



## A importância da metrologia na economia circular

**Jullyana da Silva Henrique<sup>1</sup>; Edísio Alves de Aguiar Júnior<sup>2</sup>.**

1,2 Inmetro. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Diretoria de Metrologia Legal (Dimel), Setor de Medição de Fluidos (Seflu). Av. Nossa Senhora das Graças, 50. Xerém, Duque de Caxias, Rio de Janeiro. CEP: 25250-020

jshenrique@colaborador.inmetro.gov.br

**Resumo.** Desde 1989, economistas e ambientalistas têm discutido a economia circular como um substituto para o atual sistema linear. Este modelo econômico tornou-se um elemento-chave nas discussões relacionadas ao desenvolvimento sustentável. Na economia circular, um produto no final da sua vida útil tornar-se-á um recurso para outros, minimizando o desperdício e a necessidade de extrair mais matérias-primas. As empresas que praticam a economia circular desenvolvem uma melhor utilização econômica dos recursos. A metrologia pode ser um facilitador dessas mudanças, utilizando métodos analíticos para coletar, avaliar, classificar ou reciclar resíduos.

### 1. Introdução

Desde a revolução industrial, em 1760, o modo de produção e consumo é realizado de maneira linear. Conhecido como take-make-waste (extrair-produzir-desperdiçar), o sistema é baseado na extração de matérias primas para fabricar produtos que serão consumidos e posteriormente se tornarão resíduos e serão descartados. Neste modelo, a extração da matéria prima não leva em consideração que os recursos são finitos, contribui para a redução da biodiversidade, influencia diretamente nas alterações climáticas globais, entre outros impactos ambientais. Do ponto de vista econômico, o modelo linear contribui para o aumento do preço das commodities e aumenta a incerteza no mercado.

Embora seja a forma que a economia tradicional opera desde o início do processo de industrialização, é evidente que o modelo econômico linear já não atende as necessidades da sociedade moderna. A inviabilidade e ineficiência do atual modelo de produção econômico aumentou a necessidade de encontrar uma solução ambiental e economicamente sustentável para a utilização de recursos naturais. Há um forte interesse econômico das indústrias de utilizar da melhor forma possível os seus recursos. Para atingir esses objetivos, a transição para uma economia circular é fundamental.

O conceito de modelo econômico circular surgiu na Europa em 1989, através de pesquisas realizadas por economistas e ambientalistas. Esse modelo defende um melhor uso de recursos naturais, ele atua na origem da cadeia evitando que os resíduos e a poluição sejam gerados no início dos processos. O sistema de produção circular diminui a dependência de matéria-prima virgem, possibilitando o equilíbrio entre economia e meio ambiente, buscando a eficiência e a eficácia de todo o sistema produtivo. No modelo econômico circular, um produto no final de sua vida útil se torna um recurso para os outros, fechando assim os ciclos em ecossistemas industriais e minimizando o desperdício.



Segundo o Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM, 2012), a Metrologia é definida como a ciência da medição e suas aplicações. Isto significa que ela abrange todos os aspectos teóricos e práticos relativos às medições, qualquer que seja a incerteza, em quaisquer campos da ciência ou da tecnologia. As medições estão presentes, de forma direta ou indireta, em todos os processos de tomada de decisão, desta forma, a metrologia torna-se imprescindível para prover confiabilidade, avaliar a conformidade de produtos e processos, garantir qualidade, inovação e competitividade e assegurar reconhecimento nacional e internacional, e neste contexto, as medições são fundamentais para a garantia dos aspectos requeridos no desenvolvimento sustentável de qualquer nação. [1]

Este trabalho tem como objetivo mostrar como a metrologia pode ser um importante aliado no modelo econômico circular para produção de biocombustíveis, abordando desafios analíticos para avaliar, classificar ou evitar o desperdício, desenvolvendo métodos rastreáveis e materiais de referência para garantir confiabilidade.

## **2. Metodologia**

### *2.1. Metrologia e desenvolvimento sustentável.*

A metrologia, definida como a ciência da medição e suas aplicações, estuda todos os aspectos teóricos e práticos que interferem no processo de medição, qualquer que seja a incerteza, em quaisquer campos da ciência ou tecnologia [1]. Ela pode ser aplicada a diversos segmentos, por exemplo, a metrologia legal abrange o ramo que se dedica às transações comerciais, ela evita que um produto não conforme seja aprovado ou que um produto conforme seja rejeitado. Já a metrologia científica atua no desenvolvimento de novos padrões ou métodos de medição com o objetivo de diminuir incertezas e obter resultados cada vez mais confiáveis [2]. A metrologia possui um papel crucial no meio ambiente uma vez que fornece a base científica para a medição, monitoramento e controle de parâmetros ambientais. Medições confiáveis são fundamentais para a garantia dos aspectos requeridos no desenvolvimento sustentável de qualquer nação. Neste cenário, solo, som, atmosfera e água são exemplos de parâmetros ambientais onde uma medição confiável é indispensável [3].

A exploração de petróleo é um recurso utilizado durante décadas como principal fonte de matéria prima na produção de combustível e na fabricação de plásticos. Contudo, a exploração de petróleo é uma atividade que pode ocasionar danos graves ao meio ambiente de forma direta ou indireta, sendo alguns desses danos reversíveis e outros não. O padrão linear de fabricação de plástico acende um alerta relacionado não só aos impactos que a exploração de petróleo causa no meio ambiente, mas também às reservas dessa matéria prima para o futuro, já que o petróleo não possui capacidade de regeneração, sendo, assim, um recurso finito [4].

Devido sua flexibilidade, o plástico é uma matéria-prima presente desde o setor de embalagens até o uso nas mais diversas áreas da engenharia. Contudo, a poluição plástica é uma grande ameaça aos ecossistemas e ao bem-estar humano. Na fase de descarte, mais de 60% dos resíduos plásticos são depositados em aterros, mal geridos e transformados em lixo, e apenas 15% são coletados para reciclagem, com menos de 9% realmente reciclados. Garantir padrões de consumo e de produção sustentável está entre os dezessete objetivos listados pela ONU num plano global para atingirmos, em 2030, um mundo melhor para todos os povos e nações. A metrologia é fundamental para alcançar os objetivos da Agenda de 2030. Ela atua no controle e investigação dos fenômenos da natureza e busca fornecer à comunidade científica instrumentos e metodologias capazes de realizar as medições e gerir seus resultados, a fim de garantir monitoramento e proteção do meio-ambiente.

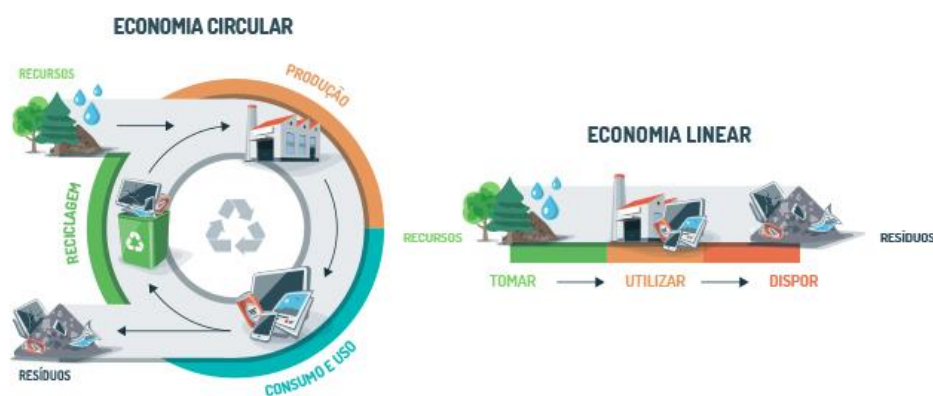
### *2.2. Metrologia e economia.*

O conceito de economia é definido como o conjunto de atividades desenvolvidas pelos homens visando à produção, distribuição e o consumo de bens e serviços necessários à sobrevivência e à

qualidade de vida [5]. Essa ciência é dividida em dois grupos principais: Economia Linear e Economia Circular. O modelo econômico linear se resume a extrair, produzir e descartar. No sistema linear de produção, o crescimento econômico depende do consumo de recursos finitos, que traz o risco iminente de esgotamento de matérias-primas e custos cada vez mais elevados na sua extração. No fim do processo, gera-se um volume sem precedentes de resíduos inutilizados e potencialmente tóxicos para os seres humanos e os ecossistemas que contaminam como é caso do petróleo, citado neste artigo [6].

O modelo econômico linear é adotado desde a Revolução Industrial. Este modelo tem provocado diversos impactos negativos no meio ambiente, como a degradação dos ecossistemas, a emissão de gases poluentes responsáveis pelo efeito de estufa e aquecimento global e a produção massiva de resíduos que, em grande parte, são depositados em aterros e incinerados [7]. Estudos mostram que, na Europa apenas 40% dos resíduos são reutilizados, existindo grandes discrepâncias entre os países membros. O sistema de produção linear também acarreta a perda de inúmeros recursos com elevado potencial econômico para as indústrias. A crescente busca de matéria-prima revelou-se um fator de risco acentuado para a indústria. Além de gerar uma elevada volatilidade nos preços praticados, já não são raros os casos em que a inexistência de recursos suficientes põe em risco a capacidade de resposta às necessidades de produção necessárias, para satisfazer a atual demanda [8].

Considerado que a maioria das matérias primas é finita e na maioria das vezes utilizadas de forma que não respeitam a capacidade regenerativa da terra, a economia deve evoluir no sentido de ter como principais recursos àqueles que são infinitos ou crescentes. O conceito de economia circular está associado ao desenvolvimento sustentável e emerge como alternativa ao modelo econômico linear. Esse modelo propõe que os resíduos dos produtos, que antes seriam descartados, sirvam como matéria-prima reciclada de outra indústria ou para a própria. Além disso, tem como objetivo desenvolver produtos tendo em mente um reaproveitamento que mantenha os materiais no ciclo produtivo. Em resumo, a economia circular é um modelo econômico que visa minimizar o desperdício, promover a reutilização de recursos e reduzir o impacto ambiental (Figura 1) [9].



**Figura 1 – Ciclo de produção no sistema econômico circular x linear.**

Fonte: <https://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/desenvolvimento-sustentavel-relacao-entre-gestao-de-residuos-e-economia-circular>

### 2.3. O plástico no meio ambiente

O plástico é um material sintético, pertencente ao grupo químico dos polímeros, criado a partir do rearranjo das moléculas do petróleo bruto. Existem diversos tipos de plástico, entretanto, eles são majoritariamente divididos entre duas categorias: os termoplásticos, cuja estrutura permite amolecer

ou endurecer quando submetidos a diferentes temperaturas, viabilizando o processo de reciclagem e os termorrígidos, que são plásticos cuja rigidez não se altera com o aumento da temperatura. Em determinadas temperaturas, os polímeros termorrígidos se decompõem e não podem ser fundidos e/ou remodelados novamente, o que reduz as possibilidades de serem reciclados [10].

No sistema econômico linear, o ciclo de vida dos plásticos se resume a criação, consumo e descarte. Os plásticos são produzidos através do processo que une as pequenas partes de monômeros viabilizando a formação de longas cadeias repetitivas de moléculas. A maioria destes materiais é desenvolvida a partir do petróleo. O primeiro passo na criação do plástico é a extração de petróleo e gás natural. Após sua extração, eles são enviados para as refinarias, em um processo que também conta com o risco de derrames e explosões. Após extração e o refino da nafta o material é enviado para as fábricas de plásticos, onde são quimicamente modificados e dão origem ao produto final como, garrafas, sacolas, canudos, entre outros [11]. Então, o produto final é enviado para as lojas para ser comprado e consumido pelo público final, e em seguida descartado. Sendo o destino final de um produto plástico o aterro sanitário ou os oceanos, ele ficará lá por 1.000 anos ou mais (Figura 2).



**Figura 2 – Ciclo de vida do plástico no modelo econômico linear.**

Fonte: <https://www.linkedin.com/pulse/import%C3%A2ncia-de-se-conhecer-o-ciclo-vida-do-pl%C3%A1stico-michell-sim%C3%B5es-/?originalSubdomain=pt>

De acordo com o relatório *From Pollution to Solution: A Global Assessment of Marine Litter and Plastic Pollution*, divulgado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), o plástico representa 85% dos resíduos que chegam aos oceanos e destaca que até 2040, os volumes de plástico no mar chegarão entre 23 e 37 milhões de toneladas. Como resultado, toda fauna marinha, além de aves e mamíferos, enfrenta riscos de envenenamento, distúrbios comportamentais, fome e asfixia. A poluição por resíduos plásticos, também reflete na vida humana. A contaminação do solo e das fontes de água podem causar alterações hormonais, anomalias reprodutivas e câncer (Figura 3).

A poluição plástica também afeta a economia global. Os custos da poluição plástica no turismo, na pesca e outras atividades, foram estimados em US\$ 6-19 bilhões em 2018. E projeta-se que até 2040 o prejuízo financeiro anual chegará a US\$ 100 bilhões para as empresas se os governos exigirem que elas cubram os custos da gestão de resíduos nos volumes previstos [12].



**Figura 3 – Poluição plástica.**

Fonte: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2021/07/28/estudo-do-senado-aponta-necessidade-de-leis-para-deter-poluicao-por-plasticos>

Diante do exposto, cresce a necessidade de mudança para o sistema de produção circular, incluindo práticas de consumo e produção sustentáveis, o desenvolvimento e adoção rápida de alternativas pelas empresas, e uma maior conscientização do consumidor para encorajar escolhas mais responsáveis. É necessário mudar a forma como desenhamos, usamos e reutilizamos os plásticos. A economia circular considera todas as etapas da jornada de um produto, até a chegada ao consumidor final. Essa abordagem é fundamental para reverter os prejuízos ambientais e socioeconômicos previstos no relatório do PNUMA. Estima-se que até 2040, a adoção do modelo econômico circular reduza em até 80% o volume anual de plásticos que entram em nossos oceanos, além de reduzir em 25% as emissões de gases de efeito estufa, gerar uma economia de mais de USD 150 bilhões por ano, e criar um saldo líquido de 700 mil novos postos de trabalho [13].

#### *2.4. A metrologia na cadeia circular da produção de plásticos*

Além de definir padrões e normas internacionais, a metrologia é responsável pela integração de ferramentas que permitam a compreensão dos impactos de suas atividades num índice de sustentabilidade que pode ser definido pela indústria em conformidade com o setor de atuação e as diretrizes de órgãos competentes, avaliando riscos e incertezas de forma a combinar indicadores e técnicas de medição da sustentabilidade com as técnicas de medição produtivas. Tratando-se de sustentabilidade, a metrologia é utilizada como ferramenta prática e documental para manter um



sistema produtivo alinhado às necessidades de mercado de forma a garantir a conservação de bens naturais.

Garantir que os plásticos de que precisamos sejam reutilizáveis, recicláveis ou compostáveis é uma das peças-chave para criar uma economia circular para os plásticos. A metrologia tem o papel de auxiliar a indústria plástica a garantir produtos de qualidade, impactando diretamente nos índices de produtividade e de lucro das empresas. A grande maioria dos produtos fabricados na indústria do plástico é normatizada, o que garante ao setor certa experiência para trabalhar com normatizações e sistemas de metrologia adequados.

Nos processos de reciclagem de plástico, há uma necessidade crescente de medições que auxiliam na classificação, ou seja, para discriminar o material entre diferentes tipos de plástico e outros resíduos. Tecnologias de sensores fotônicos, por exemplo, são usadas para caracterizar materiais em unidades de triagem. Essas tecnologias são baseadas na detecção da interação entre radiação eletromagnética e moléculas/átomos no fluxo de material. Devido à especificidade do material, a interação fornece impressões digitais espectroscópicas para diferentes tipos de plásticos. Na prática, no entanto, uma mistura desconhecida de diferentes tipos de materiais é um alvo muito desafiador devido à sobreposição de sinais espectroscópicos e à ambiguidade dos dados espectrais. Outras tecnologias demonstradas em aplicações industriais de reciclagem de plástico incluem infravermelho médio e espectroscopia Raman. Recentemente, a detecção hiperespectral em regiões de infravermelho próximo e médio tem sido cada vez mais desenvolvida para aplicações de separação de plásticos.

Outras medições são necessárias para controlar a qualidade da classificação material plástico. Medições de controle de qualidade também são necessárias para apoiar o comércio de materiais plásticos reciclados e processos de fabricação usando matérias-primas secundárias.

A metrologia de materiais é de extrema importância na busca por alternativas e soluções para o progresso do desenvolvimento sustentável e deve ser considerada perante o caráter estratégico do domínio das técnicas de preparação, processamento e caracterização dos plásticos. O objetivo da metrologia nesse âmbito é suprir as demandas dos setores produtivos apresentando resultados rápidos e confiáveis, relacionados à caracterização das propriedades físico-químicas, morfológicas, estruturais e térmicas nas escalas macro, micro e nano, dos plásticos reutilizados. O desenvolvimento e a certificação de materiais de referência nessas áreas são necessários para garantir a qualidade dos produtos que voltarão ao consumo da população.

### **3. Conclusão**

A economia circular busca corrigir os erros que vêm sendo cometidos a milhões de anos e, reinsserir continuamente as matérias no ciclo produtivo, com uso de energias renováveis, garantindo a redução nas emissões. O plástico é um dos protagonistas nessa equação, levando em consideração o consumo e descarte inadequado elevados, ao longo dos anos. Para atingir esses objetivos, as indústrias e pesquisadores buscam redesenhar processos e desenvolver novos métodos, facilitando a circularidade e reduzindo ao máximo os impactos negativos socioeconômicos e ambientais.

Nesse campo de pesquisa, a metrologia é um agente facilitador fundamental para uma transição rápida e confiável do sistema linear de hoje para uma economia circular. Tanto a indústria quanto os reguladores precisam de soluções metrológicas multidisciplinares para realizar e monitorar essa transição. As soluções metrológicas variam de métodos analíticos avançados a materiais de referência certificados. Espera-se que mais indústrias desenvolvam fluxos circulares de materiais em um futuro próximo, desencadeados por benefícios econômicos e medidas regulatórias. Assim, os institutos de metrologia em todo o mundo precisam se envolver com as principais partes interessadas e desenvolver novos recursos para atender às necessidades da indústria.



## Referências

- [1] CONCEITO de Metrologia. [S. l.], 2015. Disponível em: [http://www.inmetro.rs.gov.br/cicmac/material\\_didatico/polig\\_conceito\\_metrologia.pdf](http://www.inmetro.rs.gov.br/cicmac/material_didatico/polig_conceito_metrologia.pdf). Acesso em: 3 maio 2023.
- [2] PEREIRA, Ana; FRANÇA, Camila; ROCHA, Gelson. METROLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Congresso Brasileiro de Metrologia, [S. l.], p. 1-4, 15 dez. 2015. Disponível em: [http://bom.org.br:8080/xmlui/bitstream/handle/2050011876/880/2015\\_CBM\\_Metrologia\\_para\\_o\\_desenvolvimento\\_sustent%C3%A1vel.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://bom.org.br:8080/xmlui/bitstream/handle/2050011876/880/2015_CBM_Metrologia_para_o_desenvolvimento_sustent%C3%A1vel.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 9 maio 2023.
- [3] BONCIU, F. (2014). The European Economy: From a Linear to a Circular Economy. Romanian Journal of European Affairs 14(4), 78-91
- [4] DIAS, Genebaldo Freire. Educação ambiental: princípios e práticas. São Paulo: Editora Gaia, 2008.
- [5] ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. Rumo à Economia Circular: O racional de negócio para acelerar a transição. 2015. Disponível em: Acesso em: 12 jul. 2018.
- [6] LUZ, Beatriz. (Org.). Economia circular Holanda: Brasil: da teoria à prática. 1. ed. -- Rio de Janeiro: Exchange 4 Change Brasil, 2017.
- [7] ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil. 2017.
- [8] ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. UMA ECONOMIA CIRCULAR NO BRASIL: Uma abordagem exploratória inicial. 2017. Disponível em: Acesso em: 05 jun. 2023.
- [9] Plastics. Recycled plastics. Characterization of Polyethylene (PE) recyclates. European Standard EN 15344:2021
- [10] Claudia de O. Faria, Leonardo S. N. de Souza, Gelson M. Rocha, Gilberto M. Schittini, “O Inmetro e a Sustentabilidade, 6º Congresso Brasileiro de Metrologia, Natal, Rio Grande do Norte, setembro de 2011.
- [11] Comissão Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento. “Nosso futuro comum”; 2ª ed. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1991.
- [12] RELATÓRIO da ONU sobre poluição plástica alerta sobre falsas soluções e confirma necessidade de ação global urgente. [S. l.], 21 out. 2021. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/comunicado-de-imprensa/relatorio-da-onu-sobre-poluicao-plastica-alerta-sobre>. Acesso em: 17 jun 2023.
- [13] DESIGNING out plastic pollution. [S. l.]: Ellen Macarthur Foundation, 2020. Disponível em: <https://ellenmacarthurfoundation.org/pt/temas/plastico/visao-geral>. Acesso em: 19 jul. 2023.
- [14] ARAUJO, N. A. B.; RIBEIRO, A. P.; RUIZ, M. S. A Metrologia como ferramenta para a sustentabilidade ambiental em empresas. Disponível em: <http://engemausp.submissao.com.br/18/anais/arquivos/73.pdf>. Acesso em: 20. jul. 2023.