo aqueles para o desenvolvimento de ossos artificiais, a administração segura de drogas, os sistemas de filtragem de água, bem como dos equipamentos de diagnósticos e terapêuticos.
<b>Transmissão de Informação e Comunicação</b>	Novas gerações de dispositivos de telecomunicações e de tecnologias de informações (TI), junto aos dispositivos periféricos, com a necessidade de aumentar a velocidade e a confiabilidade de conexão em rede mundial.	Determinar o progresso na revolução da TI e computador, bem como a introdução de novos materiais eletrônicos, ópticos e magnéticos.
<b>Bens de Consumo</b>	Intensificação de esforços para a satisfação do usuário, considerando prazos de entregas acelerados, com alta qualidade e confiabilidade, com menor preço possível ou preços justos, entregas em todas as localidades do mundo por serviços de qualidade e eficazes.	Desenvolvimento e a introdução de materiais que tornem possível melhorar a qualidade e utilidade dos produtos, bem como as formas de sua entrega, resultando em agilidade, facilidade de fabricação e melhores propriedades.
<b>Transporte</b>	São necessárias ações coordenadas em relação ao aumento da velocidade, segurança e conforto dos meios de transporte, visando melhorar as condições de viagem em conexão com projetos de negócios, descanso em terminais e a exploração espacial.	Desenvolvimento, entre outras, das carrocerias mais leves e acessórios feitos a partir de ligas de alumínio e magnésio, bem como de materiais compósitos; sistemas de freio para trens de alta velocidade; aviões emitindo muito menos ruídos; revestimentos de isolamento para ônibus espaciais e demais soluções técnicas.

**Fonte: Adaptado de Dobrzanski (2006).**

Ainda, o autor enfatiza que as atividades estratégicas da C&T de materiais no Século 21 voltam-se para o design de materiais, a ciência de materiais computacionais, os métodos analíticos avançados, a fabricação e o processamento, as nanotecnologias, os materiais inteligentes e a biomimética.

No Brasil o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, CGEE (2010, p.7) em sua publicação "Materiais Avançados no Brasil 2010-2022" atenta para eixos de propostas que podem "impulsionar a capacidade nacional de atendimento às demandas crescentes de matérias primas e insumos, dentro de padrões de sustentabilidade, competitividade e responsabilidade ambiental e social". O estudo do CGEE reconhece o país como um grande produtor de algumas das principais matérias primas de que depende a humanidade. Com isso, destaca na publicação oito temas como áreas portadoras de futuro para o país, considerando o potencial para o desenvolvimento tecnológico de setores específicos de interesse nacional ou de aplicação global e o aproveitamento ou a agregação de valor aos recursos naturais nacionais. Entre as áreas portadoras de futuro indicadas pelo CGEE está o meio ambiente e os recursos naturais biológicos e minerais. Outros temas apontados são: magnéticas, eletrônicas e fotônicas; energia; defesa nacional e segurança pública; atividades espaciais; saúde médico-odontológico; e tribologia.

Bell (2011) com uma visão mais ampla e ora convergente com o autores previamente citados, indica oito tendências mundiais que tem dirigido as novas pesquisas em materiais no Século 21, tais como: materiais como moda; segurança; moderno; tecnologia digital; biomimética; nanotecnologia; materiais verdes e materiais inteligentes.

Ashby e Johnson (2011) em uma relação direto com o uso de materiais no design, apontam para cinco entradas que tendem à influenciar o uso de materiais em um processo de design. Essas entradas são: o clima de investimento para a estratégia do negócio; as necessidades do mercado para a produção; os conceitos do design diante do usuário para a estética; a preocupação com o meio ambiente para a sustentabilidade e a ciência para os fatores tecnológicos. Os autores explicam que novos materiais e tecnologias são exploradas mediante as possibilidades de investimentos. Sendo essas dirigidas por questão econômicas vigentes e atreladas à um mercado de produção e consumo de produtos. A sustentabilidade insere-se neste contexto atrelada à atual consciência humana por maior qualidade de vida e redução considerável dos impactos negativos gerados ao meio ambiente. Já o design além de considerar os atributos advindo destes fatores, deve envolver também as questões estéticas e simbólicas em atendimento a um usuário cada vez mais exigente, que busca tanto melhores preços e funcionalidade em um produto como satisfação e prazer. Portanto, os avanços científico e tecnológico tornam-se cada vez mais essencial para direcionar os investimentos e o mercado, buscar soluções sustentáveis para a sociedade e promover novas experiências significativas ou com significados para as pessoas.

Por fim, Baykara (2015, p.82) afirma que os principais desafios no Século 21 para a C&T de materiais tendem a centrar-se em campos críticos de energia, ambiente, defesa e segurança interna, saúde, transporte, microeletrônica, nanotecnologia, espaço e aviação. Entre outros que exigem alta desempenho e propriedades melhoradas de materiais avançados. Como campos emergentes o autor cita os biomateriais, os materiais magnéticos ópticos e inteligentes e os nanomateriais. Segundo o autor na passagem para o Século 21 emergiram da ciência e tecnologia avançada "alta capacidade de modelagem computacional dos átomos e das moléculas para projetar e adaptar novas composições originais e funções sofisticadas" em materiais avançados. Isto associado ao rápido avanço



das nanociências e nanotecnologias, junto ao desenvolvimento de instrumentos analíticos, altamente capazes e eficazes para a realização de testes e análises de caracterização de micro e nanoestruturas (por exemplo, microscópios eletrônicos de resolução ultra elevada), conduziram a C&T de materiais para uma nova era de relações ao propósito do design de materiais avançados.

## 5. Discussão dos resultados

Diante das direções de desenvolvimento no Século 21 entre as áreas de materiais e design observou-se que muitas das tendências apresentadas traduziam-se em considerações para a sustentabilidade em processos de PD&I de materiais, tecnologias e produtos, além da recente visão humanista instaurada nas ciências e práticas. Por exemplo, entre as oito tendências mundiais indicadas por Bell (2011) quatro indicam relação direta com a sustentabilidade e são enfatizadas na Tabela 2, tais como: (i) a nanotecnologia; (ii) os materiais verdes, (iii) a biomimética e (iv) os materiais inteligentes. Algumas dessas também são citadas por Field, Clark e Ashby (2001); Dobrzanski (2006); Ashby e Johnson (2011) e Baykara (2015).

**Tabela 2: Tendências para a sustentabilidade na interface materiais e design.**

TENDÊNCIAS	DESCRIÇÃO
<b>Nanomateriais</b>	São aqueles materiais manipulados a partir de nanopartículas existentes na natureza. Um exemplo é a nanocelulose, considerada um material promissor em relação à substituição do petróleo. Esta pode ser de síntese química, mecânica ou biológica, como é o caso da celulose bacteriana, a qual se enquadra também na convergência dos materiais verdes.
<b>Materiais verdes</b>	A última tendência em materiais verdes são aqueles que aderem à certificação <i>Cradle to Cradle</i> ® (BELL,2011) fornecido pela Programa <i>Cradle to Cradle Product Innovation Institute</i> (C2CPH). Diferentemente de muitos processos de certificação, como a ISO 14001, que confere qualidade ambiental ao processo produtivo, o C2CPH visa auditar e creditar o produto com status de alta qualidade à saúde humana e ao meio ambiente. A certificação apresenta cinco critérios de avaliação, tais como: design de materiais seguros à saúde; design de produtos para reciclabilidade; uso de energias renováveis; gestão da qualidade da água; e responsabilidade social (EPEA, 2016). Sua certificação é internacional e guiada pelo conceito da Teoria <i>Cradle to Cradle</i> ®. Segundo Braungart e McDonough (2013) este conceito impõe a necessidade de uma economia circular, orientada para o desenvolvimento de toda a cadeia produtiva dos materiais e produtos por meio de dois ciclos, um biológico e outro técnico.
<b>Biomimética</b>	É uma ciência multidisciplinar que estuda a natureza com a finalidade de "aprender com ela e não sobre ela (de <i>bios</i> = vida e <i>mimesis</i> = imitação)" (XXVI PRÊMIO JOVEM CIENTISTA, 2012, p.78). O design aplica a biomimética na criação de novos produtos ou para a solução de problemas nos produtos existentes. O objetivo da aplicação é encontrar inspiração na observação de suas estruturas, seus processos, suas funções, suas organizações e relações naturais. "Seja qual for o problema do produto a ser desenhado, provavelmente, a natureza já testou e selecionou soluções" (XXVI PRÊMIO JOVEM CIENTISTA, 2012, p.79). Na área da C&T de materiais há um interesse crescente em aprender novos princípios por meio de sistemas biológicos, especialmente, para a criação de dispositivos biomédicos mais compatíveis com o organismo humano. Isto tornou-se possível com o advento da concepção de materiais (OSLON, 2001).
<b>Materiais Inteligentes</b>	São aqueles concebidos para serem responsivos a estímulos externos, tais como: stress; temperatura; umidade; pH; elétrico ou magnético. As suas propriedades podem ser alteradas de forma previsível ou de modo controlado em resposta ao seu ambiente (BELL, 2011), oferecendo tanto facilidade de uso como contribuições para o meio ambiente.

**Fonte: Elaborado pelos autores.**

Além da sustentabilidade, as prioridades para o desenvolvimento de materiais e produtos no Século 21 consideram a ideia do design de materiais avançados, destacada por Dobrzanski (2006) e Baykara (2015). De modo conexo, campos da C&T de materiais e do design voltam-se para o contexto e para o valor humano como fatores imprescindíveis para a tomada de decisão nas escolhas ou concepção de materiais avançados ao produto. Isto foi reforçado por Oslon (2001) quando ele ditou a existência da Idade do Design como a era do pensamento material ou da consciência sobre como criá-lo ou projetá-lo para um novo mundo material. "Dar às pessoas acesso aos produtos e bens de consumo decidindo, diretamente, sobre o grau de qualidade de vida, o intercâmbio de informação, o nível da qualidade da educação, o potencial dos serviços de saúde e muitos outros aspectos do ambiente em que vivemos" (DOBRZANSKI, 2006, p.147). Isto expõem o quadro da necessidade de uma profunda visão humanista na interface entre materiais e design, onde questões materiais desempenham um papel importante em direção das possibilidades de desenvolvimento da sociedade. A intensificação do valor humano e da compreensão dos contextos socioculturais, políticos, econômicos etc. propõe a união de múltiplos saberes particulares com a experimentação *in loco* (contexto) e tendem à contribuir para o encontro de novos significados em materiais e produtos. Isto oportuniza a inovação e a visualização de novos cenários em processos de PD&I. Bell (2011) também traz esta questão como uma tendência quando trata dos materiais como moda. O material fornecer tanto funcionalidade técnica ao produto como personalidade (ASHBY e JOHNSON, 2011; BELL, 2011).

Contudo, apesar das direções de desenvolvimento da sociedade no Século 21 destacarem uma relação mais próxima entre as áreas da C&T de materiais e o design, segundo Ashby e Johnson (2011) o que se observa ainda é uma lacuna na comunicação e interação entre designers e desenvolvedores de materiais. Para os autores futuros avanços nesta relação dependerão fortemente da colaboração mútua entre as áreas. Baykara (2015) corrobora com essa visão apontando que a inovação, criatividade e extensa colaboração em PD&I estão se tornando os principais pilares para quase todas as organizações. Entretanto, o autor pondera que apesar de novas conquistas técnicas e científicas surgirem regularmente, ainda há uma falta de pesquisa em tecnologia e gestão da inovação de materiais avançados, considerando suas características diversas e multisetoriais, tais como: inovação e criatividade; colaboração em redes; desempenho crítico e multifunções especiais. Por fim, com a tendência para a gestão do conhecimento indicada por Field, Clark e Ashby (2001) e para o design de materiais avançados da C&T de materiais apontada por Dobrzanski (2006) e Baykara (2015), junto à teoria e prática do design ressaltada, principalmente, por Oslon (2001); Field, Clark e Ashby (2001) e Ashby e Johnson (2011) têm-se uma combinação de áreas potenciais para a criação de projetos de gestão da inovação em materiais, tecnologias e produtos no Século 21.

## **6. Conclusão**

Conclui-se compreendendo que a formulação dos materiais avançados oportunizou a inserção do pensamento sistêmico e preditivo aos processos de PD&I em novos materiais, tecnologias e produtos. Tal pensamento foi chamado de design de materiais e dirigido por várias tendências para a inovação e o desenvolvimento da sociedade no Século 21. Muitas dessas tendências traduzem-se na consideração da sustentabilidade nos processos de PD&I,

além da recente visão humanista instaurada nas ciências e práticas pela inserção da criatividade e colaboração nos processos.

Assim, as tendências de desenvolvimento no Século 21, cada vez mais, aproximam-se das ciências naturais. Isto tendem a influir no design de materiais avançados direcionados para a aplicação em produtos de modo mais significativo para as pessoas, para a sociedade e para o meio ambiente, por meio da consideração de valores tangíveis e intangíveis. Com esta perspectiva abre-se um campo amplo de oportunidades de estudos em PD&I, tais como: sobre as experiências materiais para as pessoas, relacionadas à tendência de materiais como moda; sobre as reais demandas para a sociedade e seus problemas complexos (*wicked problems*) e sobre a criação de inovações sustentáveis, como aquelas introduzidas pela teoria *Cradle to Cradle*.

As soluções sustentáveis e inovadoras são uma demanda vigente, o que exige do design e da C&T de materiais considerar está questão intrínseca aos seus processos e direcionar seus questionamentos para as reais demandas da sociedade. Concorda-se com McBride (2011) quando a autora afirma que os designers devem ajudar as pessoas a reconhecerem e respeitarem os limites entre o raro e real, fazendo alusão aos materiais críticos e às demandas por desejos. Muitos designers ao buscar a inovação criam desejos para os usuários. Porém, no Século 21, a criação em design deve estar, necessariamente e intuitivamente, atrelada a uma consciência material.

## Referências

- ASHBY, M.; JOHNSON, K. *Materiais e Design: arte e ciência da seleção de materiais no design de produto*. 2º ed. Elsevier. Rio de Janeiro, 2011.
- BAYKARA, T. From the classical scheme to a smart/functional materials system: A generic transformation of advanced materials technologies. In: 3<sup>rd</sup> International Conference on Leadership, Technology and Innovation Management. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, n.181, p. 79 – 88, 2015.
- BELL, B. *Material Intelligence: An Overview of New Materials for Manufacturers*. PFIInnovation, Canadá, 2011.
- BRAUNGART, M.; MCDONOUGH W. *Cradle to Cradle: Criar e reciclar ilimitadamente*. 1st ed., Editora G. Gili, São Paulo, 2013.
- CGEE. *Materiais Avançados no Brasil 2010-2022*. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010.
- DOBRZANSKI, L. A. Significance of Materials Science for the Future Development of Societies. *Journal of Materials Processing Technology*, n. 175, p. 133–148, 2006.
- ENERGY. Top 10 things you didn't know critical materials. Disponível em: <<http://energy.gov/articles/top10thingsyou didntknowaboutcriticalmaterials>>. Acesso em: jan. 2016.
- EPEA. *Cradle to Cradle*. Disponível em: <<http://epea-hamburg.org/en/content/cradle-cradle-certifiedtm-certification>>. Acesso em: jan. 2016.

EUROPEAN COMMISSION. Report on critical raw materials for the EU Report of the Ad hoc Working Group on defining critical raw materials May 2014 Disponível em: <[http://www.catalysiscluster.eu/wp/wp-content/uploads/2015/05/2014\\_Critical-raw-materials-for-the-EU-2014.pdf](http://www.catalysiscluster.eu/wp/wp-content/uploads/2015/05/2014_Critical-raw-materials-for-the-EU-2014.pdf)>. Acesso em: jan. 2016.

FIELD, F.R., CLARK, J.P., ASHBY, M.F. Market Drivers for Materials and Process Development in the 21st Century. *MRS BULLETIN*. 2001.

GERHARDT, E.; SILVEIRA, D. T. Métodos de pesquisa. Universidade Aberta do Brasil – UAB / UFRGS, Curso de Graduação Tecnológica – Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural da SEAD/UFRGS. – Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

KULA, D.; TERNAUX, E. *Materiologia: o guia criativo de materiais e tecnologias*. São Paulo: Senac, 2012.

MATERIAIS 2015, Simpósio Internacional de Materiais. Palestrante convidado, Margarethe Hofmann-Amténbrink. *Critical materials in smart products: Chances and Challenges for Materials Science and Engineering*. Disponível em: <<https://paginas.fe.up.pt/~materiais2015/wd/conference/invited-speakers/>>. Acesso em jun. 2015.

MCBRIDE, M. *Catalyst: Strategic Design Review*. n.7, 2011.

OSLON, G. B. Beyond Discovery: Design for a New Material World. *Calphad*, v.25, n.2, p. 175-190, 2001.

PADILHA, A. F. *Materiais de Engenharia: Microestrutura e propriedades*. Curitiba: Hemus, 2000.

ROTHER, E. T.. Revisão sistemática X revisão narrativa. *Acta paul. enferm.*[online]. v.20, n.2, p.V-VI, 2007.

VOSGERAU, D. S. A. R.; ROMANOWSKI, J. P. Estudos de revisão: implicações conceituais e metodológicas *Rev. Diálogo Educ.*, Curitiba, v. 14, n. 41, p. 165-189, jan./abr. 2014

XXVI PRÊMIO JOVEM CIENTÍSTA. Aplicação e desenvolvimento de materiais esportivos. In: *Kit Pedagógico. Caderno de Conteúdo*, 2012. Disponível em: <[http://estatico.cnpq.br/portal/premios/2013/pjc/imagens/publicacoes/07\\_KitXXVIPJC\\_CadernoConteudo\\_Cap3.pdf](http://estatico.cnpq.br/portal/premios/2013/pjc/imagens/publicacoes/07_KitXXVIPJC_CadernoConteudo_Cap3.pdf)>. Acesso em: jul. 2014.