

# A QUESTÃO DA SUSTENTABILIDADE EM MATERIAIS PLÁSTICOS

*Vicente de Paulo Santos Cerqueira*

Este artigo retoma as discussões apresentadas na mesa-redonda sobre “Eco-materiais” acontecidas na edição do SBDS+ISSD de 2017, em Belo Horizonte/MG, trazendo à tona aspectos referentes ao cenário produtivo de polímeros plásticos relacionados às questões ambientais, em razão das críticas estabelecidas ao longo das últimas décadas. De certo que estas discussões são realizadas de maneira resumida, pois as temáticas que envolvem a rede produtiva em plásticos e o meio ambiente, além de complexas, são consideravelmente extensas. Sendo assim, este trabalho cita e comenta alguns dados e informações que poderão nortear reflexões críticas a partir da perspectiva sobre a sustentabilidade produtiva em polímeros plásticos, tendo como referências o cenário produtivo, o meio ambiente e os programas de integração.

Com o advento da industrialização acreditava-se que os recursos naturais seriam infinitos. Porém, em pouco mais de um século esta realidade mudaria para um cenário de escassez e saturação ambiental. A esse respeito, Mano *et al.* (2005) citando a Comissão Brundtland observam que o esgotamento dos recursos naturais, derivados da produção e do consumo excessivos, indicaria a necessidade de se rever toda dinâmica desenvolvimentista, sobretudo nas relações que envolvem o conjunto da sociedade com o meio ambiente. Neste

cenário é que se estabelece a necessidade de reflexões sobre os procedimentos que remetem à obtenção, ao uso e ao descarte dos recursos naturais de modo permanente e equilibrado.

Segundo a Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST, 2015), uma cidade com três milhões de habitantes gera, aproximadamente, 130 mil toneladas/ano de resíduos sólidos. Grande parte desse montante será depositada em aterros sanitários ou descartada nos “lixões”. Desse total, estima-se que 48% são materiais residuais que poderiam ser novamente incorporados aos sistemas produtivos e desse montante 18% são polímeros (plásticos e borrachas). O restante (52%) dos resíduos é constituído de material orgânico diverso. A mistura de resíduos industrializados com rejeitos orgânicos derivados do pós-uso corresponde ao principal problema ambiental enfrentado pela maioria das grandes cidades.

Grande parte da crítica ao uso indiscriminado dos recursos naturais recai sobre os materiais e suas relações ambientais - índice de poluição. Entretanto, ao analisar o ciclo de vida dos produtos, tendo por base as estruturas produtivas, verifica-se o consumo de outros recursos naturais que passam despercebidos, pois são de difícil mensuração qualitativa e quantitativa. Recursos como energia, solo e água são fundamentais para que todos os sistemas produtivos funcionem de maneira plena.

Independentemente da matriz energética, calcula-se que, aproximadamente, 20% de toda energia mundial é desperdiçada com algum problema tecnológico ou de maus hábitos sociais. Essa perda é derivada de questões que envolvem a industrialização, pois 70% de toda produção mundial de energia concentra-se em cinco macrorregiões do planeta. Dados da *International Energy Agency* (2016) indicam que grande parte da energia mundial é gerada a partir de fontes não renováveis (86%), enquanto as fontes renováveis respondem por apenas 14% de toda produção.

Segundo a Empresa de Pesquisas Elétricas (EPE) (2018), a matriz energética brasileira apresenta um quadro mais equilibrado, 43,5% da geração de energia está baseada em fontes renováveis, tendo como principal as hidroelétricas com 65,2%. As denominadas energias “alternativas”, tais como, a biomassa, a solar e a eólica respondem juntas por 15% da energia. Estima-se que 11,4% são desperdiçadas durante a transmissão e o consumo. A EPE indica que o setor industrial apresentou uma taxa média de 6% de perda de energia. Os setores de comércio e de serviços apresentam juntos 11% de perdas, enquanto o consumo doméstico fica em torno de 15%. Atualmente, o Programa Nacional de Conservação de

Energia Elétrica – PROCEL, instituído pelo Ministério das Minas e Energia, por meio do Decreto Presidencial N°. 8/1993 é o principal programa brasileiro que visa orientar a sociedade sobre a redução e o desperdício do consumo de energia.

De todos os recursos naturais, o mais difícil de mensuração em estruturas produtivas está relacionado ao uso do solo. Kon (1999) comenta que o solo tem um papel de extrema importância no cenário industrial, pois remete aos aspectos de localização e regionalização e, por conseguinte, toda infraestrutura necessária à atividade produtiva. De acordo com as características do solo (e subsolo) as relações econômicas de ocupação e exploração mudam, condicionando determinadas regiões a programas de desenvolvimento específico. Segundo dados do GITE/Embrapa (2017) grande parte do solo brasileiro (63%) é constituída por florestas nativas públicas e privadas, 30% se destina às atividades agropecuárias, sendo 22% de pastagens e 9,0% destinadas à agricultura ou florestas plantadas e apenas 3,5% representa áreas urbanas ocupadas pela maioria da população brasileira e congregando grande parte da atividade industrial.

A degradação dos solos ocorre por causas naturais (fenômenos geológicos e climáticos) ou artificiais, ocasionadas por ações poluidoras visíveis através da deposição de resíduos sólidos ou invisíveis através de agentes químicos, saturação por metais entre outros que ocasionam danos à superfície e às camadas subsequentes. O impacto ambiental ocasionado por atividades extrativistas, mineradoras e de infraestrutura alteram as características dos solos. A principal causa da degradação do solo urbano é a ocupação desordenada de regiões de APAs, encostas de morros, margens de rios e lagoas. Esses fatos requisitam cada vez mais controle de manejo preventivo e corretivo do solo, por meio do gerenciamento de resíduos, a fim de contribuir com ganhos em qualidade de vida.

O planeta possui uma superfície coberta por 71% de água, sendo 2,6% de água doce e pouco mais dessa metade em estado líquido. Calcula-se que 1/4 desta totalidade apresenta algum tipo de contaminação por excesso de matéria orgânica, por metais pesados entre outros problemas que requisitam, cada vez mais, investimentos em tratamentos e purificação, visando adequá-la ao consumo doméstico, agropecuário e industrial. Segundo dados do Ministério do Meio Ambiente (2017), o consumo de água no Brasil apresenta a relação de 70% nas atividades agrícola e pecuária, 22% na atividade industrial e 08% para consumo doméstico.

O principal problema ambiental referente à água está relacionado ao seu descarte no pós-uso. Algumas tecnologias permitem o reuso da água e outras necessitam de tratamentos especiais antes de seu descarte, devido à alta concentração

de partículas sólidas ou de agentes químicos derivados do processo produtivo. Os principais problemas no consumo doméstico são o desperdício e a falta de tratamento sanitário. Avalia-se que 40% de toda água potável é desperdiçada por falhas no sistema distribuição ou pelo mau uso, assim como 48% dos domicílios brasileiros não possuem qualquer tipo de tratamento sanitário para descarte de água usada (SNIS, 2017).

As atividades agropecuárias têm como principais problemas no uso dos recursos hídricos a contaminação do lençol freático e de rios por defensivos agropecuários (pesticidas e herbicidas), desvios de cursos d'água com o desmatamento ou a substituição da floresta nativa entre outras, apesar do valor socioeconômico da produção.

## O CENÁRIO PRODUTIVO EM POLÍMEROS PLÁSTICOS

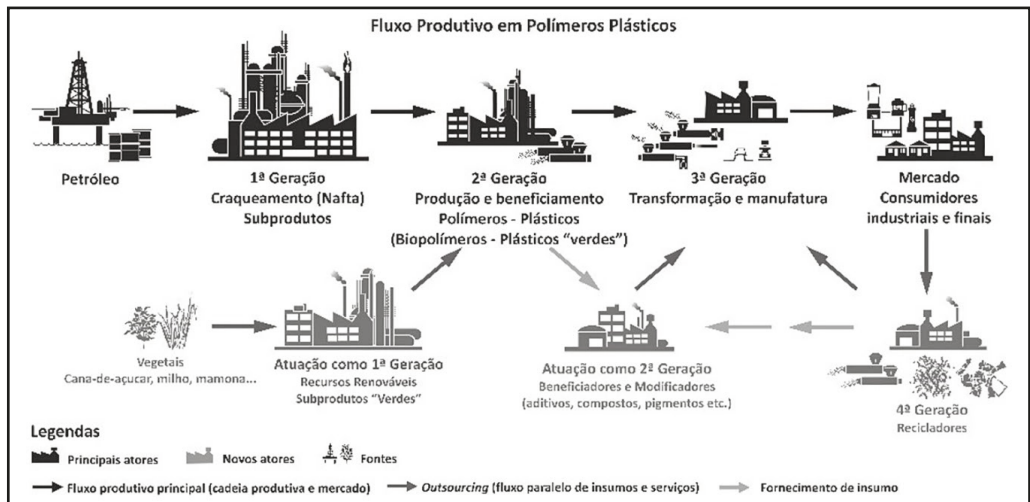
A estrutura produtiva em polímeros se constitui como um desdobramento da cadeia petroquímica a partir do fornecimento de parcelas da nafta ou do gás natural à indústria de primeira geração. Esse segmento constitui-se por produtores de matéria-prima ou insumos primários destinados à indústria de segunda geração, formada por produtores de resinas e outros derivados. Tais produtos são destinados à indústria de terceira geração, constituída por empresas transformadoras de manufaturados.

As relações existentes no fluxo produtivo de polímeros no Brasil não apresentam diferenças significativas se comparadas às existentes em países com maiores índices de industrialização. Porém, o segmento de transformação apresenta algumas situações críticas, se comparado a outros *players*. De modo geral, a cadeia produtiva em polímeros apresenta competências diferenciadas em seus níveis, determinando ações específicas face ao posicionamento das empresas. Nas etapas iniciais, as competências se fundamentam no acesso às matérias-primas básicas, na produção em escala e na redução dos custos. Conforme a fluxo se desenvolve essas competências passam a figurar sob outros atributos, tais como: produção em escopo, capacidade inovativa (inclusive em design), formação de parceria, logística e distribuição, ações de marketing entre outros aspectos, conferindo às empresas partícipes condições estratégicas diferenciadas (CERQUEIRA; HEMAIS, 2003).

Nas últimas décadas, verifica-se que a cadeia de polímeros plásticos vem apresentando novos atores ao fluxo produtivo, a partir do fornecimento de hidrocarbonetos derivados de fontes renováveis para a produção dos chamados

“plásticos verdes”. Consta-se, ainda, a ocorrência de novos empreendimentos destinados à modificação de propriedades dos plásticos, à inserção de grupos e agentes sociais destinados à coleta e reciclagem, assim como, o desenvolvimento de tecnologias computacionais aplicadas aos materiais e processos poliméricos, conforme esquematizado na Figura 1.

Figura 1- Representação da cadeia produtiva de plásticos e novas inserções ao sistema produtivo



Fonte: Elaborado pelo autor, 2016.

Essas inserções no sistema produtivo em plásticos alimentam a ideia de rede produtiva, incorporando atores pertencentes a outros fluxos produtivos de maneira *outsourcing*, visto que há diversos pontos de inter-relacionamento no fornecimento de insumos, produtos e/ou de serviços. Essa característica é facilmente percebida ao se analisar a terceira geração, uma vez que corresponde à convergência de todo o sistema produtivo.

Entre os vários resultados desta complexa estrutura, salienta-se a relação de trabalho, pois grande parte está posicionada no segmento de transformação, em que o perfil econômico é constituído, basicamente, por micros e pequenas empresas. Apesar da mecanização do processo, o setor de transformação é caracterizado como intensivo em mão de obra. Enquanto, os segmentos de primeira e segunda geração estão galgados na automação e são intensivos em tecnologia.

## DA DIVERSIDADE À ESPECIFICIDADE

Em pouco mais de cem anos a ciência de materiais tem estudado os polímeros, a fim de melhorar seu desempenho produtivo e aplicativo. Os polímeros são substâncias macromoleculares de origem orgânica, obtidos pela repetição de moléculas menores (monômeros) que dão origem às “cadeias moleculares” iniciadas mediante ações físicas ou químicas – polimerização (MANO; MENDES, 1999). Os polímeros formam um grupo de materiais bastante significativo para as economias industrializadas, pois apresentam diversas propriedades e características. São plásticos, borrachas, fibras e filmes, compósitos e celulares (espumas) que possibilitaram grande variedade de aplicações, substituindo o uso dos denominados materiais tradicionais de engenharia (madeira, metal e vidros).

Atualmente, os plásticos podem ser qualificados em cinco fases evolutivas: Plásticos naturais, Plásticos naturais modificados, Plásticos sintéticos termorrígidos, Plásticos sintéticos termoplásticos e Bioplásticos. O período de transição entre os plásticos termorrígidos e termoplásticos foi o que gerou a diversidade e a expansão desses materiais.

A partir dos anos 1960, o foco no desenvolvimento dos plásticos tem se concentrado na melhoria do desempenho dos termoplásticos. Isso se deu por meio de novos processos de síntese, pela incorporação de novos agentes modificadores, como também, no aperfeiçoamento dos processos produtivos, permitindo ganhos de propriedades e aumento de rentabilidade (LOKENSGARD, 2014). Nas últimas décadas do século XX, observa-se que vários plásticos entraram em uma espécie de “amadurecimento tecnológico”, enquanto outros se encontravam em pleno desenvolvimento.

A diversidade de tipos de plásticos caminhou em direção à convergência, isto é, menos variedade com mais amplitude de aplicação, o que resultou na concentração e no aumento de consumo de determinados polímeros de uso geral, como por exemplo: o Polipropileno-PP, o Polietileno-PE, o Poli(tereftalato de etileno)-PET e o Poliestireno-PS. Outros plásticos tiveram suas demandas aumentadas em decorrência de focar em segmentos específicos de mercado, tais como: o Acrilonitrila-Butadieno-Estireno-ABS em equipamentos eletrônicos, o Poli(cloreto de vinila)-PVC, no setor da construção civil e o Policarbonato-PC, na indústria automobilística. Essas condições ocasionaram a estagnação ou redução produtiva de alguns polímeros, como no caso do Estireno-Acrilonitrila-SAN e do Poli(metacrilato de metila)-PMMA.

Como resultado deste cenário evolutivo houve o aumento nos índices de produtividade, fazendo com que as perdas em recursos básicos e o desperdício de insumos baixassem consideravelmente, estabelecendo “tecnologias mais limpas”. Essa evolução tecnológica possibilitaria a expansão do mercado de plásticos, não apenas de áreas geoeconômicas, mas, principalmente, em novos segmentos de peças e produtos, acarretando um consumo maior de materiais plásticos.

## A EVOLUÇÃO CONTÍNUA

A ciência de polímeros estabeleceu uma série de princípios classificatórios que abordam os aspectos físicos, químicos e até econômicos destes materiais. Alguns agrupamentos influenciam diretamente os sistemas produtivos, tais como: a classificação quanto à fusibilidade, ao comportamento mecânico, à estrutura, à composição, entre outros, conforme pode ser observado em Mano e Mendes (1999), a partir das definições da *International Union of Pure and Applied Chemistry* – IUPAC. No entanto, este trabalho abordará apenas os aspectos que norteiam a classificação quanto à ocorrência dos plásticos e seus desdobramentos evolutivos em Plásticos Naturais e Sintéticos.

### Os Plásticos Naturais

Os plásticos de origem natural participaram ativamente da produção industrial até surgimento e produção dos polímeros sintéticos. Este declínio foi ocasionado pelo crescimento de demanda e da evolução tecnológica dos produtos industrializados, que requisitavam quantidades e propriedades superiores aos obtidos nos polímeros naturais. Esses polímeros são gerados por reações espontâneas (biogênese) e apresentam-se sob a forma de fibras, plásticos (resinas) e alguns elastômeros derivados de vegetais - polissacarídeos, celulose, látex, lignina ou de origem animal - proteínas, caseína, quitina etc. (MANO; MENDES, 2013). Vários desses polímeros são processados *in natura*, enquanto outros passavam por modificações químicas, ganhando propriedades mecânicas na faixa de transição entre as zonas elásticas e plásticas. A partir da década de 1980, há a retomada pelo interesse desses materiais, com vistas à “pegada ecológica”, principalmente, daqueles derivados de fontes vegetais.

### Os Plásticos Sintéticos

A participação dos plásticos sintéticos na atividade industrial teve início com a invenção da Resina Fenol-formaldeído, conhecida como “baquelite”, em finais do século XIX. Nas décadas seguintes, a indústria do plástico seria consolidada

com o surgimento de novos materiais. A partir da década de 1930 a indústria dos plásticos daria um salto qualitativo e quantitativo, com a incorporação dos polímeros termoplásticos à manufatura, que substituíram os plásticos de origem natural e parte dos termorrígidos.

Apesar dos plásticos sintéticos dominarem o cenário produtivo, existe uma série de críticas quanto ao seu desempenho ambiental, principalmente, em relação à biodegradação, uma vez que os termoplásticos, ainda que quimicamente estáveis, possuem lenta degradação, seja por ações físicas ou por ações químicas, gerando partículas de “microplásticos”.

## Novas categorias

Os bioplásticos formam uma categoria de plásticos que visa à relação amigável com o meio ambiente. A *European Bioplastics* qualifica em: biobaseados os plásticos derivados ou parcialmente derivados de fontes renováveis; e biodegradáveis como plásticos passíveis de integração ambiental. A IUPAC define polímeros biobaseados como aqueles derivados de monômeros obtidos a partir de biomassa. A ASTM conceitua os polímeros biobaseados como materiais “[...] cujo carbono de sua composição vem de fontes renováveis e não de fonte fóssil [...]” (ASTM *Apud* MEI, 2016:31). Atualmente, os bioplásticos são aplicados em vários produtos descartáveis, muitos utilizando tecnologias convencionais ou tecnologias de manufatura aditiva. Entretanto, sua demanda ainda está limitada a alguns segmentos de mercado, em função de suas propriedades.

Os plásticos apresentam subdivisão qualitativa em função de suas propriedades, tais sejam: plásticos de uso geral (*commodities*), produzidos em grande escala e plásticos de engenharia (*pseudo-commodities* ou *specialties*) são produzidos em escala menor e se destinam a produtos que exigem melhores propriedades ou que necessitam de alta performance. Nos plásticos avançados enquadram-se, também, os compósitos estruturais aplicados para uso em condições extremas e requerem rígido controle ambiental durante todo o processo, assim como encontramos os plásticos inteligentes automoldáveis e os nanoplásticos, sendo que ainda, em fase de desenvolvimento tecnológico.

## PLÁSTICOS: SOLUÇÃO OU PROBLEMA AMBIENTAL?

Atualmente, desconsiderar a contribuição dos plásticos no cenário produtivo mundial e brasileiro pode ser um equívoco estratégico incomensurável em termos sociais, econômico e tecnológicos. Isto porque a indústria do plástico não está limitada à produção de produtos com baixo valor agregado que,



normalmente, possuem ciclos de vida curtos. A indústria do plástico, também, atua em segmentos de alto valor, inclusive humano, como equipamentos médicos hospitalares, além de produzir uma gama de objetos e componentes destinados aos setores de eletroeletrônicos, de construção civil, transportes entre outros, que contribuem com o bem-estar individual e social. Tal inserção em praticamente todos os segmentos de mercado e categorias de produtos decorreu da relação tecnológica entre o material plástico e os processos produtivos. Esse fato foi resultado de ações inovadoras, que possibilitaram a redução de custos, democratizaram o acesso a vários bens, diminuíram o consumo de recursos básicos, entre outros benefícios sociais, fazendo com que esse grupo de materiais se tornasse um símbolo da sociedade industrial contemporânea.

Entretanto, a OMC, juntamente com outros organismos internacionais, aponta os danos ambientais ocasionados pelos resíduos plásticos derivados do uso e descarte indiscriminados, dos quais se salienta a “poluição invisível” gerada pela degradação dos plásticos no meio ambiente, ocasionando o surgimento do “microplástico”.

A WWF (2019) elaborou o *Global Plastics Report*, que realiza estudos sobre o lixo plástico mundial presente no meio ambiente e destaca que apenas 14% de todo o plástico produzido é coletado para reciclagem, os demais são descartados e grande parte acaba impactando no ambiente marinho.

O crescimento da demanda por produtos plásticos requer políticas mais consistentes quanto ao controle desses materiais. No documento *The State of Plastics*, elaborado pela ONU são ratificadas as responsabilidades ambientais, que vêm sendo discutidas desde os anos 1970, quais sejam: Ações Governamentais, por meio de legislação sobre o consumo e descarte de resíduos sólidos; Ações Empresariais, por meio de programas de inovação, baseados na substituição, adequação ou incorporação de materiais menos impactantes ao meio ambiente; e Ações Individuais, relacionadas à educação ambiental, visando à conscientização para o consumo e, principalmente, o descarte dos plásticos.

Especificamente, no caso do Brasil, é evidenciado pelo estudo da WWF que as relações entre a transformação e reciclagem são inexpressivas, condicionando o Brasil ao quarto maior gerador de lixo plástico. No entanto, ao se confrontar os números apresentados pela WWF sobre o cenário brasileiro, verifica-se que o consumo *per capita* de plásticos corresponde ao dobro do que indicam os estudos realizados pela ABIPLAST, CNI, IBGE entre outros, os quais apontam que o consumo tem se mantido próximo a 38kg/ano, inferior aos valores apresentados pela Argentina (44kg/ano) e pelo Chile (51kg/ano) e bem abaixo dos 148kg/

ano apresentados pelo EUA e os 136kg/ano da EU (EKOS, 2018), assim como o índice de reciclagem de plástico nacional corresponde a 25,8%, do total de plástico transformado de produtos de ciclo de vida curto. A diferença de resultados apresentados sugere o uso de metodologias específicas para definição de critérios e coleta de dados pelos órgãos citados. Cabe, então, ao leitor a reflexão crítica sobre os resultados apresentados acima.

O uso inapropriado dos plásticos em produtos como descartáveis, *gadgets* eletrônicos, embalagens entre outros tem contribuído para uma visão equivocada, parcial e restritiva ao uso dos plásticos. Além destas, a aplicação de determinados plastificantes, corantes e pigmentos, agentes modificadores ou cargas minerais poderão contribuir com efeitos tóxicos ao meio ambiente ou mesmo ao ser humano.

Com o propósito de evitar problemas desta natureza, vários países têm estabelecido legislação restritiva de uso de tais insumos, inclusive o Brasil, por meio de legislação própria, que mantém o controle sobre a produção, aplicação e a eliminação desses insumos na composição de plásticos.

Outro aspecto argumentado sobre a toxidade dos plásticos refere-se à derivação do petróleo e à liberação de carbono. No entanto, a parcela oriunda da petroquímica, isto é, a nafta, corresponde a apenas 4% de todo petróleo refinando, destinados à produção de praticamente todos os polímeros, além de detergentes, ceras entre outros produtos.

## ECOEFIÊNCIA E A ECOEFETIVIDADE

A indústria do plástico é um setor extremamente dinâmico e predisposto à inovação, pois é suscetível às demandas de mercado e à governança produtiva. Esta característica está presente em toda cadeia produtiva, porém é mais evidente no segmento de transformação, pois está sujeito às exigências da montante ou por imposição da jusante.

Atualmente, tem-se observado algumas exigências ambientais como requisito estabelecido por empresas-clientes perante aos transformadores de plásticos, em atendimento às expectativas de mercado. Esta condição obriga as empresas de transformação a rever suas ações estratégicas em âmbito geral. Neste sentido, destacam-se as orientações da série ISO 14000 para a elaboração de programas com vistas à “ecoefficiência”. Este conceito tem norteado as atividades produtivas a partir do Sistema de Gerenciamento Ambiental (SGA) como forma de melhorar o desempenho e a utilização dos recursos e insumos (SEIFFERT, 2007). Em

linhas gerais, ações do SGA estão relacionadas ao controle energético, à redução de resíduos, ao reaproveitamento de insumos, à substituição de agentes poluidores ou nocivos, às normatizações técnicas e à integração social.

Todavia, apesar do SGA congregar importantes contribuições às rotinas produtivas, sua proatividade é questionada no âmbito da redução dos impactos ambientais.

## A reciclagem do plástico

Para a terceira geração de plásticos a “eficiência” é representada pelo consumo energético, pela redução de perdas e pela reciclagem. Existem algumas considerações sobre este contexto, principalmente, nos aspectos referentes à reciclagem. A *Environmental Protection Agency/USA* (2002) define reciclagem como “[...] a coleta, beneficiamento, processamento, comercialização e uso dos materiais considerados lixo”. A reciclagem corresponde a um conjunto tecnológico que possibilita a recuperação de materiais a partir de rejeitos industriais ou derivados de pós-consumo.

Contudo, em decorrência das taxas de cisalhamento durante o processo de transformação, há perda de peso molecular ( $M_w$ ), fazendo com que o material recuperado necessite de quantidade de plástico novo ou de aditivos para recuperar parte de suas propriedades. Este aspecto faz com que o custo do reciclado, muitas vezes, supere o do plástico “virgem”. Logo, o consumo de produtos plásticos é condição *sine qua non* para viabilizar técnica e economicamente a reciclagem, estabelecendo, assim, um ciclo contínuo de produção e valor justos necessários à economia circular.

Os sistemas de reciclagem de plásticos deverão ser compatibilizados com as propriedades, composição, origem e recursos tecnológicos disponíveis. Serão classificados, ainda, em níveis operacionais, como reciclagem primária (*in house*), secundária (mecânica), terciária (química) ou quaternária (energética).

As denominadas “funções R” no contexto produtivo, isto é, reduzir, reutilizar e reciclar foram associadas às funções reintegrar, regenerar, repensar e recusar, determinando um novo nível na percepção ecológica dos plásticos. Esse conjunto de atividades foi denominado de “ecoefetividade”, que engloba o conceito proposto por Braungart e McDonough (2014), quando propõem ações planejadas que estabelecem um ciclo contínuo de integração entre produção e reciclagem.

Certamente, a reciclagem de plásticos tem contribuído com as ações socioambientais, permitindo, não apenas a reintegração de resíduos sólidos ao

sistema produtivo, mas também, preservando os recursos naturais e estimulando ações empreendedoras baseadas em inovações tecnológicas.

## SUSTENTABILIDADE EM PROCESSOS

Atualmente, as tecnologias de transformação em plásticos formam um leque de possibilidades para fabricação de produtos ou componentes. Essa abrangência é fruto de esforços que dinamizaram as tecnologias ao longo da cadeia produtiva. A diversidade tecnológica existente possibilita, também, uma variação de formas, dimensões e escalas de produção. Todos esses aspectos estabelecem um cenário produtivo favorável à produção de peças e produtos em plásticos.

O atual cenário brasileiro de transformação mostra o seguinte panorama tecnológico (em valores ponderados): extrusão 54,6%, injeção 31,4%, sopro 8,9%, termoformação 1,6%, rotomoldagem 0,8%, laminação/pultrusão (compósito) 1%, compressão 0,4, outros processos 1,3% (ABIPLAST, 2019; CERQUEIRA, 2015). De modo geral, essas tecnologias apresentam consumo energético por tonelada transformada inferior a outras tecnologias, assim como o consumo de água empregado. Apesar desta vantagem, observa-se que o parque industrial brasileiro apresenta valores em produtividade relativamente baixos, pois a taxa média aproxima-se ao índice de 85% da capacidade produtiva.

Grande parte dessas tecnologias apresenta características processuais distintas, algumas plenamente automatizadas, enquanto outras com alta dependência de recursos humanos. Da mesma forma, há uma variação na geração de resíduos de processos.

Para termoplásticos os canais de injeção, aparas, refugos retornam à linha de produção (reciclagem *in house*). Por esse aspecto, salienta-se a importância da concepção e desenvolvimento do projeto, considerando tanto os parâmetros de máquinas, quanto a adequação dos moldes e matrizes. Hoje, alguns programas de projeção possibilitam uma série de análises paramétricas sobre a forma e o processamento dos produtos com o objetivo de maximizar a eficiência do processo e com o menor consumo de recursos e de insumos.

Os termorrígidos apresentam número menor de processamentos, entretanto, mesmo com taxas inferiores, a conformação desse grupo de materiais incorre em índices significativos de desperdício, principalmente de insumos por tonelada processada. Dependendo da tecnologia e da qualificação produtiva, alguns processos poderão apresentar perdas na ordem de 18% a 25% dos recursos aplicados (CERQUEIRA, 2015). Entretanto, os plásticos termorrígidos possuem

maior durabilidade, por apresentarem ciclo de vida mais longo, em decorrência de suas propriedades físicas e químicas. Apesar disto, a indicação desse grupo tecnológico deve ser bem analisada, em decorrência dos problemas ambientais significativos, pois as resinas, em sua maioria, são processadas utilizando cargas, ficando limitadas à reciclagem energética.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Segundo pesquisa realizada pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico - OCDE, o Brasil, apesar de estar entre as dez maiores economias do mundo, apresenta índices muito baixos de competitividade. Entre os motivos dessa dicotomia econômica está a falta de sinergia entre os atores que compõem as estruturas produtivas, limitando as ações destinadas à inovação tecnológica e social.

Enquanto o país exporta grande volume de *commodities* em matéria-prima e derivados agropecuários, os resultados com a exportação de produtos manufaturados representam apenas 10,4% do PIB nacional (IBGE, 2019). Esse aspecto vem se agravando nos últimos dez anos, em decorrência de sucessivas quedas no processo de industrialização brasileiro, apresentando uma taxa de declínio média em torno de 0,8%/ano. Este aspecto demonstra que as estruturas produtivas industriais brasileiras são extremamente frágeis, seja no cenário econômico interno ou em sua participação na economia global.

O Brasil apresenta cadeias produtivas de importância significativa para o desenvolvimento industrial, entretanto, verificam-se problemas conjecturais na indústria de transformação. Este segmento econômico, além de congrega grande parte de recursos humanos (postos de trabalho), é o que mais agrega valor à cadeia produtiva, pois estabelece relações de toda cadeia com o consumidor (mercado).

Especificamente à cadeia produtiva dos polímeros plásticos, verificam-se diversas iniciativas destinadas ao aprimoramento dos processos produtivos em relação às questões ambientais, que vão desde a adoção de sistemas informatizados para desenvolvimento de produtos e processos, até sistemas de gerenciamento ambiental, que envolvem ações governamentais, sociais e empresariais com o intuito de aperfeiçoar, ou melhor, equilibrar o crescimento industrial com a conservação ambiental.

Para tal, é estimulada a criação de programas integrados de incentivos à inovação tecnológica e ação social, destinados ao aperfeiçoamento de toda cadeia

e rede produtiva do plástico, dos quais se destacam os seguintes programas: 1- Controle de recursos básicos, com o objetivo de reduzir ou eliminar desperdícios durante o processo produtivo; 2- Incentivos à coleta seletiva, logística reversa e de reciclagem de materiais plásticos, visando à substituição da economia linear pela economia circular; 3- Incorporação dos bioplásticos em produtos, cujo ciclo de vida é curto, tais como embalagens, descartáveis, entre outros; 4- Formação de parcerias estratégicas para desenvolvimento de inovações em plásticos apoiada em princípios da sustentabilidade; 5- Capacitação científica e tecnológica para profissionais envolvidos com projetos e gerenciamento em plásticos; 6- Estímulos às ações sociais destinadas à geração de renda a partir do uso de resíduos plásticos; e 7- Educação ambiental para o consumo consciente e descarte correto de resíduos plásticos.

Pesquisas voltadas à inovação em produtos e processos plásticos, além de contribuir com o bem-estar individual, têm dado respostas satisfatórias a diversas questões ambientais. Esta afirmação pode ser confirmada, de modo prático, ao se verificar que o consumo *per capita* de plásticos mantém relações com o Índice de Desenvolvimento Humano – IDH. Segundo o *Plastics Europe* (2013), países que apresentam taxas elevadas de consumo de produtos plásticos tendem a ter um IDH mais elevado, enquanto países com baixo consumo de produtos plásticos ainda apresentam índices de desenvolvimento baixo. Esta condição, também merece reflexões a respeito, pois estão ligadas diretamente aos aspectos educacionais e à distribuição de renda mais equânime.

Por fim, é importante que se tenha uma percepção diferenciada da cadeia produtiva e do produto plástico no contexto da sustentabilidade. Para isso, reforce-se a necessidade de educação ambiental, contribuindo assim para a constituição de uma sociedade mais responsável e comprometida com os valores ecológicos, visando o pleno desenvolvimento social.

## REFERÊNCIAS

ARNOLD J. R. **Introduction to material management**. New Jersey: Prentice-Hall, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO (ABIPLAST). **Perfil 2018**. São Paulo, 2018. Disponível em: <http://www.abiplast.org.br/site/publicações/perfil-2018>. Acesso em: 10 abr. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO (ABIPLAST). **Perfil 2015**. São Paulo, 2015. Disponível em: <http://www.abiplast.org.br/site/publicações/perfil-2015>. Acesso em: 10 abr. 2016.

BRASIL. **Matriz energética nacional 2018 - ano base 2017**. Empresa de Pesquisa Energética – EPE, 2018. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018>. Acesso em: 10 abr. 2016.

CAETANO, G.; ASHLEY, P.; GIANANTI, R. **Responsabilidade social e meio ambiente**. São Paulo: Saraiva, 2007.

CERQUEIRA, V. P. S. Bioplastics taxonomy: concepts and definitions from the perspective of sustainability. *In*: ENCONTRO DE SUSTENTABILIDADE EM PROJETO (ENSUS), VI, 2018, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: UFSC, 2018. p. 64-72.

CERQUEIRA, V. P. S.; HEMAIS, C. La Industria brasileña de procesamiento de plásticos y sus estrategias tecnológicas. *In*: SEMINÁRIO LATINO IBEROAMERICANO DE GESTIÓN TECNOLÓGICA (ALTEC), X, 2003, Cidade do México. [Anais eletrônicos...]. Cidade do México: ALTEC, 2003. 1 CD-ROM.

CHOPRA, S.; MEINDL P. **Supply chain management: strategy, planning and operation**. Boston: Prentice Hall, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Industrial Anual**. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: [https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9042-pesquisa-industrialanual.html?t=downloads&utm\\_source=landing&utm\\_medium=explica&utm\\_campaign=pib](https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9042-pesquisa-industrialanual.html?t=downloads&utm_source=landing&utm_medium=explica&utm_campaign=pib). Acesso em: 09 maio 2020.

JOVCHELOVITCH, N. **Parcerias e alianças estratégicas: uma abordagem prática de gestão e sustentabilidade**. São Paulo: Global, 2002.

KNIGHT, A.; HARRINGTON, J. **A implementação da ISO 14000: Como atualizar o sistema de gestão ambiental com eficácia**. São Paulo: Atlas, 2001.

KON, A. **Economia Industrial**. São Paulo: Nobel, 1999.

LOKENS GARD, E. **Plásticos industriais: teoria e aplicações**. São Paulo: Cengage, 2013.

MANO, E.; MENDES, L. **A natureza e os polímeros**. São Paulo: Blücher, 2013.

MANO, E.; MENDES, L. **Introdução a Polímeros**. São Paulo: Blücher, 1999.

MANO, E.; PACHECO, E.; BONELLI, C. M. **Meio ambiente, poluição e reciclagem**. São Paulo: Edgar Blücher, 2005.

MEI, L. **Bioplásticos: biodegradáveis e biobased**. Campinas: Unicamp, 2016.

PLASTIC EUROPE ASSOCIATION OF PLASTICS MANUFACTURERS. **Plastics & sustainability**. Bélgica, 2013. Disponível em: <http://www.plastic-seurope.org/plastics-sustainability-14017.aspx>. Acesso em: 21 jan. 2017.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (PNUMA). **The state of plastics: world environment day outlook**. PNUMA, 2018. Disponível em: <https://www.unenvironment.org/resources/report/state-plastics-world-environment-day-outlook-2018>. Acesso em: 23 maio 2019.

SEIFFERT, M. **ISO 14001: Sistema de Gestão Ambiental**. São Paulo: Atlas, 2007.

SIMCHI-LEVI, D.; KAMINSK, P.; SIMCHI-LEVI E. **Designing and Managing the supply chain – concepts, strategies and cases studies**. New York: McGraw-Hill, 2000.

WOERDEN, F. *et al.* **What a waste 2.0**. International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank: Washington, DC, 2018. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>. Acesso em: 20 ago. 2019.



WWF. *Global plastics report* – solving plastic pollution through accountability. Switzerland, 2019. Disponível em: <https://www.wwf.org.au/news/news/2019/wwf-releases-report-on-global-plastic-pollution-crisis#gs.7rbb9>. Acesso em: 10 mar. 2020.

## BIOGRAFIA DO AUTOR

**Vicente Cerqueira** é bacharel em Desenho Industrial (EBA/UFRJ) e Doutor em Ciência e Tecnologia de Polímeros (IMA/UFRJ). Atuou como Gerente e Consultor Técnico em várias empresas do setor de transformação e manufatura, coordenando e desenvolvendo produtos e processos produtivos. É membro de vários comitês científicos, vinculados às áreas de design, produção e materiais. Possui diversos artigos publicados em eventos e periódicos nacionais e internacionais. Atualmente, é Professor Associado na UFRJ e na UERJ, realizando pesquisas relacionadas à Gestão da Inovação em Sistemas Produtivos, com ênfase nas relações entre Design e Tecnologias de Materiais.

E-mail: [vcerqueira@ufrj.br](mailto:vcerqueira@ufrj.br)

