ASPECTOS ECONÔMICOS DO MANEJO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: UMA ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE A ECONOMIA AMBIENTAL NEOCLÁSSICA E A ECOLÓGICA NO CENÁRIO BRASILEIRO

Joel de Jesus Macedo
Doutor em Desenvolvimento Econômico e Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas, com formação multidisciplinar em ciências econômicas, contábeis e engenharia civil. Atua como economista na Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar) e pesquisador com ênfase em métodos quantitativos, análise de investimentos e regulação de infraestrutura.
Ely Celia Corbari
Mestre em Ciências Contábeis com ampla produção acadêmica e editorial. Atua como professora, pesquisadora e profissional com experiência em controle interno e externo na administração pública, contabilidade societária e finanças públicas, mantendo vínculos técnicos com órgãos de controle e instituições de ensino.

Endereço: Rua Engenheiros Rebouças, 1376 - Rebouças - Curitiba - Paraná - CEP: 80215-900 - Brasil - Tel: +55 (41) 3330-3034 - e-mail: joeljm@sanepar.com.br.

RESUMO

Este artigo analisa os mecanismos econômicos de cobrança e coerção voltados à mitigação da geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) sob duas perspectivas teóricas distintas: a Economia Ambiental Neoclássica e a Economia Ecológica. Valendo-se de uma abordagem metodológica analítico-conceitual, o trabalho examina as contradições entre a internalização de externalidades por meio de instrumentos de mercado (Impostos Pigouvianos) e os limites biofísicos impostos pelas leis da termodinâmica ao fluxo metabólico do subsistema econômico. Adicionalmente, avalia-se a transposição dessas matrizes teóricas para o arranjo institucional brasileiro, com foco na Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) e no Novo Marco Legal do Saneamento Básico (Lei nº 14.026/2020). Os resultados revelam que, embora o arcabouço regulatório nacional incorpore os princípios do Poluidor-Pagador e da Responsabilidade Compartilhada, sua operacionalização tarifária enfrenta severos trade-offs entre a sustentabilidade ambiental, a simplicidade administrativa e a garantia do acesso universal, evidenciando os limites da racionalidade neoclássica face à irreversibilidade ecológica dos rejeitos urbanos.

PALAVRAS-CHAVE: Benchmarking Regulatório; Imposto Pigouviano; Resíduos Sólido Urbano**.**

1. INTRODUÇÃO

A ciência econômica, em sua gênese paradigmática ocidental, delimita como objeto central de investigação o sistema econômico e as leis que regem a alocação de recursos escassos entre fins alternativos. Sob a perspectiva neoclássica ortodoxa, essa dinâmica é tradicionalmente representada pelo fluxo circular da renda e do produto, no qual agentes econômicos, famílias e firmas, interagem em mercados autorreguláveis para otimizar funções de utilidade e de produção. Nesse ecossistema conceitual, os fatores de produção clássicos (capital e trabalho) são combinados sob o pressuposto implícito da disponibilidade ilimitada e do caráter de dádiva gratuita dos recursos naturais, sustentado por uma hipótese de substituição perfeita mediada pelo progresso tecnológico.

Contudo, a emergência de crises ecológicas complexas a partir da segunda metade do século XX desestabilizou a premissa de isolamento do subsistema econômico. Fenômenos de escala planetária, tais como o aquecimento global, a depleção da camada de ozônio e o adensamento crítico de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) nos grandes centros urbanos, evidenciaram os limites da capacidade de carga e de regeneração dos ecossistemas. Historicamente, a inserção sistemática das variáveis ecológicas no debate econômico intensificou-se na década de 1970, impulsionada por alarmes institucionais sobre os limites do crescimento material (Meadows et al., 1972) e pela visível degradação ambiental nos países industrializados. Esse debate ganhou escala político-institucional a partir da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e

Desenvolvimento (Rio-92), consolidando a urgência de mecanismos capazes de mitigar a pressão antrópica sobre o sistema climático global (Gouveia, 2012).

Diante desse desafio, estruturaram-se no pensamento econômico duas matrizes teóricas concorrentes. A Economia Ambiental Neoclássica estende o instrumental analítico microeconômico tradicional para o meio ambiente, tratando a degradação ecológica como uma falha de mercado decorrente da ausência de direitos de propriedade bem definidos. Sob essa ótica, os problemas ambientais são tipificados como externalidades negativas ou subprovimento de bens públicos, cujas soluções operam via mecanismos de preços e incentivos de mercado para restaurar a otimalidade de Pareto (Pigou, 1932; Baumol & Oates, 1988).

Em contraposição, a Economia Ecológica, consolidada a partir do final dos anos 1980 com a fundação da International Society for Ecological Economics (ISEE), rejeita o reducionismo alocativo e propõe uma abordagem sistêmica e transdisciplinar. Fundamentada nos trabalhos pioneiros de Nicholas Georgescu-Roegen (1971), esta corrente conceitua a economia como um subsistema aberto e termodinamicamente dependente de um ecossistema global finito, cujas restrições de escala precedem os problemas de alocação eficiente (Daly, 1996; Costanza et al., 1991).

No domínio específico dos Resíduos Sólidos Urbanos, as transformações demográficas, a urbanização acelerada e os padrões contemporâneos de obsolescência programada geraram um crescimento exponencial na massa e na toxicidade dos rejeitos. No Brasil, esse cenário ganhou contornos regulatórios rígidos com a promulgação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS — Lei nº 12.305/2010) e, mais recentemente, com o Novo Marco Legal do Saneamento Básico (Lei nº 14.026/2020), que impôs a obrigatoriedade da sustentabilidade econômico-financeira dos serviços de manejo de RSU por meio de taxas ou tarifas.

Diante do exposto, este artigo delineia o seguinte problema de pesquisa: Quais são os tratamentos e os limites teóricos propostos pela Economia Ambiental Neoclássica e pela Economia Ecológica no tocante à cobrança e à coerção da geração de resíduos sólidos urbanos, e como essas matrizes se projetam no atual arranjo regulatório brasileiro? O objetivo central deste estudo é realizar uma contraposição metodológica e formal entre as duas correntes e avaliar criticamente a viabilidade de suas recomendações na estrutura tarifária e institucional do caso brasileiro.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A compreensão dos mecanismos de cobrança e coerção sobre os resíduos sólidos urbanos exige o resgate e a confrontação das matrizes epistemológicas que balizam o debate econômico contemporâneo. Como bem preconiza Andrade (2008), os desafios impostos pelas crises ecológicas globais demandam que o instrumental analítico das ciências econômicas seja capaz de fornecer respostas consistentes, desenhando uma trajetória de harmonia entre o meio natural e o subsistema econômico.

Diante da constatação de que a atividade produtiva, a reprodução social e a própria qualidade de vida humana são umbilicalmente dependentes dos fluxos de bens e serviços providos pela natureza, torna-se imperativo examinar como as diferentes correntes internalizam a dinâmica dos processos biofísicos e os impactos gerados pelos rejeitos antrópicos. Sob essa perspectiva, a análise a seguir contrasta a abordagem alocativa da ortodoxia com a visão sistêmica e termodinâmica da heterodoxia ecológica.

2.1 Economia Ambiental Neoclássica: Externalidades e o Escopo de Mercado

A Economia Ambiental Neoclássica opera sob a premissa de que os recursos naturais enfrentam uma escassez meramente relativa, uma vez que o sistema de preços e a inovação tecnológica possuem a capacidade inerente de induzir trajetórias de substitutibilidade entre capitais reprodutíveis (manufaturados) e capitais naturais, hipótese conhecida na literatura como Sustentabilidade Fraca (Solow, 1974; Hartwick, 1977).

Conforme sistematizado por Amazonas (2002) e Romeiro (2003), a economia ambiental subdivide seu escopo analítico em duas grandes vertentes:

1. **Economia dos Recursos Naturais:** Trata a natureza como provedora de *inputs* (matérias-primas e energia). Dedica-se a modelar taxas ótimas de extração de recursos renováveis e não renováveis ao

longo do tempo (Hotelling, 1931), assumindo que o aumento da escassez física eleva os preços de mercado, sinalizando custos de oportunidade e estimulando a busca por substitutos tecnológicos.

2. **Economia da Poluição:** Trata o meio ambiente sob a ótica dos *outputs* (receptáculo de rejeitos e poluentes). Fundamentada na economia do bem-estar Pigouviana, essa linha constata que os ativos ambientais funcionam frequentemente como bens públicos puros (não excludentes e não rivais), desprovidos de preços reguladores. Consequentemente, as firmas e indivíduos utilizam a capacidade de absorção da natureza a custo zero, gerando externalidades negativas (Cánepa, 2003).

A ocorrência de uma externalidade negativa implica uma divergência entre o custo privado marginal $(CPrM)$ suportado pelo agente gerador e o custo social marginal (CSM) arcado pela coletividade. Formalmente, o custo social é a somatória do custo privado com o custo marginal externo do dano $(CExM)$:

$$CSM(q) = CPrM(q) + CExM(q) \quad (1)$$

Na ausência de intervenção soberana, o equilíbrio competitivo de mercado ocorre no ponto onde o benefício marginal privado $(BMrP)$ iguala-se ao custo privado marginal $(CPrM)$, resultando em uma quantidade produzida (q_m) que excede o nível socialmente ótimo $(\hat{q})$, conforme ilustrado na seção de desenvolvimento deste trabalho. Para restabelecer a eficiência alocativa, a economia da poluição prescreve a internalização das externalidades por meio da aplicação de taxas de incentivo, conhecidas como Impostos Pigouvianos.

2.2 Economia Ecológica: Entropia, Escala e os Limites Biofísicos

A Economia Ecológica emerge como uma ruptura epistemológica frente ao reducionismo alocativo da ortodoxia. Seu fundamento central reside na transposição das Leis da Termodinâmica para a análise do processo econômico, uma contribuição paradigmática de Nicholas Georgescu-Roegen (1971). Enquanto a economia neoclássica modela a atividade produtiva como um sistema mecânico fechado e reversível, a Economia Ecológica demonstra que o sistema é um organismo metabólico aberto, que extrai matéria e energia de baixa entropia (recursos úteis) do meio ambiente e devolve matéria e energia de alta entropia (resíduos e calor dissipado) ao ecossistema (Cechin & Veiga, 2010).

Pela Primeira Lei da Termodinâmica (Conservação da Matéria-Energia), o montante físico de insumos que entra no sistema econômico deve necessariamente ser igual à quantidade total de produtos acumulados e rejeitos gerados. A Segunda Lei (Lei da Entropia) estabelece a irreversibilidade desse processo: a matéria e a energia, uma vez processadas e degradadas na forma de resíduos sólidos espalhados ou gases dissipados, perdem sua capacidade de realizar trabalho útil e não podem ser integralmente recicladas sem um aporte adicional maciço de energia externa (Daly & Farley, 2004).

Portanto, a Economia Ecológica adota o postulado da Sustentabilidade Forte, que afirma que o capital natural e o capital manufaturado são fundamentalmente complementares, e não substitutos. Os ecossistemas provêm serviços ecossistêmicos essenciais de suporte à vida (como regulação climática, purificação hídrica e ciclagem de nutrientes) para os quais não existem equivalentes tecnológicos artificiais (Andrade, 2008).

Sob essa ótica, Martinez-Alier (1998) e Daly (1996) argumentam que os critérios de eficiência de mercado são insuficientes para guiar a sustentabilidade, ordenando a governança macroeconômica em três etapas hierárquicas inflexíveis:

1. **Escala:** Delimitação do tamanho físico total do subsistema econômico vis-à-vis a capacidade de carga do ecossistema global;

2. **Distribuição:** Repartição justa dos recursos e dos direitos de acesso entre as gerações presentes e futuras (equidade inter e intratemporal);

3. **Alocação:** Mecanismos de mercado para distribuir os recursos de forma eficiente, operando estritamente dentro dos limites fixados pelas duas etapas anteriores.

Essa trindade hierárquica inverte a lógica da ortodoxia neoclássica ao subordinar o sistema de preços e a eficiência alocativa a critérios imperativos de prudência ecológica e justiça distributiva. Para a Economia Ecológica, a falha do mercado em responder à crise dos resíduos sólidos não decorre de uma mera ausência de valoração monetária das externalidades, mas sim de uma disfunção estrutural, uma vez que se tenta resolver via alocação microeconômica (terceira etapa) o que deveria ser previamente delimitado pelas restrições físicas de escala macro ecológica (primeira etapa).

Disso depreende-se que qualquer proposta de cobrança ou coerção sobre a geração de rejeitos que ignore o teto biofísico do ecossistema e os direitos intergeracionais estará fadada a operar como um simples paliativo contábil. Sem essa delimitação prévia da escala, os incentivos de preços tornam-se incapazes de reverter a trajetória de degradação entrópica e de acumulação de passivos ambientais que caracteriza o metabolismo urbano contemporâneo.

2.3 Resíduos Sólidos Urbanos no contexto de Infraestrutura e Saúde Pública

Diferenciando-se dos bens econômicos tradicionais, os resíduos sólidos urbanos configuram-se analiticamente como um "mal econômico", cuja acumulação reduz o nível de bem-estar social e degrada ativos ambientais críticos. A literatura epidemiológica e de economia sanitária documenta exaustivamente que o gerenciamento inadequado de RSU desencadeia externalidades negativas severas com impactos diretos sobre a saúde pública e o meio ambiente.

A disposição inadequada de resíduos em solo (lixões a céu aberto e aterros controlados) resulta na contaminação de lençóis freáticos por percolado (chorume) e na emissão volumétrica de metano (CH_4), gás de elevado potencial de efeito estufa (Santos et al., 2003; Gouveia, 2012). Adicionalmente, técnicas alternativas como a incineração de alta escala, embora reduzam o volume físico dos rejeitos, geram severas controvérsias devido à liberação de dioxinas, furanos e metais pesados. Estudos de bio-monitoramento associam a exposição residencial crônica a emissões de incineradores e aterros a riscos aumentados de neoplasias malignas, anomalias congênitas e complicações gestacionais (Elliott et al., 1996; Cordier et al., 2004; Franchini et al., 2004).

No Brasil, o padrão histórico de crescimento da geração de RSU exibe uma elasticidade-renda positiva e desalinhada com a dinâmica demográfica. Enquanto a taxa média de crescimento populacional estabilizou-se em patamares próximos a 1% ao ano, a geração de resíduos expandiu-se a taxas de até 7% ao ano nas últimas décadas, refletindo a consolidação de uma cultura de consumo linear de alta rotatividade material (Gouveia, 2012). Esse descompasso impõe desafios logísticos e fiscais severos aos municípios, tornando a cobrança pelo serviço um elemento central para a sustentabilidade da infraestrutura urbana.

3. METODOLOGIA

Para responder ao problema de pesquisa proposto, este trabalho adota uma abordagem metodológica qualitativa, de natureza analítico-conceitual e documental. O procedimento divide-se em três etapas coordenadas:

1. **Revisão Conceitual e Formalização Teórica:** Realizou-se um levantamento analítico da literatura clássica e contemporânea da Economia Ambiental Neoclássica e da Economia Ecológica. O comportamento das externalidades foi modelado matematicamente por meio de equações de custo e benefício marginal, explicitando a mecânica de equilíbrio sob a ótica pigouviana.

2. **Análise Documental do Arranjo Regulatório Nacional:** Foram analisados os textos legais e os mecanismos operacionais das duas principais balizas normativas do setor de saneamento e resíduos no Brasil: a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) e o Novo Marco Legal do Saneamento Básico (Lei nº 14.026/2020), com foco nas diretrizes emitidas pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

3. **Mapeamento de Trade-offs e Análise Comparativa:** Utilizou-se o método de confrontação teórica para identificar os desalinhamentos e os pontos de convergência entre os instrumentos recomendados pelas correntes econômicas e as estruturas tarifárias vigentes no país, sintetizando os resultados na forma de matrizes comparativas e quadros de análise.

A combinação dessas etapas metodológicas assegura a triangulação necessária para conectar a abstração dos modelos teóricos à realidade prática das políticas públicas de saneamento no Brasil. Longe de ser uma mera revisão descritiva, esse arranjo procedimental permite confrontar a coerência interna das normas vigentes com as restrições biofísicas e microeconômicas apontadas por cada escola de pensamento.

Dessa forma, a abordagem adotada fornece o suporte analítico indispensável para desvelar as contradições e os desafios de implementação contidos no arcabouço regulatório nacional. Com base nesse encadeamento, a seção seguinte dedica-se ao desenvolvimento e à discussão dos resultados, aplicando os modelos formais de externalidades e contrapondo as diretrizes institucionais brasileiras às lentes da Economia Ambiental e da Economia Ecológica.

4. DESENVOLVIMENTO E DISCUSSÃO

A análise da cobrança e da coerção sobre a geração de resíduos sólidos urbanos exige transitar da abstração conceitual para a avaliação empírica e formal dos mecanismos de intervenção econômica. Nesta seção, os fundamentos da Economia Ambiental Neoclássica e da Economia Ecológica são confrontados a fim de explicitar as suas potencialidades e limitações normativas quando aplicadas à realidade regulatória brasileira.

Para tanto, o percurso analítico inicia-se com a modelagem microeconômica tradicional das falhas de mercado, avançando para a discussão de como as diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e do Novo Marco Legal do Saneamento Básico tentam operacionalizar esses conceitos na estrutura tarifária nacional, culminando no mapeamento dos *trade-offs* socioeconômicos e ambientais que emergem dessa estrutura.

4.1 A Mecânica Formal das Externalidades e o Equilíbrio de Mercado

Para compreender a divergência alocativa causada pela geração de RSU, torna-se necessário formalizar matematicamente o equilíbrio de mercado na presença de efeitos externos negativos. Seja (q) o nível de atividade econômica que gera resíduos como subproduto inevitável. Definimos o Benefício Marginal Privado $(BMrP)$ decrescente da atividade e o Custo Privado Marginal $CPrM$ crescente como:

$$CSM(q) = CPrM(q) + CExM(q) \quad (2)$$

$$CPrM(q) = C + dq \quad (3)$$

O Custo Marginal Externo $(CExM)$ imposto à sociedade pela disposição inadequada de resíduos (poluição, vetores de doenças, odores) é modelado como uma função linear positiva do nível de produção:

$$CExM(q) = e + fq \quad (4)$$

O equilíbrio competitivo privado (q_m) ocorre onde o mercado iguala apenas as forças privadas $(BMrP - CPrM)$:

$$a - bq_m = c + dq_m \Longrightarrow q_m = \frac{a-c}{b+d} \quad (5)$$

Por sua vez, o Ótimo Social (q^*) exige a incorporação do custo marginal externo, igualando o benefício marginal privado ao custo social marginal $(BMrP - CSM)$:

$$CSM(q) = CPrM(q) + CExM(q) = (c + e) + (d + f)q \quad (6)$$
$$a - bq^* = (c + e) + (d + f)q^* \Longrightarrow q^* = \frac{a-c-e}{b+d+f} \quad (7)$$

Dado que os parâmetros (e) e (f) são estritamente positivos, constata-se matematicamente que $(q^* < q_m)$. O livre mercado produz uma quantidade excessiva de bens e, por conseguinte, de resíduos sólidos, gerando uma perda irrecuperável de bem-estar social.
Para corrigir essa ineficiência, o regulador neoclássico aplica um imposto Pigouviano (t^*) exatamente igual ao custo marginal externo avaliado no ponto de ótimo social:

$$t^* = CExM(q^*) = e + fq^* \quad (8)$$

A introdução de (t^*) eleva artificialmente a curva de custo privado marginal até que ela intercepte o benefício marginal no ponto (q^*), internalizando o efeito externo por meio do sistema de preços e forçando o gerador a arcar com o custo social de suas escolhas.

4.2 O Cenário Regulatório Brasileiro: PNRS (2010) e o Novo Marco do Saneamento (2020)

O arcabouço institucional brasileiro aplicável ao manejo de resíduos sólidos urbanos experimentou uma inflexão estrutural a partir da promulgação da Lei nº 12.305/2010 (PNRS). A legislação tentou conciliar vetores econômicos e ecológicos ao positivar o Princípio do Poluidor-Pagador e instituir a Responsabilidade Compartilhada pelo Ciclo de Vida dos Produtos. Esse arranjo impôs obrigações de logística reversa para cadeias específicas de produtos pós-consumo (eletrônicos, pilhas, pneus, lâmpadas e embalagens plásticas), forçando o setor empresarial a estruturar canais de retorno e reciclagem independentes do serviço público municipal de manejo.

Apesar dos avanços normativos da PNRS, a universalização da disposição final ambientalmente adequada colidiu historicamente com a fragilidade fiscal crônica dos municípios e com a ausência de mecanismos de financiamento sustentáveis. Para superar esse gargalo, o Novo Marco Legal do Saneamento Básico (Lei nº 14.026/2020) alterou substancialmente o Artigo 35 da Lei nº 11.445/2007, tornando compulsória a cobrança pela prestação dos serviços de manejo de RSU sob pena de configuração de renúncia de receita nos termos da Lei de Responsabilidade Fiscal (LRF).

A regulação desse dispositivo foi centralizada na Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), que editou a Norma de Referência nº 01/2021 (NR-01/ANA). A norma estabeleceu as diretrizes para a modelagem regulatória das estruturas tarifárias de RSU no país, prevendo duas modalidades de cobrança:

- **Taxas:** Vinculadas a uma contraprestação estatal direta, calculadas com base em critérios indiretos de geração potencial (ex.: área construída do imóvel, localização censitária ou frequência da coleta);
- **Tarifas (Preços Públicos):** Aplicadas preferencialmente via faturamento indexado ao consumo de água tratada ou outros indicadores indiretos de correlação direta com o nível de atividade socioeconômica do usuário.

A instituição dessas diretrizes pela agência reguladora federal buscou padronizar um mercado historicamente fragmentado, mitigando o risco de insolvência fiscal dos municípios e estimulando a atração de capital privado para o setor através de concessões e parcerias público-privadas (PPPs). Ao chancelar o uso de proxies, como a área do imóvel ou o consumo de água tratada, para estimar a arrecadação, a NR-01/ANA priorizou a viabilidade operacional e a arrecadação imediata de recursos, garantindo receitas previsíveis para cobrir os custos de capital e de operação e manutenção (O&M) das empresas delegatárias.

Todavia, sob a ótica da eficiência alocativa pura, essa modelagem regulatória adota soluções de "segundo melhor" (*second-best*), uma vez que desvincula o valor cobrado do volume real de rejeitos efetivamente descartado por cada indivíduo. Ao internalizar os custos do manejo de forma indireta e massificada, o arranjo institucional brasileiro foca primariamente na sustentabilidade financeira do prestador de serviço, transferindo para a estrutura tarifária um conjunto de tensões distributivas e ambientais que desafiam os limites normativos da economia da poluição.

É sob essa perspectiva de viabilidade institucional que emerge o papel do *benchmarking* regulatório desenhado pela agência federal. Ao padronizar as diretrizes de cobrança por meio da NR-01/ANA, o regulador não busca apenas a consistência contábil imediata, mas também a criação de uma base comparativa de desempenho e eficiência entre prestadores de serviço historicamente heterogêneos. Esse arranjo de benchmarking induz uma competição artificial por eficiência que, embora fundamentada em incentivos microeconômicos de controle de custos de O&M, acaba por transferir para a modelagem de preços as tensões ecológicas e distributivas que a precificação indireta via proxies não é capaz de capturar isoladamente.

4.3 Confrontação Teórica e Análise de Trade-offs no Modelo Brasileiro

A análise das diretrizes da NR-01/ANA e das práticas vigentes nos municípios brasileiros revela que a cobrança pelo manejo de RSU baseia-se predominantemente na cartilha teórica da Economia Ambiental Neoclássica. O modelo busca assegurar o Equilíbrio Econômico-Financeiro das concessões (cobertura total de custos operacionais e de capital) e sinalizar custos por meio do princípio do poluidor-pagador. No entanto, a transposição desses conceitos para a realidade operacional e social do país desencadeia severos *trade-offs* analíticos, sintetizados na matriz abaixo:

Dimensão Conflitante	**Princípio A (Ortodoxia)**	**Princípio B (*Heterodoxia* / Social)**	**Natureza do Impasse Regulatório**
Sustentabilidade vs. Universalização	**Poluidor-Pagador:** Cobrança proporcional ao volume real gerado para desincentivar o desperdício.	**Acesso Universal:** Garantia de acessibilidade financeira (*affordability*) para famílias vulneráveis.	A precificação integral dos custos de coleta, transporte e destinação em aterros sanitários integrados pode comprometer a renda de populações vulneráveis, induzindo o descarte ilegal em lixões clandestinos se não houver tarifas sociais robustas.
Precisão Alocativa vs. Viabilidade Operacional	**Sustentabilidade Ambiental:** Tarifação baseada no peso ou volume exato descartado (*Pay-As-You-Throw* - PAYT).	**Simplicidade e Modicidade:** Estruturas de fácil entendimento, com baixos custos administrativos.	Sistemas *PAYT* de pesagem individualizada reduzem a entropia do sistema, mas exigem investimentos massivos em pesagem eletrônica e fiscalização. No Brasil, adota-se a proxy do consumo de água, gerando distorções alocativas entre usuários.
Temporalidade Econômica vs. Irreversibilidade Biológica	**Desconto Hiperbólico:** Valoração econômica baseada em taxas de desconto que depreciam custos	**Equidade Intergeracional:** Preservação da integridade ecológica e mitigação de passivos irreversíveis.	O custo de monitoramento pós-fechamento de um aterro sanitário estende-se por décadas. A lógica neoclássica tende a subestimar esses custos de

Dimensão Conflitante	Princípio A (Ortodoxia)	Princípio B (*Heterodoxia* / Social)	Natureza do Impasse Regulatório
	futuros.		longo prazo via taxas de desconto financeiras, transferindo o passivo entrópico para as gerações futuras.

Quadro 1 - Síntese dos Trade-offs Estruturais na Tarifação de RSU no Brasil
Fonte: Elaboração própria com base em Daly (1996), Baumol & Oates (1988) e NR-01/ANA (2021).

A partir das relações discriminadas no Quadro 1, evidencia-se a fragilidade das soluções puras baseadas em preços para bens complexos como os resíduos urbanos. A imposição de taxas que buscam meramente o equilíbrio contábil privado desconsidera os limites biofísicos e as assimetrias distributivas apontadas pela Economia Ecológica.

Enquanto a Economia Ambiental Neoclássica defende que os impostos Pigouvianos e os mercados de créditos de reciclagem são suficientes para guiar o setor em direção a um equilíbrio sustentável, a Economia Ecológica aponta que tais instrumentos são paliativos de curto prazo. A inclusão de uma dimensão ecológica real exige restrições imperativas de escala, isto é, limites máximos fixados por regulamentos de comando e controle sobre a extração de recursos na fonte e a proibição absoluta de determinados compostos sintéticos não biodegradáveis na cadeia industrial. Como argumenta Veiga (2007), a conciliação teórica esbarra no hiato temporal: os processos ecológicos operam em temporalidades biológicas lentas e geram impactos cumulativos e irreversíveis que não respondem às flutuações rápidas e lineares dos incentivos de preços de mercado.

5. CONSIDERÇÕES FINAIS

Este artigo realizou um exame crítico e comparativo das abordagens da Economia Ambiental Neoclássica e da Economia Ecológica no tocante aos mecanismos de coerção e cobrança aplicados à geração de resíduos sólidos urbanos, avaliando sua aderência à dinâmica institucional e regulatória brasileira contemporânea.

Os resultados demonstram que o arranjo regulatório nacional emergente do Novo Marco Legal do Saneamento Básico e estruturado pelas normas de referência da ANA pauta-se, predominantemente, pelo instrumental analítico neoclássico. A ênfase regulatória concentra-se na garantia da sustentabilidade econômico-financeira de curto prazo dos operadores públicos e privados por meio de estruturas tarifárias indexadas a *proxies* indiretas de geração (como o consumo de água tratada) e na aplicação do princípio do poluidor-pagador.

Contudo, a análise evidenciou que a racionalidade estritamente microeconômica enfrenta limites severos diante da natureza biofísica dos resíduos. A tentativa de gerenciar o fluxo metabólico urbano exclusivamente por meio de sinais de preços negligencia as leis da termodinâmica, que impõem a irreversibilidade e a cumulatividade entrópica dos rejeitos materiais, gerando riscos crônicos de longo prazo à saúde pública e à integridade dos ecossistemas urbanos que são sistematicamente subestimados pelas taxas de desconto financeiras tradicionais. Adicionalmente, os severos *trade-offs* distributivos identificados indicam que a cobrança linear integral dos custos operacionais sem mecanismos profundos de equidade e proteção social (tarifas sociais cruzadas) tende a violar o princípio do acesso universal, incentivando a proliferação de lixões clandestinos e agravando passivos socioambientais.

Conclui-se que, na ausência de alternativas operacionais imediatas que permitam mensurar o descarte exato por unidade residencial no curto prazo, a utilização de taxas e tarifas reguladas, complementadas por impostos de matriz Pigouviana sobre produtos de alta intensidade residual, constitui um passo necessário e pragmático para financiar a transição da infraestrutura de saneamento do país. Contudo, para que o Brasil avance em direção a um modelo de desenvolvimento sustentável real, essa estrutura de preços não pode operar de forma isolada. Ela deve ser integrada a instrumentos de comando e controle derivados dos preceitos da Economia Ecológica, que imponham limites rígidos de escala física, expandam as obrigações de logística reversa e incentivem arranjos de economia circular capazes de desacelerar o fluxo de extração de recursos de baixa entropia e mitigar a degradação ambiental irreversível.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 ALIER, J. M. Da Economia Ecológica ao Ecologismo Popular. Tradução: Armando de Mello Lisboa. Blumenau: Ed. FURB, 1998.

2 AMAZONAS, M. C. Desenvolvimento Sustentável e a teoria econômica: o debate conceitual nas perspectivas neoclássica, institucionalista e da economia ecológica. In: Desenvolvimento Sustentável: a institucionalização de um conceito. Brasília: Ed. IBAMA, 2002. p. 107-286.

3 ANDRADE, D. C. Economia e meio ambiente: aspectos teóricos e metodológicos nas visões neoclássica e da economia ecológica. Leituras de Economia Política, Campinas, n. 14, p. 1-31, ago./dez. 2008.

4 AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Norma de Referência nº 01/2021. Estabelece diretrizes para a regulação das tarifas e taxas do serviço de manejo de resíduos sólidos urbanos. Brasília: ANA, 2021.

5 BAUMOL, W. J.; OATES, W. E. The Theory of Environmental Policy. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1988.

6 BRASIL. Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, 2010.

7 BRASIL. Lei Federal nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico. Brasília, 2020.

8 BROWN, L. R. Eco-Economia: construindo uma economia para a terra. Salvador: Revista UMA, 2003.

9 CÁNEPA, E. M. Economia da Poluição. In: Economia do Meio Ambiente: Teoria e Prática. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003. p. 61-78.

10 CECHIN, A. D.; VEIGA, J. E. da. A economia ecológica e evolucionária de Georgescu-Roegen. Revista de Economia Política, v. 30, n. 3, p. 438-454, 2010.

11 CERES, B.; ARAÚJO, A. C.; CÂNDIDO, A. G. Problemática dos Resíduos Sólidos Urbanos do Município de João Pessoa: Aplicação do Modelo P-E-R. Revista Qualit@, v. 8, n. 3, 2009.

12 CORDIER, S.; CHEVRIER, C.; GNANSIA, E. R.; LORENTE, C.; BRULA, P.; HOURS, M. Risk of congenital anomalies in the vicinity of municipal solid waste incinerators. Occupational and Environmental Medicine, v. 61, n. 1, p. 8-15, 2004.

13 COSTANZA, R. Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability. New York: Columbia University Press, 1991.

14 DALY, H. E. Beyond Growth: the economics of sustainable development. Boston: Beacon Press, 1996.

15 DALY, H. E.; FARLEY, J. Ecological Economics: Principles and applications. Washington: Island Press, 2004.

16 ELLIOTT, P.; SHADDICK, G.; KLEINSCHMIDT, I.; JOLLEY, D.; WALLS, P.; BERESFORD, J.; GRUNDY, C. Cancer incidence near municipal solid waste incinerators in Great Britain. British Journal of Cancer, v. 73, n. 5, p. 702-710, 1996.

17 FARRELL, M. J. The measurement of productive efficiency. Journal of the Royal Statistical Society, Series A, v. 120, n. 3, p. 253–290, 1957.

18 FRANCHINI, M.; RIAL, M.; BUIATTI, E.; BIANCHI, F. Health effects of exposure to waste incinerator emissions: a review of epidemiological studies. Annali de l'Istituto Superiore di Sanità, v. 40, n. 1, p. 101-115, 2004.

19 GEORGESCU-ROEGEN, N. The Entropy Law and the Economic Process. Cambridge: Harvard University Press, 1971.

20 GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. Revista Ciência & Saúde Coletiva, v. 17, n. 6, p. 1503-1510, 2012.

21 HARTWICK, J. M. Intergenerational equity and the investing of rents from exhaustible resources. American Economic Review, v. 67, n. 5, p. 972-974, 1977.

22 HOTELLING, H. The economics of exhaustible resources. Journal of Political Economy, v. 39, n. 2, p. 137-175, 1931.

23 LOYOLA, R. G. A economia ambiental e a economia ecológica: uma discussão teórica. Campinas: EcoEco, 2000. Disponível em: http://www.eco.unicamp.br/ecoeco. Acesso em: jun. 2015.

24 MEADOWS, D. H.; MEADOWS, D. L.; RANDERS, J.; BEHRENS, W. W. The Limits to Growth. New York: Universe Books, 1972.

25 MUELLER, C. C. Os economistas e as relações entre o sistema econômico e o meio ambiente. Brasília: Editora UnB, 2007.

26 PIGOU, A. C. The Economics of Welfare. 4. ed. London: Macmillan, 1932.

27 ROMEIRO, A. R. Economia ou Economia Política da Sustentabilidade. In: Economia do Meio Ambiente: Teoria e Prática. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003. p. 1-29.

28 SANTOS, F. E.; SOUZA, E.; SILVA, R.; BARRETO, H. H. C.; INOMATA, O. N. K.; LEMES, V. R. R.; KUSSUMI, T. A.; ROCHA, S. O. B. Grau de exposição a praguicidas organoclorados em moradores de aterro a céu aberto. Revista de Saúde Pública, v. 37, n. 4, p. 515-522, 2003.

29 SOLOW, R. M. Intergenerational equity and exhaustible resources. Review of Economic Studies, v. 41, p. 29-45, 1974.

30 THEMELIS, N. J. Integrated Management of Solid Wastes for New York City. American Society of Mechanical Engineers Digital Collection, p. 69-86, 2002.

31 VEIGA, J. E. da. A emergência socioambiental. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2007.