

A LEI DA ENTROPIA PELO OLHAR DA ECONOMIA ECOLÓGICA: OS LIMITES DA INTERNALIZAÇÃO DAS EXTERNALIDADES NEGATIVAS E ALGUNS DE SEUS EFEITOS.

THE LAW OF ENTROPY BY THE LOOK OF THE ECOLOGICAL ECONOMY: THE LIMITS OF THE INTERNALIZATION OF NEGATIVE EXTERNALITIES AND SOME OF IT EFFECTS.

Melissa Ely Melo¹

Sumário: Introdução. 1 Economia Ecológica: breve introdução. 2 Entropia: em busca da compreensão da segunda lei da termodinâmica. 3 O sistema produtivo e a desconsideração dos limites impostos pela lei da entropia. Considerações Finais. Referências.

Resumo: Trata-se de artigo que possui como escopo a melhor compreensão do complexo conceito de “entropia”, a segunda lei da termodinâmica, objetivo que envolve olhar transdisciplinar acerca da temática. Desta forma, conta-se em um primeiro momento com o aporte teórico da Economia Ecológica. Ademais, são evidenciadas algumas das consequências da desconsideração dos limites biofísicos pelo sistema produtivo, a partir da Ciência Política. Utiliza-se de pesquisa bibliográfica e documental como técnicas de pesquisa.

Palavras-chave: Entropia; Economia Ecológica; Limites à Internalização das Externalidades Negativas.

Abstract: It is an article that has as its scope the best understanding of the complex concept of "entropy", the second law of thermodynamics, an objective that involves a transdisciplinary view on the subject. In this way, counts on the theoretical contribution of the Ecological Economy. In addition, some of the consequences of the lack of consideration of the biophysical limits by the productive system are evidenced by the Political Science. Bibliographical and documentary research are used as research techniques.

Keywords: Entropy; Ecological Economy; Limits to the Internalization of Negative Externalities.

Introdução

¹ Doutora em Direito pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Professora da Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI). Pesquisadora do GPDA (UFSC/CNPq). O trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil (Processo nº 150114/2017-6 – Pós-doutorado Júnior – PDJ).

Diante da crescente demanda por recursos naturais, proveniente de uma sociedade que só faz crescer seu consumo, o presente artigo se propõe a melhor compreender o complexo conceito de “entropia”, uma vez que esta noção representa importantes limites à internalização das externalidades negativas, apesar da significativa propagação desta última na contemporaneidade.

O estudo da lei da entropia, o segundo princípio da termodinâmica, requer necessariamente olhar transdisciplinar, pois sua relevância é vislumbrada nas mais diversas áreas do saber. Assim, ainda que muitas constatações a seu respeito advenham da Física, sua análise é tecida a partir da Economia Ecológica, razão pela qual, breves considerações acerca desta corrente de pensamento são feitas.

Em um terceiro momento, as questões levantadas pela lei da entropia são remetidas para o contexto da Ciência Política, analisando-se as consequências do processo produtivo no plano global. A técnica de pesquisa utilizada é a revisão bibliográfica e documental.

1 Economia Ecológica: breve introdução

O presente artigo será dedicado à discussão acerca das limitações impostas pela lei da entropia, a segunda lei da termodinâmica, para que as externalidades negativas sejam internalizadas. A referida internalização das externalidades negativas é a principal função a que se propõe o conhecido Princípio do Poluidor Pagador, tema bastante referido em publicações na área do Direito Ambiental.

No intuito de se traçar alguns parâmetros teóricos, faz-se relevante a breve menção à corrente do pensamento econômico dedicada a travar um diálogo, mais do que necessário e muito negligenciado, entre Economia e Ecologia: a Economia Ecológica.

Um dos elementos mais relevantes desta linha de conhecimento é, justamente, a aplicação das leis da termodinâmica (conservação e entropia), dos fluxos de matéria e energia e suas consequências na dinâmica do sistema econômico-ecológico de forma integrada. Três dos principais autores que a representam são: Martínez Alier, Herman Daly e Georgescu Roegen.

Trata-se de ramo da Economia que vem se consolidando desde os anos de 1980 e que estuda o enfrentamento (ainda sem solução) entre a expansão econômica e a conservação ambiental. Traz uma visão sistêmica das relações mantidas entre a economia e o ambiente.

Segundo Martínez Alier (2012, p. 45), algumas vezes esta corrente teórica é concebida, de maneira equivocada, como uma busca de atribuição de valores monetários aos recursos e serviços ecossistêmicos. No entanto, este é tão somente um ponto dentre outras questões bem mais extensas e sujeitas a sua análise, como “[...] as relações entre os conflitos ecológicos distributivos e os diversos discursos de valoração”. Em resumo, este ramo do saber é uma área de estudo transdisciplinar que analisa a Economia como subsistema de um ecossistema físico global e finito.

[...] sua contribuição e eixo principal é, mais precisamente, o desenvolvimento de indicadores e referências físicas de (in)sustentabilidade, examinando a economia nos termos de um “metabolismo social”. Os economistas ecológicos também trabalham com a relação entre os direitos de propriedade e de gestão dos recursos naturais, modelando as interações entre economia e meio ambiente, utilizando ferramentas de gestão como avaliação ambiental integrada e avaliações multicriteriais para a tomada de decisões, propondo novos instrumentos de política ambiental.²

Na perspectiva da Economia Ecológica, a economia está dentro do ecossistema, ou melhor, transforma-se ao longo da história, conjuntamente com as alterações na percepção social do ecossistema. Também, a economia encontra-se inserida na estrutura dos direitos de propriedade sobre recursos e serviços ecossistêmicos, a partir de uma “[...] distribuição social do poder e da riqueza em estruturas de gênero, de classe social ou de casta”.³

Por seu turno, a ciência econômica tradicional percebe o sistema econômico como sistema autossuficiente, dentro do qual são criados os preços para bens e serviços para consumo, bem como serviços e fatores de produção.⁴ O que acaba se refletindo na criação de “externalidades”.

Pode-se dizer que a Economia Ecológica é um novo campo do saber transdisciplinar que cria e desenvolve temas e métodos. Em sentido oposto à Economia Neoclássica, na Economia Ecológica o direcionamento dos recursos no sistema produtivo é focado em conjunto com a distribuição da produção em diversas categorias sociais. Além do que, a distribuição não é somente econômica, é também ecológica. Desta forma, os fatores distributivos são chave para a compreensão das valorizações e aportes dos recursos naturais e serviços ecossistêmicos.⁵

² MARTÍNEZ ALIER, Joan. **O ecologismo dos pobres**: conflitos ambientais e linguagens de valoração. Tradução Maurício Waldman. São Paulo: Contexto, 2012, p. 45.

³ MARTÍNEZ ALIER, Joan. *Op. Cit.*, p. 48.

⁴ Idem, p. 49.

⁵ Idem, p. 49-50.

No contexto da Economia Ecológica, o sentido da palavra “economia” é utilizado com maior proximidade à “oikonomia” do que à “crematística”. Aristóteles já fazia a distinção entre ambas. Enquanto a primeira se ocupava da arte do abastecimento dos bens necessários para a vida, a segunda era voltada à administração dos bens para o lar ou para a cidade.⁶

Assim, a Economia Ecológica não está comprometida com uma espécie de valor único. Ainda que abarque a valoração monetária, inclui as avaliações físicas e sociais dos contributos da natureza, bem como dos impactos ambientais da economia humana, averiguados nos seus sistemas de contabilidade. Nas palavras de Martínez Alier, os economistas ecológicos “[...] levam em consideração a natureza”, menos em termos crematísticos e mais por meio de indicadores físicos e sociais.⁷

Em uma perspectiva mais ampla de sua obra, por sua vez, Daly⁸ propõe uma economia de estado estacionário caracterizada por um desenvolvimento de “crescimento zero”, obtido por meio da progressiva redução do crescimento material com o progresso tecnológico responsável por gerar serviços econômicos cada vez mais volumosos, mas comprometendo cada vez menos recursos naturais não renováveis.

Tecidas essas breves considerações gerais acerca da Economia Ecológica, neste momento se faz necessário explicar o que se compreende por entropia para, em um terceiro tópico, abarcar as limitações por ela impostas à internalização das externalidades negativas.

2 Entropia: em busca da compreensão da segunda lei da termodinâmica

No intuito de entender o que seja entropia, conceito físico abstrato e complexo, ainda pouco compreendido, mesmo por aqueles profissionais que lidam com a temática, a obra de Georgescu-Roegen servirá de suporte teórico.⁹ De acordo com Veiga, caso se fizesse necessário descrever brevemente a contribuição deste autor, pode-se dizer que ele demonstrou aos praticantes de todas as ciências a completa inconsistência de teorias que seguem ignorando a segunda lei da termodinâmica. Ele seria o “[...] mais

⁶ ARISTÓTELES. **A política**. Tradução: Nestor Silveira Chaves. 15. ed. Rio de Janeiro: Ediouro Publicações, 1988.

⁷ MARTÍNEZ ALIER, Joan. *Op. Cit.*, p. 53.

⁸ DALY, Herman. **Beyond growth**: the economics of sustainable development. Boston: Beacon Press, 1996.

⁹ GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. **O decrescimento**: entropia, ecologia, economia. Tradução de Maria José Perillo Isaac. São Paulo: Senac, 2012.

clarividente analista econômico dessa era que mal começa a ser chamada de Antropoceno¹⁰,¹¹

De acordo com Leff, ainda que Georgescu-Roegen seja desconhecido pelos economistas ortodoxos e não suficientemente reconhecido pelos economistas ambientais¹², ele faz uma crítica fundamental à Economia ao estabelecer o vínculo entre o processo econômico e os princípios da termodinâmica, obrigando os economistas a “[...] descer dessa nuvem abstrata e fictícia na qual pensaram – e continuam a acreditar – que o mundo da economia e da produção é uma mera circulação de valores e preços de mercado”, um sistema alimentado por uma natureza ilimitada e excluída dos fatores de produção.¹³

A contribuição de Georgescu-Roegen, de acordo com as advertências feitas pelos organizadores de sua obra póstuma em português, Grinevald e Rens, se encontra “[...] nas origens históricas da epistemologia das esferas interdisciplinares inovadoras”.¹⁴ Todas estas observações justificam a escolha do autor como o principal interlocutor para a elaboração das considerações acerca da entropia.

Dentro do contexto da energia e dos materiais, atribui-se grande valor às leis da termodinâmica, especialmente à segunda (a da entropia). De acordo com Prigogine e Stengers, a energia é um equivalente geral das transformações físico-químicas, isto é, a medida de grandeza de tudo aquilo que se conserva quantitativamente, ainda que seja modificado qualitativamente por meio do processo de conversão.¹⁵

Já a conservação de “algo”, alterado qualitativamente, diz respeito ao princípio da conservação da energia e é decorrente do fato de que matéria-energia não pode ser criada nem destruída, mas transformada e conservada. Trata-se da primeira lei da

¹⁰ Conceito desenvolvido pelo cientista holandês Paul J. Crutzen, Nobel de Química de 1995. Baseado na intensidade da moderna escala de destruição ambiental concebeu a possibilidade de existência desta era geológica, na qual a degradação humana dos ecossistemas tem se tornado cada vez mais intensa. (SANTANA, Ana Lucia. **Antropoceno**. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/geologia/antropoceno-2/>> Acesso em: 13. Fev. 2017)

¹¹ VEIGA, José Eli da. Apresentação à edição brasileira. In: GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. **O decrescimento**: entropia, ecologia, economia. Tradução de Maria José Perillo Isaac. São Paulo: Senac, 2012. p. 9 – 14, p. 13-14.

¹² Compreende-se que o núcleo fundamental da Economia Ambiental é caracterizado pela extensão da racionalidade econômica convencional, cuja origem é o pensamento neoclássico, às relações entre economia e natureza.

¹³ LEFF, Enrique. **Discursos sustentáveis**. Tradução de Silvana Cobucci Leite. São Paulo: Cortez, 2010, p. 23.

¹⁴ GRINEVALD, Jacques; RENS, Ivo. Prefácio à segunda edição (1995). In: GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. **O decrescimento**: entropia, ecologia, economia. Tradução de Maria José Perillo Isaac. São Paulo: Senac, 2012. p. 17-45, p. 15.

¹⁵ PRIGOGINE, Ilya; STENGERS, Isabelle. **A nova aliança**: metamorfose da ciência. Tradução de Miguel Faria e Maria Joaquina Machado Trincadeira. Brasília: Universidade de Brasília, 1991, p. 87.

termodinâmica. Há, entretanto, nos processos de transformação, dissipação de energia. Assim, “A quantidade que se conserva, ou seja, o balanço da conversão de energia – fluxo de calor e sua transformação em trabalho – mostra relações de não-equivalência, havendo perdas de eficiência no processo.”¹⁶

Decorre deste princípio da conservação da matéria-energia, a constatação de que o homem não produz nem consome matéria-energia, limitando-se a absorvê-la para devolvê-la de maneira contínua, isto tudo sob a perspectiva da física. No entanto, existe uma diferença entre aquilo que é absorvido no processo econômico e o que é rejeitado e esta diferença é sempre qualitativa. Mais além, aquilo que entra (é absorvido) são os “recursos naturais de valor” e o que sai (é rejeitado) são os “resíduos sem valor”. É justamente esta diferença qualitativa que a termodinâmica, esta divisão específica da física, confirma. Ou seja, a matéria-energia é absorvida num estado de “baixa entropia” no processo econômico e sai num estado de “alta entropia”.¹⁷

O termo entropia, segundo o autor, têm recebido distintas significações, embora não todas relativas a uma função física. A definição como “[...] uma medida da energia não utilizável num sistema termodinâmico”, parece convir a fins gerais.¹⁸

Outra definição bastante difundida (e complementar) é a de entropia como medida da quantidade de desordem de um sistema. Resumidamente, nos processos de transformação, a direção seguida pela matéria-energia é sempre de estados de baixa entropia (ou também denominados de sintropia), isto é, de estados de elevada ordem (concentração) para estados de alta entropia ou desordem (dissipação).¹⁹

Trata-se da descrição do que ocorre nos processos econômicos de produção, ou seja, sob o ponto de vista de termodinâmica, a matéria-energia entra no estado de baixa entropia e sai no estado de alta entropia. Portanto, a quantidade de energia não apropriável (não utilizável) é chamada de entropia.

Já a “energia utilizável” e “não utilizável” são os dois estados qualitativos em que a energia se apresenta: “energia utilizável ou livre” e “energia não utilizável ou presa”. Sobre a primeira o homem exerce um domínio praticamente completo, já da segunda, ele não pode se utilizar. Tornando mais “figurada” a distinção, Georgescu-Roegen se vale da comparação da energia livre com um armazém, em que todas as

¹⁶ MONTIBELLER-FILHO, Gilberto. **O mito do desenvolvimento sustentável**: meio ambiente e custos sociais no moderno sistema produtor de mercadorias. 3. ed. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2008, p. 122.

¹⁷ GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. *Op. Cit.* p. 56-57.

¹⁸ *Idem*, p. 58.

¹⁹ ALTVATER, Elmar. **O preço da riqueza**: pilhagem ambiental e a nova (des)ordem mundial. Tradução de Wolfgang Leo Maar. São Paulo: Unesp, 1995, p. 45.

mercadorias encontram-se numa estrutura ordenada pelas categorias a que pertencem (carnes, legumes, etc.), enquanto a energia presa é energia dispersa, isto é, em desordem, como se o mesmo armazém tivesse sido atingido por um tornado. Motivo pelo qual a entropia também pode ser definida como medida de “desordem”.²⁰

Para melhor esclarecer, o que o autor observa é que a produção de determinado bem de consumo requer a extração e transformação da natureza, ou seja, matéria e energia e que esta transformação, muito embora seja determinada pelas leis do mercado, circula e é degradada conforme as leis da termodinâmica.

Neste processo ocorre perda líquida de energia utilizável (de estados de baixa entropia para estados de alta entropia). Sua manifestação mais evidente é a transformação de energia em calor, forma mais degradada, irreversível e irrecuperável da energia no Planeta Terra.²¹ Prigogine e Stengers complementam a ideia com a observação de que a propagação de calor equivale à perda de rendimento.²²

A análise acima refere que, sob o ponto de vista da física, ao longo do processo econômico os recursos naturais de valor (baixa entropia) são transformados em resíduos (alta entropia).

Por sua vez, toda transformação energética implica na produção de calor. Este calor possui uma tendência a dissipar-se e, assim, tornando-se a forma mais degradada de energia. Ainda que uma parcela possa ser recuperada para alguma finalidade útil, o aproveitamento de todo o calor é impossível. Portanto, em sua essência, a lei da entropia, determina que, em um sistema isolado, a degradação energética tende a um grau máximo, sendo um processo irreversível.²³

Tendo em vista que toda transformação e todo trabalho libera calor, sempre contribuirá para a mencionada degradação. E é esta diminuição de caráter irreversível da capacidade de transformação e efetuação de trabalho, inerente ao calor que recebeu a denominação de entropia.²⁴

A consequência desta constatação é que, ao se considerar um sistema fechado (que não recebe energia exterior), toda transformação é sempre acompanhada de crescimento de entropia e, de acordo com o segundo princípio da termodinâmica, será uma degradação irreversível que crescerá até um ponto máximo, denominado “estado de

²⁰ GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. *Op. Cit.*, p. 58-59.

²¹ LEFF, Enrique. *Op. Cit.*, 2010, p. 23-24.

²² PRIGOGINE, Ilya; STENGERS, Isabelle. *Op. Cit.*, 1991, p. 94.

²³ VEIGA, José Eli da. **Sustentabilidade**: a legitimação de um novo valor. São Paulo: Senac, 2010, p. 19.

²⁴ MORIN, Edgar. **O Método 1**: a natureza da natureza. Tradução de Ilana Heineberg. 2. ed. Porto Alegre: Sulina, 2008, p. 52.

homogeneização e de equilíbrio térmico”, nele a aptidão para trabalho e as possibilidades de transformação irão desaparecer.²⁵

A primeira lição a ser extraída desta constatação é a de que a luta econômica humana está concentrada na baixa entropia de seu ambiente. E a segunda é de que há uma escassez de baixa entropia no ambiente. É, portanto, a lei da entropia que explica a razão pela qual uma máquina, por exemplo, acaba desgastando-se e precisa ser substituída por outra nova, representando remoção adicional de baixa entropia do ambiente. A retirada de recursos naturais é “[...] o mais importante elemento da história da humanidade”.²⁶

Complementando essa ideia, Ost afirma que toda a natureza, não somente a matéria, mas a vida de uma maneira geral, parece ser levada por meio de um fluxo incessante que, conforme a segunda lei da termodinâmica, faz compreender o caminho de uma crescente entropia que leva a um fim intransponível.²⁷

A entropia aparece, desta maneira, como “lei-limite” que a própria natureza impõe à ampliação do processo econômico. Desvelando a “[...] última causa da insustentabilidade da racionalidade econômica que emerge de falha constitutiva da ciência econômica”.²⁸ A descoberta da lei da entropia foi impulsionada pela busca do incremento da eficiência tecnológica. O problema de pesquisa proposto (quando de sua constatação) foi o de determinar quais as condições necessárias para tornar possível a obtenção de maior eficiência no trabalho mecânico produzido por uma unidade de calor livre.

A lei da entropia é filha da racionalidade econômica e tecnológica, do imperativo de se maximizar a produtividade e minimizar a perda de energia. Em sua procura de ordem, controle e eficiência, essa racionalidade desencadeou as sinergias negativas que haveriam de levar à degradação da natureza. Nesse sentido, a escassez como princípio que fundamenta a ciência econômica troca de sinal e adquire um novo significado. O problema do crescimento não surge do esgotamento dos recursos naturais (renováveis e não renováveis), nem dos limites da tecnologia para extraí-los e transformá-los; nem sequer dos crescentes custos de geração de recursos energéticos. Os limites do crescimento econômico são estabelecidos pela *lei-limite da entropia*, que rege os fenômenos da natureza e conduz o processo

²⁵ MORIN, Edgar. *Op. Cit.*, p. 52.

²⁶ GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. *Op. Cit.*, p. 63.

²⁷ OST, François. **O tempo do direito**. Tradução de Maria Fernanda Oliveira. Lisboa: Instituto Piaget, 1999, p. 29.

²⁸ LEFF, Enrique. **Racionalidade ambiental**: reapropriação social da natureza. Tradução de Luís Carlos Cabral. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2006, p. 174-175.

irreversível e inelutável da degradação da matéria e da energia no universo.²⁹

Avaliando o caminho percorrido pelos seres humanos ao longo de sua existência, Georgescu-Roegen averigua que

Tendo multiplicado seus meios de ação biológica por suas próteses industriais, o homem, por isso mesmo, tornou-se tributário de uma fonte parcimoniosíssima de subsistência, indo até a intoxicar-se do luxo da civilização industrial. Tudo acontece como se a espécie humana tivesse escolhido levar uma vida breve, mas excitante, deixando às espécies menos ambiciosas, uma existência longa, mas monótona.³⁰

De acordo com o autor, a melhor ilustração do fundamento epistemológico da economia dominante é dado pelo clássico gráfico apresentado em todo manual de introdução à economia, representando o processo econômico por um fluxo independente e circular entre a “produção” e o “consumo”. Ele afirma que “[...] o processo econômico não é um processo isolado e independente. Ele não pode funcionar sem a troca contínua, que altera o meio ambiente de maneira cumulativa e sem ser, no retorno, influenciado por essas alterações”.³¹

Não há possibilidade de análise rigorosa acerca de um processo material, em ciências naturais ou economia, sem uma “[...] representação analítica clara e global de tal processo”. A mecânica reduz todo processo ao movimento e à mudança na distribuição da energia. Por isso, assimilar o processo econômico a um modelo mecânico seria admitir o mito de acordo com o qual a economia é um “carrossel” que, de modo algum, intervém no ambiente (composto de matéria e energia). Como conclusão geral tem-se que é desnecessário integrá-lo ao modelo analítico do processo. Na medida em que a mecânica não reconhece mudanças qualitativas, somente o deslocamento no espaço, é possível inverter todo o processo mecânico (como em um pêndulo).³²

Considerando apenas a primeira lei da termodinâmica, se está sempre dentro da mecânica, mas não no âmbito dos fenômenos reais (que compreendem o processo econômico). É com a segunda lei da termodinâmica que se compreende que: “O calor só pode passar por si mesmo do corpo mais quente para o corpo mais frio, nunca em sentido inverso” o que equivale a dizer de maneira mais complexa que, a entropia de um

²⁹ LEFF, Enrique. *Op. Cit.*, 2006, p. 175-176, grifos no original.

³⁰ GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. *Op. Cit.*, p. 69-70.

³¹ *Idem*, p. 75.

³² *Idem*, p. 78-79.

sistema “isolado” irá aumentar de maneira contínua até um ponto máximo, ou seja, a energia utilizável será continuamente transformada em energia não utilizável, até que desapareça por completo.³³

Segundo Georgescu-Roegen, todas as formas de energia são transformadas de maneira gradativa em calor, e o calor se torna difuso a ponto de não poder mais ser utilizado pelo homem. Já que para ser utilizável, a energia precisa ser distribuída desigualmente e quando ela está completamente dissipada não é mais utilizável.³⁴

Para o autor, a termodinâmica é uma física do valor econômico e, em sua natureza, é a mais econômica de todas as leis físicas.

O processo econômico, como todo processo vivo, é irreversível (o é irrevogavelmente); por conseguinte, não se pode dar conta dele somente em termos de mecânica. É a termodinâmica, com sua Lei da Entropia, que reconhece a distinção qualitativa – o que os economistas deveriam ter feito desde o início – entre os *inputs* dos recursos de valor (baixa entropia) e os *outputs* finais de resíduos sem valor (alta entropia). O paradoxo suscitado por esta reflexão, isto é, que todo o processo econômico consiste em transformar matéria e energia de valor em resíduos, fica assim instrutivo e facilmente resolvido.³⁵

Conforme o autor, é de suma importância que os economistas reconheçam que a lei da entropia encontra-se na origem da escassez econômica. A cada litro de gasolina utilizado, não apenas aumenta a entropia do ambiente, “[...] mas também uma parte substancial da energia livre contida nessa gasolina, em vez de acionar o nosso carro, irá traduzir-se diretamente por um aumento suplementar de entropia”.³⁶ Na medida em que os recursos forem abundantes e de fácil acesso, é provável que não haja preocupação em relação a esta perda suplementar.

No entanto, em uma realidade marcada pela escassez crescente de recursos naturais e de demanda cada vez mais significativa por energia, a questão da inevitabilidade das consequências da entropia torna-se de suma importância.

Neste contexto é relevante perceber a noção de entropia como o conceito crítico da relação obscura entre Economia e Ecologia. E, embora tenha sido reconhecida, a partir de Georgescu-Roegen, como um liame essencial entre a natureza e o processo econômico, é um conceito sem prestígio para “[...] autores que se queixam

³³ Idem, p. 81.

³⁴ Idem, p. 82.

³⁵ Idem, p. 84.

³⁶ Idem, p. 86.

da economia ecológica, como um conceito “metafísico”, como uma abstração fora de lugar (*misplaced abstraction*), ou como um pensável sem concreção possível”.³⁷

Em relação à problemática ambiental, o autor afirma reinar uma grande confusão, prova disso é dada por dois exemplos trazidos: 1) Sir Macfarlane Burnet³⁸ que acreditou ser possível “[...] prevenir a destruição progressiva dos recursos insubstituíveis da Terra” e 2) A Conferência de Estocolmo³⁹ que recomendou “melhorar o meio ambiente”. Para ele os dois exemplos demonstram a ilusão de que o homem pode inverter o curso da entropia. Em verdade, pode-se tão somente prevenir o desperdício desnecessário dos recursos e a deterioração desnecessária do ambiente, sem, entretanto, ter a pretensão de compreender o que quer dizer o adjetivo “desnecessário” dentro deste contexto.⁴⁰

Consequentemente, toda vez que um automóvel é produzido, por exemplo, isso ocorre ao custo de uma baixa no número de vidas humanas futuras. Muito embora, o desenvolvimento econômico baseado na abundância industrial seja, por um lado, benéfico na atualidade e para aqueles que conseguirem desfrutar dele em um futuro próximo, não deixa de ser oposto ao interesse da espécie humana em sua totalidade, ao menos se o seu interesse for perdurar tanto quanto o estoque de baixa entropia permitir. E, por meio deste paradoxo do desenvolvimento econômico, é possível conceber o preço a ser pago pelo homem pelo seu privilégio único, ou seja, sua capacidade de ultrapassar os limites biológicos na luta pela vida.⁴¹

De acordo com Leff,

[...] para além da lenta e difusa internalização dessa lei-limite como condição da existência humana, a entropia aparece hoje como a linha básica da argumentação contra a pretensão de um crescimento sem limites da economia, da reversibilidade dos processos econômicos e da substituição entre capital financeiro, produtivo e natural, de uma economia convertida no processo impulsionador da morte entrópica do planeta ao induzir a um consumo e transformação crescente de matéria e energia.⁴²

Partindo dessas reflexões acerca dos limites impostos pela lei da entropia ao sistema econômico, ruma-se para o terceiro tópico do artigo em que estas evidências descobertas pela física são analisadas por meio do “olhar” da ciência política com

³⁷ LEFF, Enrique. *Op. Cit.*, 2010, p. 40, grifo no original.

³⁸ Prêmio Nobel de fisiologia/medicina de 1960, com Peter Brian Medawar.

³⁹ A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente, realizada em Estocolmo em 1972, na qual foi adotada a Declaração de Estocolmo, considerada um marco histórico da questão ambiental.

⁴⁰ GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. *Op. Cit.*, p. 103.

⁴¹ *Idem*, p. 69.

⁴² LEFF, Enrique. *Op. Cit.*, 2010, p. 42.

aporte teórico na obra de Altvater.⁴³ Assim, serão descritas as graves consequências da não consideração dos limites impostos pela entropia para a sociedade global e os indivíduos.

3 O sistema produtivo e a desconsideração dos limites impostos pela lei da entropia

A partir dos estudos do físico alemão Dürr (1929-2014), Altvater delimita o conceito de sintropia, noção já mencionada e oposta a de entropia, cuja fonte primária para a existência de vida na Terra é a radiação solar direta. Assim, o desenvolvimento técnico é movido essencialmente por carvão, petróleo e gás, todos provenientes de radiações solares recebidas. No entanto, a descoberta contínua de reservas energéticas fez crer que a Terra poderia ser considerada como uma reserva de fontes de sintropia (ou baixa entropia) inesgotável. Mas a exploração dessas “ilhas de sintropia”⁴⁴ não renováveis e necessárias para o processo de criação de valor do sistema produtivo apresenta desvantagens comparando-o com os processos naturais de utilização de sintropia e esta é a razão das dificuldades que se apresentam atualmente de maneira global: o gasto daquilo que não poderá mais ser repostado, ou seja, o consumo da própria substância.⁴⁵

O que o autor quer dizer, no mesmo sentido do que foi evidenciado por Georgescu-Roegen, é que os estoques de baixa entropia (ou sintropia) são esgotáveis, além de que o crescimento da entropia é inevitável, em qualquer que seja o processo econômico, o que pode ser traduzido como verdadeira barreira ecológica para o “desenvolvimento”, pelo menos da maneira como ele é concebido na contemporaneidade.

O autor resume que o incremento da entropia pode ser evidenciado basicamente em quatro manifestações distintas: a) mistura de materiais e, conseqüentemente, aumento da desordem de um determinado sistema; b) radiação térmica e, por isso, minimização da qualidade da energia; c) aumento do nível de toxicidade do ambiente, ameaçando e destruindo a vida; d) diminuição da diversidade de espécies, destruindo as redes de comunicação que têm por base a multiplicidade,

⁴³ ALTVATER, Elmar. *Op. Cit.*

⁴⁴ A noção de sintropia pode ser definida como o estado de um sistema fechado de elevada ordem ou um estado de baixa entropia. Por sua vez, as ilhas de sintropia são os grandes reservatórios de baixa entropia, tais como os de petróleo e de carvão, fontes de energia. (Idem, p. 45).

⁴⁵ Idem, p. 45.

que se rompem quando pontos-chave (nós) são abolidos, não suportando o processo evolutivo.⁴⁶

Altvater reitera o posicionamento de Georgescu-Roegen⁴⁷ para mencionar que é uma condição imprescindível da vida econômica o segundo princípio da termodinâmica, em sua interpretação antropomórfica, isto é, a diminuição da qualidade de energia para a produção dos materiais e para a satisfação das necessidades humanas é uma realidade intransponível.⁴⁸

Os processos econômicos estão localizados em coordenadas espaciais e temporais da natureza, vinculados aos fluxos energéticos e materiais, não só pelo abastecimento como para receber o rejeito. Ainda que o processo econômico tenda a ignorar as barreiras estabelecidas pela natureza, é o nível da atividade econômica que dá o dimensionamento das transformações energéticas e materiais. Ademais, os materiais tóxicos já acumulados e a diminuição da diversidade ocasionados até o momento são de crucial importância para a qualidade atual e futura dos fluxos energéticos e materiais.⁴⁹

Exemplos desse acúmulo de materiais tóxicos são os denominados “danos históricos” ou “danos crônicos”. São danos originados no passado por depósitos de substâncias tóxicas no solo ou resultantes da chuva ácida. Esta última representa um dano tão específico que acabou contribuindo para que a Comissão das Comunidades Europeias apresentasse um sistema alternativo de reparação dos mesmos: os fundos de indenização conjunta, tendo em vista a grande dificuldade de identificação e priorização para a reparação do dano histórico.

Por sua vez, os Estados Unidos da América, através da *Comprehensive Environmental Response and Liability Act* (C.E.R.C.L.A.), regulamentação norte americana acerca da responsabilidade ambiental, elaboraram uma “lista nacional de prioridades”, apontando os locais contaminados. Também a União Europeia, mediante a Diretiva do Conselho 78/319, determinou que os Estados membros identificassem e inventariassem as zonas contaminadas, além de elaborarem um plano de prioridade, de acordo com a gravidade da contaminação.

Por sua vez, no contexto brasileiro, o Estado de São Paulo teve a iniciativa, por meio do Ministério Público e da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

⁴⁶ Idem, p. 53-54.

⁴⁷ O artigo citado: “GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. **The entropy law and the economic process.** Cambridge, London: Harvard University Press, 1971” foi traduzido para o português e é o primeiro artigo que compõe a obra GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. *Op. Cit.*

⁴⁸ ALTVATER, Elmar. *Op. Cit.*, p.55

⁴⁹ Idem.

(CETESB), de gerenciar as áreas contaminadas neste Estado. O procedimento foi iniciado em 2002, com a divulgação de uma lista de áreas contaminadas. Elas vêm recebendo a seguinte classificação: contaminada sem proposta de remediação, com proposta de remediação, com remediação em andamento e com remediação, e concluída para o uso pretendido. Ressalta-se que esta classificação também é averbada nas Escrituras Públicas das respectivas áreas junto aos Cartórios de Registro de Imóveis do Estado.⁵⁰ Trata-se de iniciativa fundamental para a precaução de futuros danos ambientais e, conseqüentemente, de graves riscos à saúde humana.

No entanto, de acordo com a análise de Albuquerque em uma perspectiva mais global, apesar da proliferação dos tratados ambientais internacionais a partir da década de 1970, as condições ambientais planetárias não têm melhorado. Em sentido oposto, a degradação só tem aumentado, demonstrando a omissão da sociedade internacional diante da problemática ambiental. Verifica a autora que, no contexto das relações internacionais da atualidade, à medida que uma convenção se torna mais abrangente e multilateral em face do número de seus signatários, menores são seus efeitos e mais impreciso é seu conteúdo. É assim que as questões ambientais seguem sendo tratadas tão somente com sua “normatização”, sem a devida modificação da relação para com o ambiente.⁵¹

Assim, com a continuidade do processo econômico e o aumento da entropia, a ordem vai sendo reduzida. Por exemplo, com a combustão do carvão mineral e do petróleo é produzido dióxido de carbono, além de outros produtos tóxicos derivados deste processo, que é expandido de forma global para a atmosfera, fazendo crescer a entropia de todo o sistema Terra. Decorre deste fato a consequência de que o efeito estufa não seja local.⁵²

Em raciocínio complementar, Leff afirma que o custo do crescimento econômico é a perda da fertilidade da terra e a desorganização dos ecossistemas,

⁵⁰ Maiores informações em: CORREGEDORIA GERAL DA JUSTIÇA DO TRIBUNAL DE JUSTIÇA DO ESTADO DE SÃO PAULO. REGISTRO DE IMÓVEL – Cadastramento de áreas contaminadas sob a responsabilidade da CETESB, qualificado com presunção de veracidade e legalidade, própria dos atos da Administração Pública – Interesse público que envolve a referida matéria ambiental e que impõe amplitude de informação – Segurança jurídico-registral, estática e dinâmica, que reclama concentração da notícia de contaminação, oficialmente declarada, no fôlio real – Admissibilidade da publicidade registral de áreas contaminadas por substâncias tóxicas e perigosas, por averbação enunciada de “declaração” ou “termo” emitido pela Cetesb – Inteligência do artigo 246 da Lei de Registros Públicos – Consulta conhecida, com resposta positiva. (Parecer: Processo CG nº 167/2005, de 17 de abril de 2007).

⁵¹ ALBUQUERQUE, Letícia. **Poluentes orgânicos persistentes**. Curitiba: Juruá, 2006, p. 19.

⁵² ALTVATER, Elmar. *Op. Cit.*, p. 56.

gerando a inexorável degradação entrópica do planeta, cuja manifestação mais evidente é o aquecimento global.⁵³

De maneira resumida, em contrapartida à geração sistemática de ordem por meio do incremento da produtividade, ocorre o aumento dos *inputs* de recursos materiais e energéticos, além de que, sob o ponto de vista dos *outputs*, são eliminados produtos colaterais e agregados frutos da transformação energética e material, estes, por sua vez, não retroagem sobre os *inputs* do processo.

Desta forma, para que o processo de produção fosse considerado como um todo seria necessário integrar ao cálculo da produtividade não apenas o *input* e *output*, mas o *throughput*. Essa é uma conclusão óbvia desde o Relatório Brundtland⁵⁴, e exigência presente nos conceitos de desenvolvimento sustentável⁵⁵ e ecodesenvolvimento⁵⁶, a necessidade de limitar o *throughputgrowth* (crescimento de *throughput*) diante das restrições ecológicas.⁵⁷

Com o fim de esclarecer o conceito, Cavalcanti explica que a economia precisa ser compreendida enquanto sistema aberto, dentro do ecossistema (este é o todo, enquanto a economia é uma parte). Assim, tanto matéria quanto energia, adentram o sistema econômico passando pelo processo denominado *throughput*⁵⁸ e se transformam em lixo ou matéria e energia degradadas. A definição do *throughput* tem o mesmo sentido do fluxo metabólico de um organismo vivo. Da mesma maneira, o organismo irá absorver recursos externos do ambiente e restituir a esse os resíduos que derivam do seu metabolismo, depois de utilizar-se do que era útil.⁵⁹

⁵³ LEFF, Enrique. *Op. Cit.*, 2006, p. 135.

⁵⁴ Como ficou conhecido o documento “Nosso futuro comum” da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento apresentado em 1987.

⁵⁵ Expressão amplamente difundida a partir da década de oitenta, ainda que as controvérsias em torno do termo sejam bastante significativas. Em especial, chama-se a atenção para a seu objetivo central: “produzir mais com menos”, ou seja, responder às necessidades do presente (que são crescentes), sem o comprometimento da satisfação das necessidades das gerações futuras. Portanto, ter o desenvolvimento sustentável como parâmetro significa aceitar que: os atuais padrões de consumo do mundo industrializado possam ser mantidos, expandidos e, mais do que isso, globalmente difundidos; Prevaleça o status do indivíduo enquanto consumidor e que a tecnologia seja apropriada para produzir cada vez mais, com base em menor quantidade de recursos. (MONTIBELLER-FILHO, Gilberto. *Op. Cit.*, p. 54).

⁵⁶ Termo criado por Maurice Strong (secretário geral da Conferência de Estocolmo de 1972) e, posteriormente, difundido por Ignacy Sachs. Seu significado está relacionado com o desenvolvimento de um país ou de uma região, tendo por base as suas próprias potencialidades, sem criar dependências externas e sendo capaz de harmonizar objetivos sociais e econômicos do desenvolvimento com a gestão ecológica prudente dos recursos e do meio. (Idem, p. 51)

⁵⁷ ALTVATER, Elmar. *Op. Cit.*, p. 108.

⁵⁸ O autor sugere a tradução para o português como: “transumo”. No artigo opta-se por não traduzi-lo.

⁵⁹ CAVALCANTI, Clóvis. Concepções da economia ecológica: suas relações com a economia dominante e a economia ambiental. **Estudos Avançados** (On line). Vol. 24, n. 68, pp. 53-67, 2010. Disponível em:

Neste processo não haverá criação de riqueza, mas transformação de matéria e energia de baixa entropia (recursos naturais) em matéria e energia de alta entropia (resíduo), tudo em conformidade com as leis da termodinâmica. Cavalcanti define esta perspectiva como “visão ecológica da economia”, de acordo com a qual o sistema econômico possuiu aparelho digestivo (além do circulatório já concebido pela economia tradicional).⁶⁰ Esta também é a visão biofísica do processo econômico de Georgescu-Roegen. Desta forma, os processos econômicos são compostos por transformações materiais e energéticas que além de irreversíveis, não ocorrem de maneira circular como a teoria econômica pressupõe.

Também, Daly explica que a economia, em sua dimensão física é um subsistema aberto para o ecossistema finito e fechado (Planeta Terra) que é, ao mesmo tempo, o fornecedor dos recursos de baixa entropia e o receptor dos resíduos de alta entropia.⁶¹

Assim, o crescimento do subsistema econômico é limitado pelo tamanho fixo do ecossistema em que está inserido, pela sua dependência deste ecossistema como fonte de *inputs* de baixa entropia e como depósito de resíduos de alta entropia, bem como pelas complexas conexões ecológicas que são mais facilmente interrompidas à medida que cresce a escala do subsistema econômico (o *throughput*) em relação à totalidade do ecossistema.⁶²

Em decorrência desta irreversibilidade dos processos de aproveitamento de recursos naturais, é possível firmar-se a orientação temporal de todos os processos: podem ser elaborados os *outputs* a partir dos *inputs*, mas nunca a partir dos *outputs* podem ser elaborados os *inputs*.⁶³

Segundo Altvater, essa regra, do ponto de vista da política do desenvolvimento, tem como consequência o fato de que os recursos naturais materiais e energéticos depois de utilizados por uma determinada sociedade, não estarão mais disponíveis em outra oportunidade, outra época ou em outro local para fazerem parte de uma estratégia de desenvolvimento.⁶⁴

<http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40142010000100007&script=sci_abstract> Acesso em: 15. Dez. 2016, p. 58.

⁶⁰ CAVALCANTI, Clóvis. *Op. Cit.*, p. 59.

⁶¹ DALY, Herman. *Op. Cit.*, p. 33.

⁶² Idem, p. 33.

⁶³ ALTVATER, Elmar. *Op. Cit.*, p. 123.

⁶⁴ Idem, p. 123.

O autor avalia que a produção, tanto na perspectiva do *input* quanto do *output*, é uma produção acoplada, ou seja, sempre são produzidos efeitos externos. E, sob o fundamento da termodinâmica, estes não são completamente internalizáveis, nem mesmo por meio de uma negociação nos termos de Coase.⁶⁵ (1960).

A produção mais intensiva e o aumento da produtividade do trabalho tornam-se possíveis mediante uma utilização extensiva de recursos naturais (tanto como *input* quanto como *output*). Este fato é uma limitação ao desenvolvimento, que não se torna consciente enquanto o progresso do desenvolvimento puder ser associado à descoberta continuada de novas ilhas (fósseis) de sintropia material e energética, e as biosferas e as esferas abióticas do globo forem suficientes para os rejeitos emitidos.⁶⁶

O aumento da produtividade, objetivo do desenvolvimento, traduz-se em coerência e ordem sociais (para alguns), mas tem como consequência a degradação ecológica e a desordem. Entretanto, estas duas facetas do desenvolvimento podem ser conservadas apartadas uma da outra, o que é possível por meio da “externalização”, de uma região do Planeta para a outra, dos efeitos colaterais negativos desse incremento da produtividade.⁶⁷

Estas constatações têm relação direta com o fenômeno que Martínez Alier denomina de “dívida ecológica” que, no plano internacional, emerge a partir de dois conflitos distributivos distintos. Por primeiro, são exportadas matérias-primas e demais produtos de países menos desenvolvidos por preços que não consideram qualquer tipo de compensação pelas externalidades, tanto locais, quanto globais. Por segundo, os países mais desenvolvidos utilizam-se dos espaços e dos serviços ambientais sem efetuar pagamentos por eles, passando por cima dos direitos a eles que possuem os outros países. São mencionados como exemplos os reservatórios naturais e os depósitos temporários de dióxido de carbono.⁶⁸

Noção complementar também trabalhada pelo referido autor é a de “intercâmbio desigual”, compreendido como causa de subvalorização de mão de obra e saúde dos trabalhadores. No caso de incorporar-se a ele a questão ambiental, o conceito pode ser ampliado para incluir externalidades locais não consideradas nos cálculos econômicos e, portanto, não ressarcidas. Seria o “intercâmbio ecologicamente

⁶⁵ COASE, Ronald. The problem of social coast. *In: The Journal of Law & Economics*. Vol. III. October, 1960. Disponível em: < <http://www.econ.ucsb.edu/~tedb/Courses/UCSBpf/readings/coase.pdf>> Acesso em: 20. Jan. 2017.

⁶⁶ ALTVATER, Elmar. *Op. Cit.*, p. 126.

⁶⁷ *Idem*, p. 130.

⁶⁸ MARTÍNEZ ALIER, Joan. *Op. Cit.*, p. 287.

desigual”, ou seja, a exportação de produtos advindos de países ou regiões pobres do globo, não se ponderando as externalidades atreladas à sua produção, bem como o esgotamento de recursos naturais, intercambiados por bens e serviços das regiões mais abastadas.⁶⁹

Para o autor, a impossibilidade de inclusão de “[...] todas as externalidades e a deterioração dos recursos naturais em uma mensuração monetária torna difícil produzir uma medida de intercâmbio ecologicamente desigual na forma que a economia ortodoxa está habituada”.⁷⁰

Os “efeitos colaterais da produção”, como são designados por Altvater, podem ser considerados como decorrências na distribuição ambiental global e os prejudicados são aqueles que sofrem os efeitos externos negativos. A esses é recusado o acesso às ilhas de sintropia ou são destinados a receber descargas de entropia. O que torna o sistema global uma realidade contraditória, pois o desenvolvimento de certos países (ou sua coerência nacional) pode ser aumentado pela externalização para fora de suas fronteiras das condições que perturbam a ordem, tais como os resíduos da produção.⁷¹

A título de exemplo menciona-se o caso dos Estados Unidos da América, primeiros produtores e exportadores mundiais de lixo e que até a atualidade não ratificaram a Convenção da Basileia sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e seu Depósito de 1989⁷². Envia diariamente entre 50 a 100 contêineres de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos, legalmente, para Hong Kong, centro da atividade asiática.⁷³

Albuquerque, no sentido de complementar esta análise, traz exemplos relevantes para o que designa de “desenvolvimento centro/periferia”, como o chamado “círculo do veneno” que ocorre por meio da exportação de pesticidas dos países desenvolvidos (onde estes são proibidos) para os países “em desenvolvimento” (onde a sua comercialização é permitida). O círculo se completa quando estes mesmos países

⁶⁹ Idem, p. 288-289.

⁷⁰ Idem, p. 291.

⁷¹ ALTVATER, Elmar. *Op. Cit.*, p. 146-147.

⁷² O Brasil promulgou a Convenção por meio do Decreto n. 875/1993 (BRASIL. **Decreto n. 875**, de 19 de julho de 1993. Promulga o texto da Convenção sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e seu Depósito. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D0875.htm> Acesso em: 31. Nov. 2016).

⁷³ ECODEBATE. ‘Exportações’ de lixo tóxico dos países industriais são direcionadas sobretudo para a Ásia e a África. Disponível em: < <http://www.ecodebate.com.br/2011/08/17/exportacoes-de-lixo-toxico-dos-paises-industriais-sao-direcionadas-sobretudo-para-a-asia-e-a-africa/>> Acesso em: 30. Nov.2016.

desenvolvidos importam produtos agrícolas desses países “em desenvolvimento”, fazendo com que a população dos primeiros também consuma estes produtos.⁷⁴

Por sua vez, Galeano já relatava que aqueles países que formam a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE)

organizam a cooperação com o desenvolvimento econômico do sul do mundo enviando-lhes dejetos tóxicos que incluem lixo radioativo e outros venenos. Esses países proíbem a importação de substâncias contaminantes, mas as derramam generosamente sobre os países pobres. Fazem com o lixo perigoso a mesma coisa que fazem com os pesticidas e herbicidas proibidos em casa: exportam para o Sul com outros nomes. A Convenção da Basileia pôs um ponto final nessas remessas, em 1992. Desde então, chegam mais que antes: vêm disfarçados como *ajuda humanitária* ou *contribuições para os projetos de desenvolvimento*, conforme já denunciou inúmeras vezes a organização Greenpeace, ou vêm de contrabando entre as montanhas de dejetos industriais que são recebidos legalmente.⁷⁵

A transferência de efeitos externos de países desenvolvidos para outros menos desenvolvidos com compensação monetária que jamais será suficiente para minimizar as perdas consequentes das externalizações acontece e muito. No entanto, se a compensação exigida fosse suficiente, essa transferência não seria utilizada. Esta é a explicação para a disputa pelos pagamentos compensatórios dos países desenvolvidos aos países em desenvolvimento para financiar uma proteção parcial de ecossistemas prejudicados.

Todavia, a consequência é a diminuição dos custos do aumento de produtividade e de riqueza. Os direitos de propriedade não são válidos do lado de lá das fronteiras (África e América Latina) e, caso tenham validade, será no âmbito de outro sistema jurídico, com poder de sanção irrelevante. As sociedades mais ricas e poderosas possuem maior aptidão do que as mais pobres e menos poderosas para a redução das externalidades e para a penalização de outras sociedades por meio da utilização dos ecossistemas globais, seja como fonte de recursos, seja como áreas de despejos de dejetos.⁷⁶

Ao longo do percurso teórico traçado no decorrer do artigo, partiu-se da física para constatar os limites impostos pela lei da entropia ao crescimento infinito do sistema econômico. Encontrou-se a ciência política para descrever as consequências desse processo na perspectiva do plano global das relações desiguais mantidas entre os

⁷⁴ ALBUQUERQUE, Letícia. *Op. Cit.*, p. 34.

⁷⁵ GALEANO, Eduardo. **De pernas pro ar**: a escola do mundo ao avesso. Tradução de Sergio Faraco. 8. ed. Porto Alegre: L&PM, 1999, p. 230-231, grifo no original.

⁷⁶ ALTVATER, Elmar. *Op. Cit.*, p. 150-151.

distintos Estados, bem como para constatar-se a improbabilidade de internalização das externalidades negativas neste contexto.

Considerações Finais

Neste artigo buscou-se melhor compreender a noção de entropia, partindo da Economia Ecológica, ciência que, conforme visto, trata-se de ramo da Economia que estuda o conflito entre a expansão do sistema produtivo e a conservação ambiental, trazendo uma visão sistêmica das relações mantidas entre a economia e o ambiente. Martínez Alier, Herman Daly e Georgescu Roegen são alguns dos autores que a representam e cuja obra serviu de referencial teórico para a elaboração da pesquisa.

Observou-se que para produzir bens de consumo é necessária a extração e transformação da natureza (matéria e energia) e que esta alteração, ainda que seja determinada pelas leis do mercado, é conduzida de acordo com as leis da termodinâmica. Razão pela qual existem importantes limites à internalização das externalidades negativas.

Assim, sob o ponto de vista da Física, ao longo do processo econômico os recursos naturais de valor (baixa entropia) são transformados em resíduos (alta entropia). A entropia, portanto, se apresenta como “lei-limite” imposta pela natureza à ampliação do sistema produtivo. Desta forma, os estoques de baixa entropia (ou sintropia) são esgotáveis e o crescimento da entropia é inevitável o que se torna uma verdadeira barreira ecológica para o “desenvolvimento”, da maneira como ele é concebido na contemporaneidade.

Portanto, do ponto de vista da política do desenvolvimento, essa constatação possui a consequência de que os recursos naturais materiais e energéticos depois de utilizados por algumas sociedades não estarão mais disponíveis para fazerem parte de outra estratégia de desenvolvimento. Além disso, o aumento da produtividade, objetivo do desenvolvimento, pode ser traduzido como coerência e ordem sociais (para alguns), porém tem como consequência a degradação e a desordem. Muito embora estes dois lados do desenvolvimento possam ser mantidos separadamente, com a “externalização”, de uma região do Planeta para a outra, dos efeitos colaterais negativos desse crescimento da produção econômica.

De maneira correlata, foram evidenciadas as noções de “dívida ecológica” e “intercâmbio desigual” que auxiliaram na percepção de que os “efeitos colaterais da

produção” podem ser considerados como decorrências da distribuição ambiental global, em que os principais prejudicados são aqueles que sofrem seus efeitos externos negativos. Deste modo, o sistema global é uma realidade contraditória, haja vista que o desenvolvimento de certos países pode ser aumentado pela externalização para além de suas fronteiras das condições que perturbam a sua “ordem”, tais como os resíduos da produção. Mas analisando-se o sistema global como um todo, a “desordem” apenas irá aumentar.