



Georgescu-Roegen na Economia Pós-Schumpeteriana: centralidade estrutural e limites biofísicos na teoria da inovação

Rosana Icassatti Corazza¹;
Paulo Sérgio Fracalanza²;

Resumo:

Este artigo examina a circulação e a apropriação da obra *The Entropy Law and the Economic Process* (1971), de Nicholas Georgescu-Roegen, no interior da literatura associada à evolução do pensamento econômico, com foco nas interfaces com a tradição neo- e pós-schumpeteriana. Embora amplamente reconhecida como marco fundador da economia ecológica, permanece pouco sistematizado o modo como sua crítica entrópica foi incorporada (ou reinterpretada) no campo das teorias da inovação e da mudança estrutural. O problema de pesquisa que orienta o trabalho consiste em investigar se a herança de Georgescu-Roegen é integrada de forma ontológica às abordagens evolucionárias ou se é mobilizada predominantemente em registros epistemológicos e metodológicos. O objetivo central é analisar os padrões de circulação e as formas de apropriação seletiva da obra de Georgescu-Roegen na literatura pós-schumpeteriana, explorando suas implicações para a teoria da inovação e para os estudos sobre transições sociotécnicas em contextos de sustentabilidade. Metodologicamente, o estudo adota abordagem exploratória baseada em análise de literatura citante na *Web of Science Core Collection*. Utilizando a funcionalidade *Cited Reference Search*, foram identificados 2.035 documentos que citam diretamente a obra de 1971. Na etapa de triagem, aplicou-se o filtro *Citation Topics Micro*, selecionando o tópico “*Economic Thought Evolution*”, o que resultou em 265 documentos. Para fins de elegibilidade, adotou-se critério de influência bibliométrica (mais de 30 citações na base), definindo *corpus* final de 36 estudos. O processo foi sistematizado por meio de fluxograma PRISMA 2020. A análise combinou indicadores bibliométricos, incluindo evolução temporal e rede de cocitações, com extração qualitativa orientada por categorias analíticas relativas a tipos de herança mobilizada (ontológica, epistemológica, metodológica e normativa), correntes teóricas e implicações para inovação e transições. Os resultados indicam trajetória não linear de mobilização da obra, com intensificação das citações a partir dos anos 2000 e consolidação em arenas associadas à economia ecológica e à economia evolucionária. A análise de cocitações revela dois agrupamentos principais: um associado à economia ecológica, no qual predominam mobilizações ontológicas centradas nos limites biofísicos; e outro, mais heterogêneo, que articula tradição evolucionária e teoria da mudança estrutural em um panorama

¹ Professora Livre-Docente do Departamento de Política Científica e Tecnológica, do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. E-mail: rcorazza@unicamp.br

² Professor Titular do Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. E-mail: fracalanza@unicamp.br

teórico mais amplo, no qual a herança de Georgescu-Roegen é mobilizada sobretudo em registros epistemológicos e metodológicos. Embora sua posição na rede seja estruturalmente central, a incorporação sistemática das restrições termodinâmicas na teoria da inovação permanece parcial. Conclui-se que a circulação seletiva da obra de Georgescu-Roegen evidencia uma tensão constitutiva na economia pós-schumpeteriana contemporânea: a coexistência entre narrativas de transformação tecnológica e integração incompleta dos limites biofísicos como fundamento analítico. O estudo contribui para o debate teórico-metodológico em Economia Industrial e da Inovação ao explicitar essa assimetria e apontar agenda futura de articulação entre inovação, mudança estrutural e restrições ambientais. Como limitação, destaca-se o caráter exploratório do recorte e a necessidade de aprofundamento qualitativo do corpus em pesquisas subsequentes.

Palavras-chave: Economia evolucionária; Mudança estrutural; Limites termodinâmicos; Transições sociotécnicas; Análise bibliométrica

Código JEL: B52; O33; Q57

Área Temática: 9. Teorias e Metodologias de Estudo em Inovação e Indústria (9.1 Discussão teórico-metodológica)

Georgescu-Roegen in Post-Schumpeterian Economics: structural centrality and biophysical limits in innovation theory

Abstract:

This article examines the circulation and appropriation of *The Entropy Law and the Economic Process* (1971) by Nicholas Georgescu-Roegen within the literature associated with the evolution of economic thought, with particular attention to its interfaces with neo- and post-Schumpeterian traditions. Although widely recognized as a foundational work in ecological economics, the ways in which its entropic critique has been incorporated (or reinterpreted) within theories of innovation and structural change remain insufficiently systematized. The research problem guiding this study is whether Georgescu-Roegen's legacy has been ontologically integrated into evolutionary approaches or whether it has been mobilized primarily at epistemological and methodological levels. The central objective is to analyze patterns of circulation and forms of selective appropriation of Georgescu-Roegen's work in post-Schumpeterian literature, exploring their implications for innovation theory and for sociotechnical transition studies in sustainability contexts. Methodologically, the study adopts an exploratory approach based on cited-reference analysis in the *Web of Science Core Collection*. Using the *Cited Reference Search* function, 2,035 documents citing the 1971 book were identified. In the screening phase, the *Citation Topics Micro* filter was applied, selecting the topic "*Economic Thought Evolution*," which resulted in 265 documents. An eligibility criterion based on bibliometric influence (more than 30 citations within the database) was then adopted, defining a final *corpus* of 36 studies. The selection process was systematized through a PRISMA 2020 flowchart. The analysis combined bibliometric indicators, including temporal evolution and co-citation network mapping, with qualitative extraction guided by analytical categories related to types of legacy mobilized (ontological, epistemological, methodological, and normative), theoretical traditions, and implications for innovation and transitions. The results indicate a non-linear trajectory of mobilization of Georgescu-Roegen's work, with a marked intensification of citations from the 2000s onward and consolidation in arenas associated with ecological and evolutionary economics. Co-citation analysis reveals two main clusters: one linked to ecological economics, where ontological mobilizations centered on biophysical limits predominate; and another, more heterogeneous cluster articulating evolutionary traditions and structural change theory within a broader theoretical landscape, in which Georgescu-Roegen's legacy is mobilized mainly in epistemological and methodological registers. Although his position in the network is structurally central, the systematic incorporation of thermodynamic constraints into innovation theory remains

partial. The findings suggest that the selective circulation of Georgescu-Roegen's work reveals a constitutive tension within contemporary post-Schumpeterian economics: the coexistence of narratives of technological transformation with the incomplete integration of biophysical limits as an analytical foundation. By making this asymmetry explicit, the study contributes to theoretical and methodological debates in Industrial Economics and Innovation Studies, and highlights a research agenda aimed at more fully articulating innovation, structural change, and environmental constraints. As a limitation, the exploratory nature of the *corpus* delimitation is acknowledged, indicating the need for further qualitative deepening in subsequent research.

Keywords: Evolutionary economics; Structural change; Thermodynamic limits; Sociotechnical transitions; Bibliometric analysis.

1. Introdução

Desde sua publicação, *The Entropy Law and the Economic Process*, de Nicholas Georgescu-Roegen, ocupa um lugar singular na história do pensamento econômico. Ao introduzir de modo sistemático a lei da entropia no debate econômico, Georgescu-Roegen formulou uma crítica profunda aos fundamentos mecanicistas do *mainstream*, questionando a separação entre processos econômicos e limites biofísicos e abrindo caminho para uma reflexão estrutural sobre crescimento, energia e sustentabilidade (BOBULESCU, 2012; CECHIN; VEIGA, 2010). Apesar de sua reconhecida relevância, a forma como essas contribuições têm sido apropriadas, reinterpretadas e rearticuladas ao longo do tempo permanece objeto de debate, especialmente no interior das correntes heterodoxas da economia.

Nas últimas décadas, a literatura neo- e pós-schumpeteriana consolidou-se como campo privilegiado para a análise da mudança estrutural de longo prazo, enfatizando processos de inovação, trajetórias tecnológicas e reconfiguração de regimes produtivos. Em paralelo, intensificaram-se os debates sobre crise ecológica, economia de baixo carbono e transições sociotécnicas (GEELS, 2002; GEELS; SCHOT, 2007; MARKARD; RAVEN; TRUFFER, 2012). Nesse contexto, torna-se particularmente relevante examinar em que medida os fundamentos biofísicos introduzidos por Georgescu-Roegen foram incorporados (ou reinterpretados) no interior das teorias contemporâneas da inovação e da transformação estrutural.

Embora frequentemente associado à economia ecológica, o pensamento de Georgescu-Roegen também circula no campo evolucionário mais amplo (HEINZEL, 2013; MANESCHI, 2006). Uma ilustração pode ser vista quando, recentemente, Patrick Llerena e colegas propõem um modelo de *fund-flow* baseado em agentes inspirado em contribuições originais de Georgescu-Roegen, que demonstra que o ócio dos trabalhadores, em vez de ser uma ineficiência, atua como um recurso estratégico para a inovação e o aumento da produtividade a longo prazo. Num exemplo da assimilação da obra de Georgescu como uma influência metodológica na economia evolucionária, os autores propõem o modelo NGR-ADAPT em que questionam a utilização do trabalho como variável de ajuste diante de flutuações econômicas (LLERENA; LOBET; LORENTZ, 2025). Esse exemplo ilustra uma forma específica de circulação da obra de Georgescu-Roegen no interior da economia evolucionária contemporânea. Em alguns casos, sua contribuição aparece mobilizada sobretudo como recurso metodológico, nesse caso, particularmente na formalização de modelos inspirados na distinção *fund-flow*, sem que necessariamente se incorpore, de forma explícita, a dimensão ontológica de sua crítica entrópica ao processo econômico. Essa distinção, ainda pouco explorada na literatura, constitui um dos pontos analíticos que o presente artigo busca examinar de maneira preliminar.

No panorama geral da literatura evolucionária, permanece pouco sistematizado o modo como se dá a recepção e circulação da obra de Georgescu-Roegen, particularmente no caso do *The Entropy Law and the Economic Process* ocorre e, sobretudo, se sua herança é incorporada de forma ontológica – ou seja, como fundamento estruturante do processo econômico – ou predominantemente mobilizada em registros epistemológicos e metodológicos.

Este artigo parte da hipótese de que a recepção de Georgescu-Roegen na literatura neo- e pós-schumpeteriana é marcada por seletividade interpretativa. LEVALLOIS (2010) procedeu a análises de recepção da literatura com propósitos análogos, ainda que empregando métodos distintos. Mais especificamente, em diálogo com a literatura especializada argumenta-se que sua obra ocupa posição relacional central no debate sobre mudança econômica, sobretudo na heterodoxia, mas sua incorporação ontológica, especialmente no que se refere à centralidade dos limites biofísicos, permanece parcial (CECHIN; VEIGA, 2010; HEINZEL, 2013).

Diante disso, o artigo se orienta pelas seguintes perguntas de pesquisa:

- (i) Como a obra *The Entropy Law and the Economic Process* tem sido mobilizada na literatura contemporânea sobre evolução do pensamento econômico?;
- (ii) Que tipos de herança teórica de Georgescu-Roegen emergem na literatura neo- e pós-schumpeteriana?; e
- (iii) De que modo essa literatura articula (ou tensiona) as contribuições de Georgescu-Roegen nos debates sobre inovação, crise ambiental e transições sociotécnicas?

O objetivo central é analisar os padrões de circulação e as formas de apropriação seletiva de sua obra nesse campo, explorando suas implicações para a teoria da inovação e da mudança estrutural no contexto geral do debate sobre sustentabilidade em Economia. Nesse contexto, o estudo também explora as implicações dessa circulação seletiva para a teoria da inovação, particularmente no que diz respeito à relação entre duas dimensões distintas de irreversibilidade no processo econômico – histórica e biofísica – cuja articulação permanece relativamente pouco tematizada na literatura evolucionária.

A partir dos padrões observados na literatura analisada, o artigo também propõe, de forma exploratória, um enquadramento heurístico que distingue diferentes regimes de incorporação da irreversibilidade no pensamento econômico, permitindo situar a recepção da obra de Nicholas Georgescu-Roegen no interior da literatura evolucionária contemporânea.

Para tanto, adota-se uma abordagem exploratória baseada em pesquisa bibliográfica parametrizada de literatura citante, realizada na *Web of Science Core Collection*. Ao privilegiar documentos que citam diretamente a obra *The Entropy Law and the Economic Process* de Georgescu-Roegen, o estudo busca captar usos efetivos de suas ideias em debates contemporâneos. A metodologia combina critérios bibliométricos de influência com análise qualitativa orientada por categorias analíticas, permitindo identificar padrões de circulação intelectual, modos de apropriação e tensões teóricas no interior da economia evolucionária e dos estudos de transição.

2. Materiais e Métodos

A metodologia envolve um estudo bibliométrico que parte de busca parametrizada em base de dados, complementada por análise qualitativa guiada por categorias analíticas afeitas à discussão teórico metodológica. O processo é apresentado nesta seção em três partes: delineamento e estratégia de busca (item 2.1), refinamento do *corpus* e critérios de elegibilidade (item 2.2) e extração e análise de dados (item 2.3).

2.1. Delineamento e estratégia de busca

O estudo adota abordagem exploratória baseada em análise de literatura citante. O *corpus* foi definido a partir da funcionalidade *Cited Reference Search* da *Web of Science Core Collection*, visando identificar documentos que citam diretamente a obra *The Entropy Law and the Economic Process* (1971), de Nicholas Georgescu-Roegen. Foram consideradas as bases *Social Sciences Citation Index (SSCI)*, *Conference Proceedings Citation Index – Social Sciences and Humanities (CPCI-SSH)* e *Book Citation Index – Social Sciences and Humanities (BCI-SSH)*.

A busca, realizada em 22 de janeiro de 2026, identificou 2.035 documentos citantes. Essa etapa corresponde à fase de identificação do fluxograma PRISMA 2020, adotado neste estudo como instrumento de transparência metodológica.

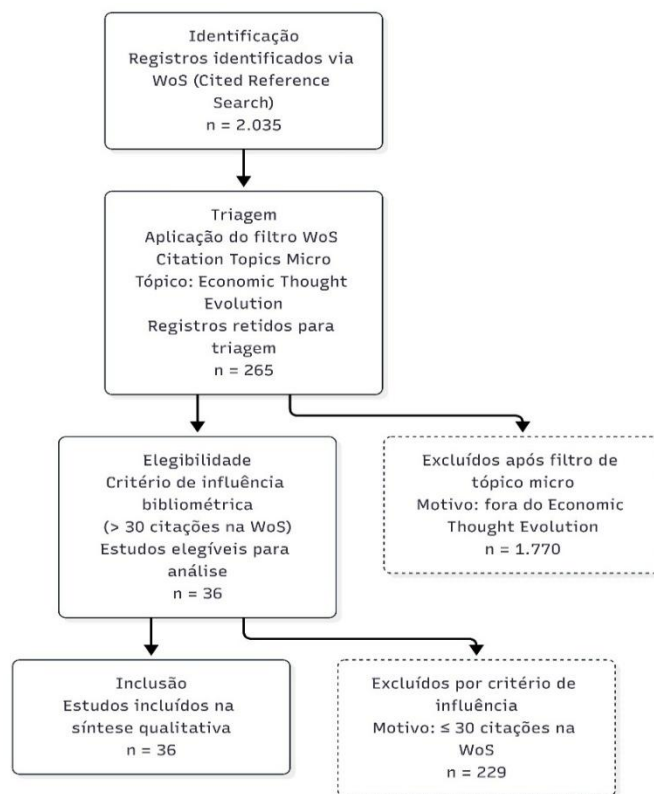
2.2. Refinamento do *corpus* e critérios de elegibilidade

Na etapa de triagem, aplicou-se o filtro *Citation Topics Micro*, selecionando o tópico “*Economic Thought Evolution*”. Os *Citation Topics Micro* correspondem a agrupamentos algorítmicos baseados

em relações de cocitação, permitindo delimitar nichos temáticos altamente especializados. O refinamento resultou em 265 documentos.

Para fins de elegibilidade, adotou-se critério de influência bibliométrica, selecionando-se documentos com mais de 30 citações na base WoS. Ainda que reconhecidamente arbitrário, esse critério permitiu identificar trabalhos com maior circulação e impacto no campo delimitado, resultando em corpus final de 36 estudos.

Figura 1. Etapas de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão: identificando o corpus de literatura citante de Georgescu-Roegen (1971) a partir da WoS Core Collection - Cited References Search



Fonte: elaboração própria a partir dos dados da pesquisa, com uso do software *Mermaid* (assinatura institucional da Universidade Estadual de Campinas).

O processo completo de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão é apresentado na Figura 1, conforme as diretrizes do PRISMA 2020.

2.3. Extração e análise dos dados

A evolução de tradições teóricas nos domínios institucionalista e evolucionário são objeto de análises como em HODGSON (1995). Aqui, análise combinou procedimentos bibliométricos e leitura qualitativa preliminar do *corpus*. A extração de dados foi orientada por categorias analíticas organizadas em sete dimensões:

- (iv) identificação e metadados;
- (v) inserção no debate econômico;
- (vi) tipo de herança mobilizada;
- (vii) problematização contemporânea;
- (viii) transições e mudança estrutural;
- (ix) implicações analíticas e normativas; e
- (x) valoração da contribuição de Georgescu-Roegen.

Essas categorias, detalhadas no Anexo, foram construídas de forma coerente com as perguntas de pesquisa e visaram identificar padrões de circulação intelectual, modos de apropriação seletiva e tensões conceituais no interior da literatura neo- e pós-schumpeteriana.

A tipologia de “heranças” proposta neste estudo (ontológica, epistemológica, metodológica e normativa) deve ser entendida como instrumento analítico exploratório, derivado da leitura relacional do corpus e sujeito a aprofundamento em etapas posteriores de pesquisa.

A etapa de organização preliminar das informações foi apoiada por ferramentas de leitura assistida por inteligência artificial, utilizadas exclusivamente para sistematização e recuperação de informações dos textos analisados, sem substituição da interpretação analítica realizada pelos autores.

3. Resultados: padrões de circulação e modos de apropriação

Os resultados revelam padrões de circulação e modos de apropriação da obra de Georgescu-Roegen no corpus da literatura citante. Os resultados são apresentados como: dinâmica temporal e arenas intelectuais (item 3.1), estrutura de cocitações e agrupamentos interpretativos (item 3.2) e tipos de herança mobilizadas (item 3.3).

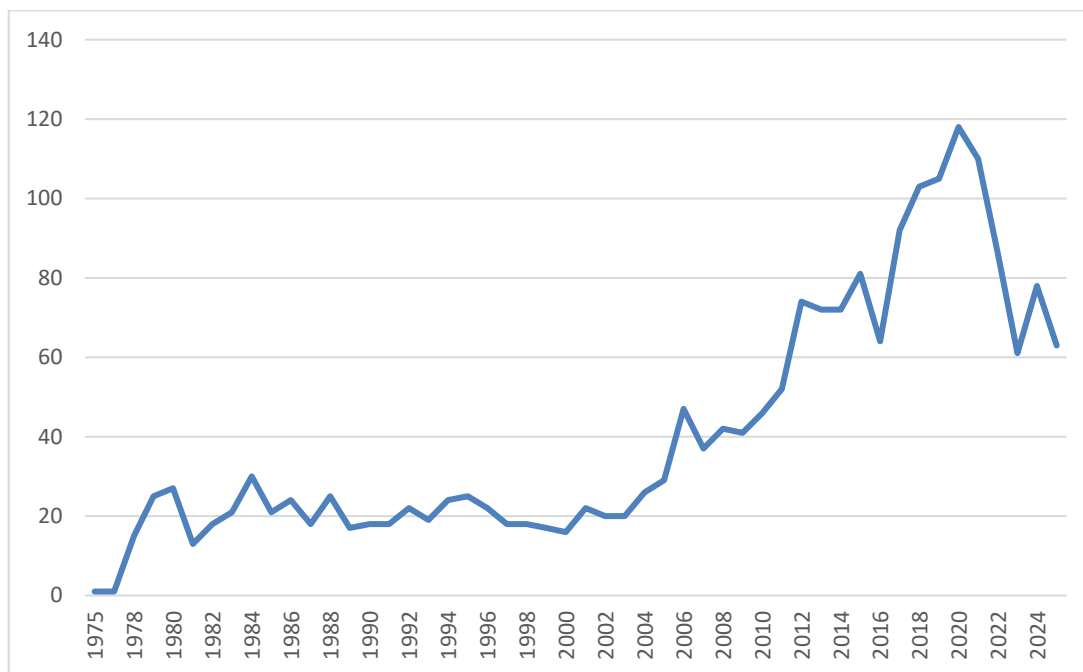
3.1. Dinâmica temporal e arenas intelectuais

A análise dos documentos citantes selecionados revela uma trajetória não linear de mobilização da obra *The Entropy Law and the Economic Process* (TELATEP) no interior do tópico micro “Economic Thought Evolution”. Embora o livro tenha sido publicado em 1971, a intensificação de citações no corpus analisado ocorre sobretudo a partir dos anos 2000, acompanhando a consolidação da economia evolucionária e a crescente centralidade dos debates sobre sustentabilidade e crise ecológica.

No universo total de documentos citantes indexados na Web of Science, o volume anual de citações permanece relativamente estável até 2003. A partir desse período, observa-se uma trajetória de expansão acelerada, culminando em um pico de 120 citações em 2020, seguido por uma redução para aproximadamente 60 citações em 2025. Essa inflexão recente deve ser interpretada com cautela, considerando possíveis defasagens de indexação e maturação de citações nos anos mais recentes.

Quando os resultados são filtrados para o WoS Citation Micro Topics “Economic Thought Evolution”, o padrão torna-se menos pronunciado e mais irregular. Observam-se picos episódicos — como 17 citações em 2012 e 16 citações em 2021 — intercalados por períodos de menor intensidade, sugerindo que a mobilização de Georgescu-Roegen nesse recorte específico ocorre de maneira descontínua.

Gráfico 1. Número total de documentos citantes na WoS - TELATEP (1975–2025)



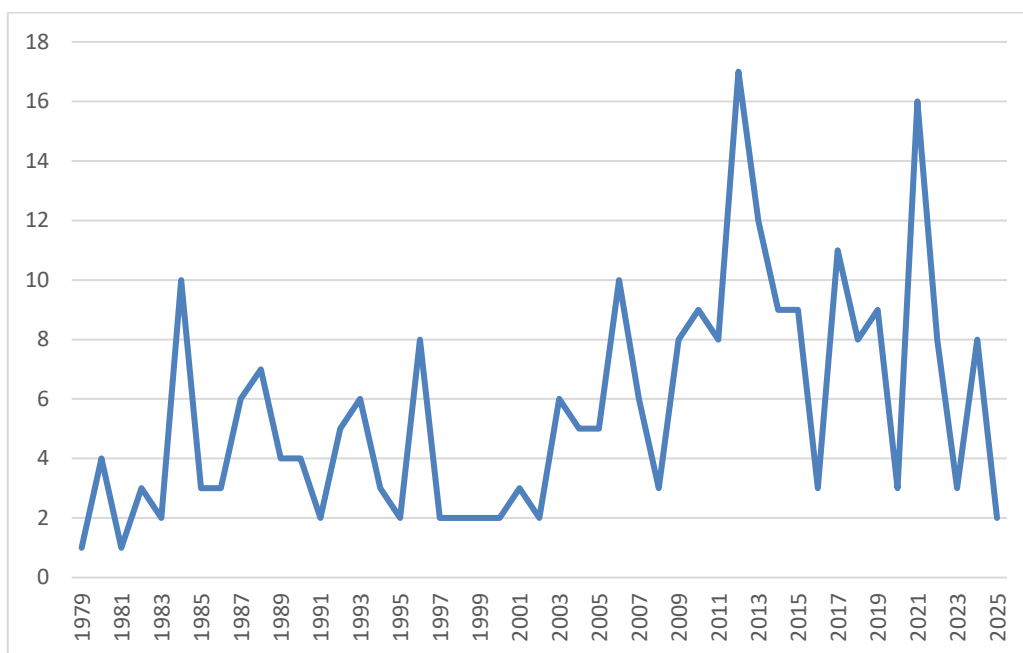
Fonte: elaboração própria a partir dos dados da pesquisa.

Essa distribuição temporal sugere que a recepção de Georgescu-Roegen na literatura sobre evolução do pensamento econômico, onde se situam os campos neo- e pós-schumpeterianos, não foi imediata nem cumulativa, mas marcada por reativações que podem estar associadas a momentos de inflexão no debate econômico, como a intensificação das discussões sobre crise ecológica, limites ao crescimento e transições produtivas (CRUTZEN; STOERMER, 2000; ROCKSTRÖM et al., 2009).

Hipoteticamente, poderiam ser observadas inflexões no debate econômico às vésperas ou por ocasião da publicação de influentes relatórios como o Relatório Stern (2006) e do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (o IPCC, por exemplo, em 2007, entre 2013 e 2014 e entre 2021 e 2023) e, mais recentemente, com o avanço na agenda sobre transições.

A partir da década de 2010, observa-se maior densidade de citações em periódicos vinculados à economia ecológica, à história do pensamento econômico, à economia evolucionária e à economia institucional. Tal configuração sugere uma possível reaproximação, no interior da literatura heterodoxa, entre fundamentos biofísicos e teorias da mudança estrutural.

Gráfico 2. Número de documentos citantes - WoS Citation Micro Topics: Economic Thought Evolution.

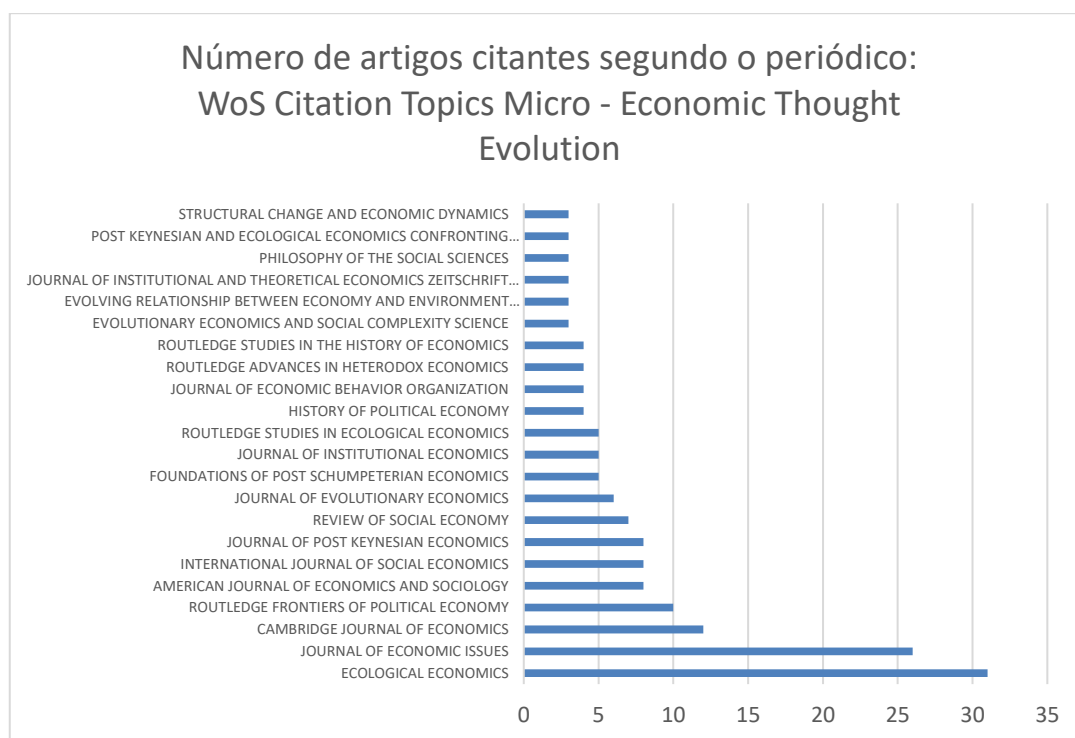


Fonte: elaboração própria a partir dos dados da pesquisa.

No que se refere às arenas de publicação, os periódicos mais recorrentes pertencem majoritariamente ao campo da economia ecológica e da história do pensamento econômico, com presença significativa também em periódicos dedicados à economia evolucionária e institucionalista. Esse padrão sugere que a circulação das ideias de Georgescu-Roegen ocorre em espaços intelectuais híbridos, nos quais o debate sobre fundamentos teóricos se articula com preocupações contemporâneas sobre transformação produtiva e limites ambientais.

Essa distribuição pode sugerir, numa aproximação com a literatura especializada, que a incorporação da perspectiva termodinâmica de Georgescu-Roegen no campo evolucionário ocorre predominantemente em arenas onde inovação e mudança estrutural são discutidas sob a lente de sustentabilidade, indicando uma tensão persistente entre narrativas de transformação tecnológica e a incorporação sistemática de restrições biofísicas (CECHIN; VEIGA, 2010; HEINZEL, 2013).

Gráfico 3. Número de artigos citantes segundo o periódico: WoS Citation Topics Micro - Economic Thought Evolution.

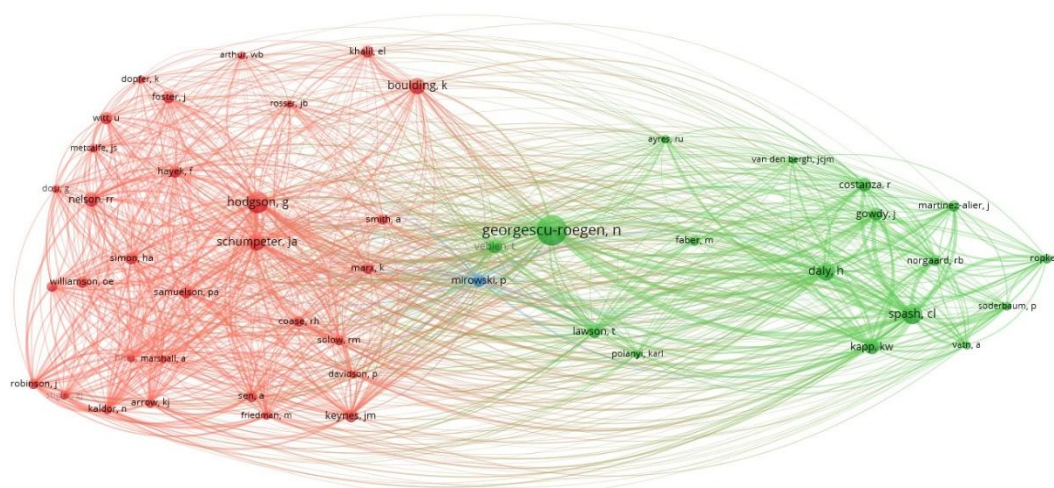


Fonte: elaboração própria a partir dos dados da pesquisa.

3.2. Estrutura de cocitações e agrupamentos interpretativos

O mapa de cocitações gerado a partir do VOSviewer permite identificar agrupamentos estruturais que organizam a recepção da obra de Georgescu-Roegen no corpus analisado. Diferentemente de uma simples listagem de autores citados, a análise de cocitação revela padrões relacionais: autores são aproximados quando seus trabalhos são frequentemente citados conjuntamente, indicando afinidades conceituais no interior do campo.

Figura 2. Mapa de cocitações: dois agrupamentos na literatura sob influência da obra “The Entropy Law and the Economic Process”



Fonte: elaboração própria a partir de dados da pesquisa, com uso do VOSviewer.

A visualização da rede revela dois agrupamentos principais. Georgescu-Roegen ocupa posição estruturalmente intermediária entre esses agrupamentos, sugerindo que sua obra funciona como ponto de articulação entre tradições interpretativas distintas.

O primeiro agrupamento, representado em verde, concentra autores associados à economia ecológica. Nesse cluster, destacam-se Herman Daly - posicionado de forma central - e Clive Spash, cujo nó apresenta maior frequência de cocitação. A coesão interna desse agrupamento indica uma leitura relativamente consolidada de Georgescu-Roegen como referência fundacional para abordagens que enfatizam limites biofísicos, crítica ao crescimento e fundamentos ontológicos do processo econômico, de forma alinhada com argumentos de análises já estabelecidas (KÖHLER et al., 2019; SMITH; STIRLING, 2010).

O segundo agrupamento, representado em vermelho, apresenta composição mais heterogênea. Nele, autores como Geoffrey Hodgson e Joseph A. Schumpeter ocupam posições centrais, ao lado de economistas evolucionários como Giovanni Dosi, Richard Nelson, Stanley Metcalfe e W. Brian Arthur, bem como figuras canônicas do mainstream como Alfred Marshall, Robert Solow, John Kenneth Arrow, Milton Friedman, e da tradição clássica, nos nomes de Adam Smith e Karl Marx.

Essa heterogeneidade sugere que, nesse segundo agrupamento, Georgescu-Roegen é mobilizado no interior de um debate mais amplo sobre mudança econômica, irreversibilidade, trajetória tecnológica e estrutura produtiva. Nesse contexto, a entropia tende a ser reinterpretada menos como limite físico estrito e mais como fundamento epistemológico para críticas a modelos baseados em equilíbrio e reversibilidade.

A coexistência desses dois agrupamentos indica que não há uma tradição interpretativa unificada da obra de Georgescu-Roegen no campo pós-schumpeteriano. Ao contrário, sua herança é seletivamente apropriada: de um lado, como fundamento ontológico da economia ecológica; de outro, como recurso epistemológico e metodológico no debate evolucionário sobre mudança estrutural.

3.3. Tipos de herança mobilizada

A partir da análise qualitativa preliminar do corpus e da leitura relacional proporcionada pelo mapa de cocitações, é possível propor, de maneira exploratória, ao menos quatro formas de mobilização da herança de Georgescu-Roegen:

- i. Herança ontológica, centrada na incorporação explícita da entropia e dos limites biofísicos como fundamentos do processo econômico;
- ii. Herança epistemológica, que enfatiza a crítica ao mecanicismo e à modelagem baseada em equilíbrio;
- iii. Herança metodológica, associada à valorização de processos históricos, irreversibilidade e dependência de trajetória;
- iv. Herança normativa, mobilizada em argumentos que defendem reorganizações estruturais rumo a economias de baixo carbono ou pós-crescimento.

Essa tipologia não pretende esgotar as possíveis leituras da obra de Georgescu-Roegen, mas organizar padrões interpretativos que emergem da combinação entre análise bibliométrica e leitura qualitativa inicial do corpus.

Os resultados indicam que, no interior do agrupamento associado à economia ecológica, a herança ontológica aparece de forma mais consistente, enquanto no agrupamento mais heterogêneo, relacionado ao “campo evolucionário ampliado”, predominam mobilizações de caráter epistemológico e metodológico. Tal assimetria sugere, reforçando percepções já apontadas pela literatura especializada, de que a incorporação dos limites biofísicos como fundamento estruturante do processo econômico é menos frequente do que a apropriação de sua crítica ao equilíbrio e à reversibilidade (KÖHLER et al., 2019; SMITH; STIRLING, 2010).

Em alguns trabalhos recentes inspirados na tradição evolucionária, observa-se inclusive a mobilização de elementos formais derivados da abordagem *fund-flow* de Georgescu-Roegen, particularmente em modelos que exploram interações entre processos produtivos e inovação. Entretanto, nesses casos, a formalização metodológica nem sempre vem acompanhada de uma incorporação explícita da dimensão entrópica do processo econômico, tal como formulada em *The Entropy Law and the Economic Process*. Essa distinção sugere a possibilidade de um padrão de assimilação seletiva, no qual certos instrumentos analíticos derivados da obra são incorporados, enquanto suas implicações ontológicas mais profundas permanecem menos exploradas.

Essa leitura deve ser entendida como hipótese interpretativa preliminar, a ser aprofundada na etapa subsequente de análise qualitativa sistemática do corpus. Ainda assim, ela aponta para uma tensão relevante: embora a economia evolucionária reconheça processos de irreversibilidade e transformação estrutural (HODGSON, 1995; WITT, 2008; FOSTER, 1997), a integração sistemática de restrições termodinâmicas permanece parcial ou seletiva.

4. Discussão: tensões entre inovação, irreversibilidade e limites biofísicos

Os resultados sugerem que a posição de Georgescu-Roegen na literatura pós-schumpeteriana é paradoxal. Embora ocupe posição estruturalmente central na rede de citações, funcionando como elo entre tradições interpretativas distintas, sua incorporação ontológica no interior da economia evolucionária permanece parcial. Essa assimetria sugere que sua contribuição é amplamente reconhecida, mas seletivamente apropriada.

No agrupamento associado à economia ecológica, sua obra aparece como fundamento ontológico, ancorando críticas ao crescimento e à expansão material contínua. Já no agrupamento que agrega o campo evolucionário a um panorama mais heterogêneo da literatura, a mobilização de Georgescu-Roegen tenderia a enfatizar dimensões epistemológicas e metodológicas, como irreversibilidade, historicidade e crítica ao equilíbrio, sem necessariamente incorporar de maneira sistemática a centralidade dos limites biofísicos.

Essa distinção é relevante para a teoria da inovação. A economia neo- e pós-schumpeteriana consolidou-se como abordagem privilegiada da mudança estrutural, enfatizando trajetórias tecnológicas, processos cumulativos e dependência de trajetória (*path dependence*). Contudo, a análise aqui apresentada se alinha a entendimentos, na literatura especializada, de que a incorporação da irreversibilidade biofísica, como apresentada originalmente por Nicholas Georgescu-Roegen, permanece ainda em nossos dias menos desenvolvida do que a irreversibilidade histórica e institucional (FOSTER, 1997; WITT, 2008).

Essa distinção pode ser observada também em contribuições recentes que retomam elementos formais da análise de Georgescu-Roegen no interior da modelagem evolucionária. Em alguns desses trabalhos, a distinção *fund-flow* aparece como inspiração metodológica para representar processos produtivos e dinâmicas de inovação. Contudo, a dimensão ontológica mais ampla associada à lei da entropia – ou seja, a compreensão do processo econômico como transformação irreversível de energia e matéria sujeita a limites biofísicos – permanece frequentemente implícita ou apenas marginalmente tematizada. Essa diferença sugere que a recepção de Georgescu-Roegen no campo evolucionário pode envolver uma forma de assimilação parcial, na qual ferramentas analíticas derivadas de sua obra são incorporadas sem necessariamente mobilizar todas as implicações bioeconômicas de seu programa teórico.

Até esse ponto de nossa análise, a observação da literatura mapeada aponta para que a tradição evolucionária reconhece que os sistemas econômicos mudam de forma não reversível, mas nem sempre integra plenamente que o processo econômico ocorre sob restrições termodinâmicas igualmente irreversíveis.

Uma maneira de interpretar os resultados apresentados consiste em distinguir duas formas de irreversibilidade no processo econômico: a irreversibilidade histórica, amplamente reconhecida pela tradição evolucionária na forma de dependência de trajetória e transformação estrutural cumulativa; e a irreversibilidade biofísica, associada à natureza entrópica do processo econômico tal como formulada por Georgescu-Roegen. Enquanto a primeira foi amplamente incorporada ao arcabouço analítico da economia evolucionária, a segunda permanece apenas parcialmente integrada, sugerindo uma assimetria na forma como diferentes dimensões da irreversibilidade são mobilizadas na teoria contemporânea da inovação.

Sugerimos aqui uma forma para sintetizar essa interpretação distinguindo diferentes regimes de incorporação da irreversibilidade no pensamento econômico. A partir dos padrões preliminarmente identificados na literatura analisada, é possível esboçar, de maneira exploratória, um esquema heurístico que cruza duas dimensões: o tipo de irreversibilidade mobilizada no processo econômico – histórica ou biofísica – e o grau de incorporação analítica dessas dimensões no interior das teorias econômicas. O Quadro 1 apresenta esse enquadramento interpretativo. Importa enfatizar que se trata

de uma proposta analítica preliminar, derivada da leitura relacional do *corpus*, cujo objetivo é iluminar padrões de mobilização da obra de Georgescu-Roegen na literatura evolucionária contemporânea.

Quadro 1 - Regimes de incorporação da irreversibilidade no pensamento econômico.

Grau de incorporação analítica	Irreversibilidade histórica	Irreversibilidade biofísica
Alto	Regime evolucionário Tradição neo- e pós-schumpeteriana, que incorpora a irreversibilidade por meio de conceitos como dependência de trajetória, trajetórias tecnológicas e mudança estrutural cumulativa.	Regime bioeconômico Abordagens que integram explicitamente limites biofísicos e a natureza entrópica do processo econômico, associadas à tradição da economia ecológica inspirada em Nicholas Georgescu-Roegen.
Baixo	Regime mecanicista Abordagens baseadas em modelos de equilíbrio e reversibilidade, nas quais processos econômicos são analisados sem incorporar explicitamente irreversibilidade histórica.	Regime biofísico marginal Mobilizações pontuais de limites ambientais ou sustentabilidade que não chegam a integrar sistematicamente restrições biofísicas ao arcabouço analítico.

Fonte: elaboração própria

Como procuramos ilustrar no Quadro 1, no regime mecanicista, predominante em abordagens baseadas em equilíbrio, a irreversibilidade aparece pouco incorporada ao arcabouço analítico. O regime evolucionário, por sua vez, caracteriza-se pela incorporação sistemática da irreversibilidade histórica, expressa em conceitos como dependência de trajetória e trajetórias tecnológicas. Já o regime bioeconômico integra explicitamente a irreversibilidade biofísica associada à natureza entrópica do processo econômico, conforme formulada por Georgescu-Roegen. Por fim, o regime biofísico marginal corresponde a mobilizações pontuais de limites ambientais que não chegam a se consolidar como fundamento analítico sistemático.

A distinção entre os regimes de incorporação da irreversibilidade aqui proposta também permite explicitar um problema teórico subjacente ao debate contemporâneo sobre inovação e sustentabilidade. A literatura evolucionária consolidou a análise da irreversibilidade histórica, associada a processos cumulativos de mudança estrutural e trajetórias tecnológicas, como um de seus pilares analíticos. Entretanto, a obra de Georgescu-Roegen introduz uma segunda dimensão de irreversibilidade, de natureza biofísica, decorrente da transformação entrópica de energia e matéria no processo econômico. A coexistência dessas duas dimensões sugere o que se poderia denominar, de forma provisória, um problema da dupla irreversibilidade no interior da teoria da inovação. Nesse contexto, o conceito de dupla irreversibilidade deve ser entendido como uma formulação analítica exploratória, destinada a explicitar uma tensão ainda pouco tematizada entre a irreversibilidade histórica amplamente incorporada pela economia evolucionária e a irreversibilidade biofísica associada aos limites termodinâmicos do processo econômico.

No panorama mais recente que se desdobra na literatura, nos chamados estudos sobre transições sociotécnicas, essa tensão tem adquirido uma centralidade adicional (GEELS, 2002; GEELS; SCHOT, 2007; MARKARD; RAVEN; TRUFFER, 2012). Narrativas de transição frequentemente enfatizam reconfigurações tecnológicas e institucionais como vias para a descarbonização e a sustentabilidade. Entretanto, a herança de Georgescu-Roegen sugere que tais transformações não podem ser compreendidas apenas como substituições tecnológicas, mas como reestruturações metabólicas mais profundas do sistema econômico.

A circulação seletiva de sua obra no interior do campo pós-schumpeteriano pode nos revelar, portanto, um ponto de inflexão teórico: a necessidade de articular inovação, mudança estrutural e limites biofísicos em uma estrutura analítica integrada. Nesse sentido, o mapeamento aqui realizado

não apenas descreve padrões de recepção da obra fundacional de Georgescu-Roegen, mas ilumina uma tensão constitutiva da economia evolucionária contemporânea diante do desafio da sustentabilidade.

Conclusão

O presente artigo examinou, em caráter exploratório, a circulação e a mobilização da obra *The Entropy Law and the Economic Process* no interior da literatura associada ao tópico “*Economic Thought Evolution*” da *Web of Science*, com foco particular em suas interfaces com a tradição neo- e pós-schumpeteriana. Ao combinar análise bibliométrica e leitura qualitativa preliminar do *corpus* selecionado, buscou-se identificar padrões de apropriação da herança intelectual de Nicholas Georgescu-Roegen no debate contemporâneo sobre mudança estrutural e sustentabilidade.

Os resultados indicam que sua obra ocupa posição estruturalmente central na rede de citações, funcionando como ponto de articulação entre tradições interpretativas distintas. Contudo, essa centralidade relacional não se traduz necessariamente em incorporação ontológica plena no interior da economia evolucionária contemporânea. A análise sugere a coexistência de dois regimes interpretativos relativamente distintos: um, associado à economia ecológica, no qual os limites biofísicos e a entropia são mobilizados como fundamentos estruturantes; outro, mais heterogêneo, no qual predominam leituras de caráter epistemológico e metodológico, voltadas à crítica ao equilíbrio e à ênfase na irreversibilidade histórica. Essa interpretação foi sintetizada no artigo por meio de um quadro heurístico que distingue diferentes regimes de incorporação da irreversibilidade no pensamento econômico, permitindo situar a literatura evolucionária contemporânea em relação às dimensões histórica e biofísica do processo econômico.

Essa assimetria ilumina uma tensão analiticamente relevante para a teoria da inovação. A tradição pós-schumpeteriana consolidou-se como abordagem privilegiada da mudança estrutural e das trajetórias tecnológicas, mas a integração sistemática das restrições termodinâmicas ao seu arcabouço analítico permanece, até o momento, parcial (ALCOUFFE; KUHN, 2004; HODGSON, 1995). No contexto dos estudos sobre transições sociotécnicas, essa tensão adquire centralidade adicional, uma vez que narrativas de transformação produtiva orientadas à sustentabilidade podem demandar não apenas reconfigurações tecnológicas, mas também reestruturações metabólicas mais profundas do sistema econômico.

O mapeamento aqui realizado, ainda em estágio preliminar, sugere que a herança de Georgescu-Roegen continua a operar como fonte de questionamento crítico no interior do campo evolucionário, sem, contudo, ter sido plenamente assimilada como fundamento ontológico da análise da inovação. Tal constatação aponta para uma agenda de pesquisa promissora: a necessidade de articular de maneira mais integrada inovação, mudança estrutural e limites biofísicos, aprofundando o diálogo entre economia evolucionária e a bioeconomia de Georgescu-Roegen. Diante disso, o artigo também sugere que a articulação entre irreversibilidade histórica e irreversibilidade biofísica, aqui formulada como um problema analítico de dupla irreversibilidade, constitui um ponto ainda pouco explorado no debate contemporâneo sobre inovação e sustentabilidade. Nesse sentido, os resultados aqui apresentados sugerem que a recepção da obra de Georgescu-Roegen no campo evolucionário pode envolver uma forma de incorporação seletiva de sua crítica entrópica, na qual certos instrumentos analíticos derivados de sua abordagem são mobilizados com maior frequência do que suas implicações ontológicas relativas aos limites biofísicos do processo econômico.

Um aspecto que emerge dessa análise exploratória diz respeito à possível distinção entre diferentes níveis de incorporação da obra de Georgescu-Roegen na literatura evolucionária. Enquanto certos elementos metodológicos, como a abordagem *fund-flow*, têm sido retomados em esforços recentes de modelagem e análise dinâmica, a integração explícita da dimensão entrópica do processo econômico parece permanecer relativamente menos desenvolvida no interior da literatura evolucionária analisada. Explorar de forma mais sistemática essa assimetria pode constituir uma agenda promissora para investigações futuras, especialmente no contexto de debates contemporâneos sobre inovação orientada à sustentabilidade e transições sociotécnicas.

Ao explicitar padrões de circulação e seletividade interpretativa, este estudo contribui para o debate teórico-metodológico na área de Economia Industrial e da Inovação ao evidenciar que as bases biofísicas do processo econômico permanecem um terreno de disputa conceitual no interior das teorias

contemporâneas da mudança econômica. Mais amplamente, os resultados sugerem que a obra de Nicholas Georgescu-Roegen continua a desempenhar um papel crítico no campo evolucionário, não apenas como referência histórica, mas como fonte de interrogações ainda em aberto sobre os fundamentos biofísicos da inovação e da transformação estrutural. Nesse sentido, aprofundar a análise das diferentes formas de incorporação (metodológica, epistemológica e ontológica) de sua contribuição pode constituir um caminho promissor para aproximar os estudos de inovação dos debates contemporâneos sobre sustentabilidade e limites planetários.

Referências bibliográficas

- ALCOUFFE, Alain; KUHN, Thomas. Schumpeterian endogenous growth theory and evolutionary economics. **Journal of Evolutionary Economics**, v. 14, n. 2, p. 223-236, 2004.
- BOBULESCU, Roxana. The making of a schumpeterian economist: Nicholas Georgescu-Roegen. **The European Journal of the History of Economic Thought**, v. 19, n. 4, p. 625-651, 2012.
- BOBULESCU, Roxana. The original time approach of Georgescu-Roegen. **Æconomia. History, Methodology, Philosophy**, n. 7-1, p. 87-109, 2017.
- CECHIN, Andrei Domingues; VEIGA, José Eli da. A economia ecológica e evolucionária de Georgescu-Roegen. **Brazilian Journal of Political Economy**, v. 30, n. 3, p. 438-454, 2010.
- CRUTZEN, Paul. J. and Stoermer, Eugene. F. "The Anthropocene." **Global Change Newsletter**, v. 41, p. 17-18, 2000.
- FOSTER, John. The analytical foundations of evolutionary economics: From biological analogy to economic self-organization. **Structural change and economic dynamics**, v. 8, n. 4, p. 427-451, 1997.
- GEELS, Frank W. Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. **Research policy**, v. 31, n. 8-9, p. 1257-1274, 2002.
- GEELS, Frank W.; SCHOT, Johan. Typology of sociotechnical transition pathways. **Research policy**, v. 36, n. 3, p. 399-417, 2007.
- GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. **The Entropy Law and the Economic Process**. Harvard University Press. Cambridge: 1971.
- GEORGESCU-ROEGEN, N. Energy and economic myths. **Southern Economic Journal**, v. 41, n. 3, p. 347, 1975.
- GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. Bioeconomics: a new look at the nature of economic activity. **The political economy of food and energy**, p. 105-134, 1977.
- GOWDY, John; MESNER, Susan. The evolution of Georgescu-Roegen's bioeconomics. **Review of Social Economy**, v. 56, n. 2, p. 136-156, 1998.
- HEINZEL, Christoph. Schumpeter and Georgescu-Roegen on the foundations of an evolutionary analysis. **Cambridge Journal of Economics**, v. 37, n. 2, p. 251-271, 2013.
- HODGSON, Geoffrey M. The evolution of evolutionary economics. **Scottish Journal of Political Economy**, v. 42, n. 4, p. 469-488, 1995.
- KÖHLER, Jonathan et al. An agenda for sustainability transitions research: State of the art and future directions. **Environmental innovation and societal transitions**, v. 31, p. 1-32, 2019.
- LLERENA, Patrick; LOBET, Corentin; LORENTZ, André. Two halves don't make a whole: instability and idleness emerging from the co-evolution of the production and innovation processes, **Review of Evolutionary Political Economy**, v. 6, p. 1-39, 2025.
- LEVALLOIS, Clément. Can de-growth be considered a policy option? A historical note on Nicholas Georgescu-Roegen and the Club of Rome. **Ecological economics**, v. 69, n. 11, p. 2271-2278, 2010.
- MANESCHI, Andrea. The filiation of economic ideas: Marx, Schumpeter, Georgescu-Roegen. **History of Economic Ideas**. 2006.
- MANESCHI, Andrea. The filiation of economic ideas: Marx, Schumpeter, Georgescu-Roegen. **History of economic ideas**, v. 14, n. 2, p. 1000-1021, 2006.
- MARKARD, Jochen; RAVEN, Rob; TRUFFER, Bernhard. Sustainability transitions: An emerging field of research and its prospects. **Research policy**, v. 41, n. 6, p. 955-967, 2012.
- ROCKSTRÖM, Johan et al. A safe operating space for humanity. **Nature**, v. 461, n. 7263, p. 472-475, 2009.
- SMITH, Adrian; STIRLING, Andy. The politics of social-ecological resilience and sustainable socio-technical transitions. **Ecology and society**, v. 15, n. 1, 2010.
- WITT, Ulrich. What is specific about evolutionary economics? **Journal of evolutionary economics**, v. 18, n. 5, p. 547-575, 2008.