

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE FLORESTAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRÁTICAS EM**  
**DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

**DISSERTAÇÃO**

**Transição para a Economia Circular: possibilidades de aplicação no setor de  
metais**

**Luísa Santos Pinto Santiago**

**2015**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE FLORESTAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRÁTICAS EM**  
**DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

**TRANSIÇÃO PARA A ECONOMIA CIRCULAR: POSSIBILIDADES DE APLICAÇÃO NO**  
**SETOR DE METAIS**

**LUÍSA SANTOS PINTO SANTIAGO**

*Sob a Orientação da Professora*

**Valéria Gonçalves da Vinha**

Dissertação submetida como  
requisito parcial para obtenção do  
grau de **Mestre Profissional**, no  
Curso de Pós Graduação em Práticas em  
Desenvolvimento Sustentável

Rio de Janeiro, RJ

Março de 2015

622.1  
S235t  
T

Santiago, Luísa Santos Pinto.

Transição para a economia circular: possibilidades de aplicação no setor dos metais / Luísa Santos Pinto Santiago, 2015.

110 f.

Orientador: Valéria Gonçalves da Vinha.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Florestas.

Bibliografia: f. 111-122.

1. Economia linear - Teses. 2. Economia circular - Teses. 3. Desenvolvimento - Teses. 4. Metais - Teses. 5. Mineração urbana - Teses. I. Vinha, Valéria Gonçalves. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Instituto de Florestas. III. Título.

## RESUMO

SANTIAGO, Luísa Santos Pinto. Transição para a Economia Circular: possibilidades de aplicação no setor de metais, 2015. 110p. Dissertação (Mestrado em Práticas em Desenvolvimento Sustentável). Instituto de Florestas, Programa de Pós Graduação em Práticas em Desenvolvimento Sustentável, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

A trajetória de desenvolvimento da economia industrial se baseia em um modelo que depende intensamente da extração de recursos naturais finitos e que é incutido de grandes perdas de materiais para o ambiente. Trata-se de um modelo linear que se estabeleceu durante todo o século XX e acompanhou a trajetória de desenvolvimento baseado em crescimento econômico ilimitado e em uma lógica de produção e consumo intensiva em uso de materiais. Por décadas, as críticas a esse modelo argumentaram que ele não respeita os limites ecológicos do planeta, e que caminhos alternativos são necessários para se repensar a economia. A economia circular emerge como um discurso alternativo na primeira década do século XX e vem sendo consolidada e explorada em diversas partes do mundo. Embora o termo tenha sido utilizado anos antes na China como direcionador de políticas de desenvolvimento urbano e industrial, o conceito evoluiu e a leitura atual incorpora uma diversidade de escolas de pensamento em torno da concepção de um novo modelo econômico, que é regenerativo e restaurativo ao planeta. No cerne do conceito está a noção de dissociar o progresso econômico do uso de recursos naturais finitos e na prática diversos novos mecanismos são necessários para concretizar modelos que apontem para esse fim, reduzindo a necessidade de extração de reservas virgens da natureza para alimentar novos ciclos de produção e consumo e de perdas materiais. A transição para uma economia circular requer mudanças na forma de gerir os materiais e estoques que adentram a economia e os metais são uma importante parcela desses materiais, críticos para o desenvolvimento que se apresentou historicamente e que se prevê ocorrer no mundo nas próximas décadas. A noção de recuperação e extensão da vida útil dos metais em ciclos contínuos de uso, em detrimento de um modelo linear intensamente extrativista e de alto impacto socioambiental, se mostra uma importante área para se desenvolver uma economia circular, que demandará mudanças complexas nas cadeias de valor e nos princípios que regem a geração de valor na economia.

**Palavras chave:** Economia linear. Economia circular. Desenvolvimento. Metais. Mineração Urbana.

## ABSTRACT

SANTIAGO, Luísa Santos Pinto. Transition to a Circular Economy: an Explanation about Opportunities and Barriers to the Brazilian Mining Sector, 2015. 110p. Dissertation (Master in Sustainable Development Practices). Instituto de Florestas, Programa de Pós Graduação em Práticas em Desenvolvimento Sustentável, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

The industrial economy development path is based on a model that depends heavily on the extraction of finite natural resources and in which losses of materials are embedded. This is a linear model that has been established throughout the twentieth century, being the basis of a development strategy based on unlimited economic growth and a logic of production and consumption intensive in materials use. For decades, criticism of this model argues that it does not respect the ecological limits of the planet, and that alternative models are needed to rethink the economy. The circular economy has emerged as an alternative discourse in the first decade of the twentieth century and has been consolidated and explored in different parts of the world. Although the term has been used years ago in China as a drive for urban and industrial development policies, the concept evolved and the current state incorporates a variety of schools of thoughts around the design of a new economic model, which is regenerative and restorative by nature. The core of the concept is the notion of decoupling economic progress from the use of finite natural resources and in practice new mechanisms are needed to achieve models that point to this goal, reducing the need for extraction of virgin nature reserves to feed new production and consumption cycles and material losses. The transition towards a circular economy requires changes in materials flows and stocks management in the economy and metals are a significant portion of these materials, critical for the development historically and that is expected to occur in the world in the coming decades. The notion of recovery and extension of the life-cycle of metals in continuous loops, rather than a linear model strongly extractive and intense in social and environmental impacts, reveals an important area to develop a circular economy, which will require complex changes in value chains and in the principles governing the value creation in the economy.

**Key words:** Linear economy. Circular Economy. Development. Metals. Urban Mining.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Limites Planetários - um espaço de operação segura para a humanidade .....	10
Figura 2 - A economia circular - Um sistema industrial restaurativo por princípio.....	35
Figura 3 - Materiais são o maior denominador comum em indústrias e geografias.....	46
<b>Figura 4- O diagrama genérico circular para o ciclo tecnológico de um metal.....</b>	<b>64</b>
Figura 5- O ciclo de vida mineral .....	65
Figura 6 - Oferta de recursos chave é limitada, enquanto taxas de reciclagem são baixas .....	66

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Log-plot de recursos e crescimento econômico (2010, 166 países) .....	12
Gráfico 2 - Aumentos acentuados em “commodities” a partir de 2000 anulou todos os declínios de preços reais do século XX .....	14
Gráfico 3 - Produção de ferro e outros elementos (109 kg, 2008) .....	56
Gráfico 4 - Tendência global de produção de minério de ferro (1905-2011).....	57
Gráfico 5 - Tendência global de produção de cobre (1905-2011).....	57
Gráfico 6 - Tendência global de produção de alumínio (1905-2011) .....	58
Gráfico 7 - Participação da China no consumo mundial de metais de 1990 a 2011 .....	59
Gráfico 8 - PIB global e produção mineral - 1992 a 2012 .....	60

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	4
<b>ABSTRACT</b> .....	5
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	6
<b>LISTA DE GRÁFICOS</b> .....	7
<b>SUMÁRIO</b> .....	8
<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	1
<b>CAPÍTULO I – LIMITES DE UMA ECONOMIA LINEAR</b> .....	4
<b>1.1. Resumo</b> .....	4
<b>1.2. Abstract</b> .....	4
<b>1.3. Introdução</b> .....	4
<b>1.4. Métodos e Procedimento da Pesquisa</b> .....	6
<b>1.5. A noção de limites à economia</b> .....	7
<b>1.6. O modelo linear e seus desdobramentos nos negócios</b> .....	10
<b>1.7. Discursos alternativos ao modelo linear de crescimento econômico ilimitado</b> .	16
<b>1.8. Conclusões</b> .....	19
<b>CAPÍTULO II – A ECONOMIA CIRCULAR: UM NOVO PARADIGMA DE PRODUÇÃO E CONSUMO</b> .....	21
<b>2.1. Resumo e Abstract</b> .....	21
<b>2.2. Abstract</b> .....	21
<b>2.3. Introdução</b> .....	21
<b>2.4. Métodos e Procedimento da Pesquisa</b> .....	23
<b>2.5. Origens e contexto atual do conceito de economia circular</b> .....	24
<b>2.6. Conceito e princípios da economia circular</b> .....	29
<b>2.7. Fatores para a transição para a economia circular</b> .....	37



2.8.	Barreiras para a transição para a economia circular .....	47
2.9.	Conclusões .....	50
<b>CAPÍTULO III – A indústria dos metais na economia circular .....</b>		<b>52</b>
3.1.	Resumo .....	52
3.2.	Abstract .....	52
3.3.	Introdução .....	52
3.4.	Métodos e Procedimento da Pesquisa .....	53
3.5.	Panorama dos metais na economia .....	55
3.6.	O desafio de demanda e oferta dos metais na Economia Linear .....	60
3.7.	Transição dos metais para a economia circular e o conceito de "mineração urbana" .....	63
3.8.	Conclusões .....	67
<b>CONCLUSÃO GERAL .....</b>		<b>69</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>		<b>71</b>

## INTRODUÇÃO GERAL

O presente trabalho, como dissertação de um curso de mestrado profissional, tem como objetivo central explorar o tema da economia circular como narrativa recentemente inserida no debate da busca por formas mais adequadas de se estabelecer as relações econômicas em um planeta finito e permeado de relações e interconexões complexas e não lineares. A visão de que o modelo adotado desde a emergência da economia industrial é insustentável vem sendo amplamente defendida e comprovada por intensos debates na arena internacional notadamente a partir das últimas décadas do século XX, com todo o debate acerca dos limites ecológicos à economia e por um desenvolvimento sustentável. A economia circular surge como uma nova narrativa que em pouco tempo ganhou projeção até mesmo nas esferas tradicionalmente mais controversas aos debates iniciais em torno de um desenvolvimento sustentável, como a indústria e os governos.

O modelo questionado, como será visto no primeiro capítulo deste trabalho, é o que atualmente se caracteriza como uma economia linear que segue uma trajetória de crescimento econômico ilimitada. Por ser linear, se baseia intensamente na exploração de recursos naturais finitos que são transformados nas indústrias em processos incutidos de intensas perdas materiais e que fomentam um grande mercado de consumo de bens e serviços que seguem padrões determinados por uma economia de consumismo e que, por fim, resultam em grandes volumes de resíduos. Os impactos ambientais desse modelo, como poluição do ambiente, perdas de biodiversidade e diversos danos aos ecossistemas do planeta, são latentes e amplamente estudados em diversas escolas do conhecimento. Ao passo que os países cresceram economicamente e as populações migraram para as cidades, cresceu também a exploração e consumo de novos materiais retirados da natureza, em trajetórias de clara correlação. Esse modelo linear, como abordado por alguns teóricos, tem origens em visões mecanicistas do mundo, que centram os recursos do planeta em benefício do bem estar do ser humano, e que interpretam o mundo como uma máquina de relações pouco complexas, a despeito da complexidade dos ecossistemas que sustentam a vida.

A intensa movimentação de recursos naturais em ciclos de produção e consumo, formando a base material da economia, se desenvolveu ao longo da história e, acentuadamente, ao longo do século XX, baseada em abundância de reservas a serem exploradas a baixos custos e uma demanda crescente de um mundo que caminhou rumo à noção de crescimento econômico como premissa básica e à urbanização como forma majoritária de organização social. Esse modelo, entretanto, além de questionado globalmente em torno da ideia dos limites ecológicos com os debates que começaram a emergir nas últimas décadas do século XX, em inícios do século XXI passa por mudanças no cenário que favorecia sua existência, passado um momento de acentuado consumo global de recursos, sobretudo movido pelo aumento acelerado de demanda de países em pleno crescimento, como China, Índia, Brasil e outros. Como será visto ainda no primeiro capítulo deste trabalho, alguns fatores passam a agravar o debate acerca da necessidade de se repensar o modelo da economia que mostraram uma insustentabilidade econômica do próprio modelo. Temas como a escassez de reservas de recursos naturais, o consequente aumento nos custos de exploração, a volatilidade de preços de recursos e outros fatores vem se mostrando restritivos ao crescimento econômico que direciona o próprio modelo, gerando a necessidade de gerenciar os materiais que adentram a economia de forma mais efetiva. Nesse sentido, o conceito de economia circular emerge como uma alternativa.

O termo economia circular não é inteiramente novo e nem inédito. Suas origens remontam aos estudos de teóricos que, já em fins da década de 1960, aplicando conceitos das leis da termodinâmica, entendiam que a noção de circularidade da economia, em termos do fluxo de recursos naturais e energia, seria mais adequada ao planeta do que a visão linear que vinha sendo praticada. De fato, ao longo das décadas, algumas escolas de pensamento compuseram

uma grande gama de conceitos que mais recentemente convergiram à noção de economia circular que este trabalho explora. Algumas dessas escolas são a ecologia e a simbiose industrial, a economia da performance, a biomimética, o capitalismo natural, o “cradle-to-cradle” (do berço ao berço, em tradução livre para o português), o design regenerativo dentre outras tantas escolas que, de maneira isolada, aplicaram noções de regeneração e circularidade de materiais e energia nos fluxos da economia. O segundo capítulo deste trabalho se dedica a conceituar a economia circular, abordando um histórico da construção do conceito e o estado atual, considerando que é um conceito em plena construção.

No início do século XXI, o termo economia circular tem suas primeiras aplicações oficiais através de políticas de desenvolvimento sustentável na China. Naquele momento, a noção de economia circular muito se assemelhava à visão da ecologia e simbiose industrial e determinou no país uma base para desenvolver parques ecológicos industriais aplicando fortemente a noção de que os resíduos de uma indústria são alimento para outra, reduzindo, com isso, os graves impactos ambientais que o país então experimentava em decorrência da trajetória de acelerado crescimento econômico que recém se estabelecia. É ampla a literatura a respeito desse movimento na China, tendo sido tema de numerosos de artigos acadêmicos por teóricos chineses e também internacionais.

A inícios da segunda década do século XXI, por esforços de instituições independentes e de diferentes setores, uma nova noção de economia circular começou a se desenvolver na Europa e vem ganhando projeção no debate internacional. Esse novo modelo tem como princípio básico a noção de que a economia deve ser regenerativa e restaurativa ao planeta em termos dos fluxos de materiais e energia, que são considerados os nutrientes técnicos e biológicos que compõem a economia. Converte diversos princípios defendidos nas escolas de pensamento mencionadas e propõe uma economia movida por um pensamento sistêmico, e não mecanicista, ao pensar o uso de materiais em sua mais alta capacidade ao longo de ciclos de produção e consumo. Tem como objetivo, portanto, dissociar a economia e o progresso econômico do intenso uso de recursos naturais finitos e todas as perdas e impactos que isso significa. A literatura gerada sobre a economia circular até o presente momento é ainda restrita ao conhecimento gerado por essas instituições e é escasso o número de fontes acadêmicas, embora já existam iniciativas de universidades e acadêmicos em todo o mundo para incorporar novos conceitos à literatura. Uma das propostas do presente trabalho é ampliar a literatura acadêmica existente sobre o tema para abrir campo para maior investigação.

Cabe ressaltar que o tema da economia circular, embora figure comumente dentro do debate da sustentabilidade por se tratar de uma proposta de promover desenvolvimento e progresso econômico em consonância com os limites ecológicos do planeta, tem-se mostrado mais central a uma visão de reestruturação econômica e novas formas de se pensar o paradigma de produção e consumo do que de medidas periféricas tradicionalmente direcionadas à redução dos impactos negativos do modelo econômico industrial. Isso porque, da forma como vem sendo construído o conceito e a narrativa, o que vem ocorrendo desde esforços conjuntos de instituições ligadas ao setor dos negócios, governos e academia, a partir de experiências práticas e da convergência de conceitos, diversos benefícios econômicos vêm sendo quantificados e experimentados em direção a um modelo de economia circular. Em pouco tempo, a noção da economia circular ganhou projeção no debate internacional, sendo atualmente considerada por diferentes iniciativas globais (como a Organização das Nações Unidas, o Fórum Econômico Mundial, a União Europeia e outros organismos internacionais) um modelo relevante para a promoção de uma economia de baixo carbono e diversificada, capaz de reduzir as pressões relativas ao intenso uso de recursos naturais na economia.

Na exploração do tema da economia circular, este trabalho também se propõe a fazer uma análise sobre um importante elemento que forma a base material da economia, os metais, que são materiais oriundos de exploração de recursos naturais finitos, os minérios, e que tem grande

importância na economia global. O terceiro capítulo deste trabalho analisa a trajetória do uso de metais em relação ao desenvolvimento da economia, deflagrando a intrínseca relação linear entre extração e consumo de certos tipos de metais e o crescimento econômico, em um cenário desafiador de crescente demanda por recursos finitos. O capítulo explora os caminhos que vem sendo estudados para vislumbrar os metais na economia circular, trazendo a visão de literatura acadêmica e de instituições de pesquisa internacionais sobre o tema.

Espera-se com este trabalho ampliar o debate acerca das alternativas para o modelo de desenvolvimento da economia, na esteira dos debates que se travaram em torno do desenvolvimento sustentável, tema mais amplo do curso de mestrado para o qual se apresenta este trabalho. A escolha do tema da economia circular se dá por conta da recente projeção que o tema vem ganhando no debate global, sobretudo na Europa, mas que já se expande para outras partes do mundo, colocando a hipótese de ser uma alternativa que permite dissociar o crescimento econômico do uso de recursos naturais, promovendo uma economia que é restaurativa e regenerativa ao planeta. Por ser um tema recente, há espaço para aprofundamento teórico e investigação para que possa ser ampliado e posto em prática como modelo alternativo. A fim de tangibilizar o tema da economia circular, o trabalho faz uma exploração do tema da transição da produção e consumo de metais para um modelo circular, analisando a literatura existente. Este trabalho não se propõe a quantificar benefícios econômicos específicos e nem testar hipóteses levantadas acerca de oportunidades para a transição dos metais para a economia circular.

## **CAPÍTULO I – LIMITES DE UMA ECONOMIA LINEAR**

### **1.1. Resumo**

Este capítulo faz uma análise histórica da narrativa acerca dos limites ecológicos à economia que emerge na a partir da era industrial, trazendo à luz a evolução do debate internacional que deflagra a insustentabilidade da ideia de crescimento econômico ilimitado baseado em um modelo de economia linear. Inicia com uma análise dos marcos históricos conceituais sobre o tema dos limites planetários, aprofunda-se, então, em características do modelo linear da economia, mostrando a estreita correlação entre crescimento econômico e uso de recursos naturais, bem como consequências históricas desse paradigma para o planeta e para o setor produtivo. Por fim, aborda discursos que vem emergindo ao longo das décadas como alternativas a esse modelo, introduzindo aí, dentre outros, o tema da economia circular, que será o assunto aprofundado neste trabalho.

### **1.2. Abstract**

This chapter brings a historical analysis of the narrative about the ecological limits to the economy that emerged from the industrial age, highlighting the evolution of the international debate that triggers the unsustainability of unlimited economic growth idea based on a linear economy model. Starting with an analysis of the conceptual landmarks on the subject of planetary boundaries, it then deepens in characteristics of the linear economy model, approaching the close correlation between economic growth and the use of natural resources and historical consequences of this paradigm for the planet and for the productive sector. Finally, it approaches discourses that have emerged over the decades as alternatives to this model, introducing then, among others, the circular economy, which will be a central subject in this study.

### **1.3. Introdução**

A trajetória econômica traçada no mundo, notadamente, após a Revolução Industrial até os dias atuais segue uma característica básica e fundamental de ser intensiva em materiais e baseada em um modelo de produção e consumo linear, que se caracteriza pela extração de recursos naturais virgens, transformação desses recursos em bens de consumo através da atividade industrial, consumo desses bens pela sociedade e descarte ao fim de vida útil dos produtos. Esse modelo de extração, transformação e descarte de recursos que caracteriza a economia linear funciona como ferramenta para um crescimento econômico ilimitado que norteou a economia global ao longo da história e, mais notadamente, na segunda metade do século XX. Diversas críticas e questionamentos a esse modelo vêm sendo construídos na sociedade, sobretudo em relação aos limites ao seu funcionamento, bem como respostas alternativas com vistas a um modelo mais sustentável.

O século XX viu florescer a sociedade de consumo que se desenvolve a partir da economia industrial, aquela em que os valores e rendimentos foram dados à maximização da produção e dos lucros. A noção de progresso que norteou a economia passou a ser a do crescimento econômico ilimitado. A indústria, ou produtores, por um lado, tem papel de extrair recursos da natureza e transformá-los com seus processos produtivos – tipicamente lineares e incutidos de perdas materiais significativas – colocando no mercado os produtos a serem negociados e consumidos. O consumidor, com seu papel de absorver a produção da indústria, se coloca como o objetivo da produção em massa, o ponto final em que quanto mais se consumir, maior é o progresso da economia.

A meados do século XX, a noção de desenvolvimento é cunhada como uma maneira de expandir as benéficas do crescimento econômico industrial das nações centrais mais avançadas às demais nações do planeta, intensificando ainda mais a atividade industrial. Historicamente, o progresso da economia, medido por métricas estritamente econômicas e refletidas pelo Produto Interno Bruto (PIB), passou por diversos momentos da trajetória, afetada ora por eventos globais, como as guerras, ora por choques de preços de recursos, ora por intensificação dos processos de desenvolvimento das nações. O que se observa sempre como tendência, e que é o cerne da discussão desta pesquisa, é uma estreita correlação entre o progresso econômico e o uso dos recursos naturais do planeta e, conseqüentemente ao modelo linear praticado, os danos e impactos nos ecossistemas e na capacidade de resiliência do planeta, como visto em diversos estudos que serão abordados neste capítulo.

Intensos debates vêm sendo travados na esfera global sobre a necessidade de se pensar novos rumos à economia como forma de reconciliar o avanço da promoção de bem estar às pessoas de maneira igualitária e os limites ecológicos do planeta. O entendimento da interconexão entre os sistemas econômicos – os fluxos de materiais e energia na economia – e a resiliência dos ecossistemas é a base fundamental para esse pensamento e vem movendo intensas discussões e conceituações alternativas para a economia – uma que exista dentro das capacidades do planeta. Este capítulo analisa a narrativa histórica que constrói a noção de limites ecológicos à economia, um aprofundamento no conceito de economia linear, e a emergência de discursos alternativos. O capítulo, portanto, contextualiza historicamente o momento de fala desta pesquisa, de onde emerge o conceito de economia circular, que é tema central do trabalho. Conceitos chave abordados no capítulo são a noção de limites planetários à economia, o modelo linear de produção e consumo, a visão mecanicista de mundo como máquina que guia a economia e outras áreas do saber, desdobramentos dos discursos no setor produtivo e os discursos alternativos que pregam novos rumos à economia e à noção de progresso.

O capítulo inicia com uma seção que analisa a narrativa histórica acerca dos limites ecológicos à economia, com o objetivo de construir a origem dos questionamentos ao paradigma econômico praticado na era industrial. Nesta seção se introduzem os princípios que norteiam o modelo (como a ideia de crescimento econômico ilimitado e as noções de progresso e desenvolvimento) como direcionadores que levaram a economia a conseqüências desastrosas, como danos ambientais, vulnerabilidades econômicas e perda de resiliência.

Na segunda seção, o capítulo aborda especificamente a noção de linearidade da economia, se aprofundando nas características desse modelo, notadamente, acerca do aspecto fundamental que é o da intensidade do uso de materiais no atual paradigma de produção e consumo. Esta seção mostra a visão de mundo por trás do pensamento linear que guia os negócios na economia (e também outras manifestações humanas, como a ciência), trazendo à luz os fatos históricos que vem mostrando a inviabilidade do modelo – notadamente, impondo pressões na forma de fazer negócios e enxergar os valores na economia. Deflagra, portanto, a urgência de se repensar a economia ante os limites ecológicos e econômicos.

Vistas as noções de limites à economia e aprofundada a ideia de inviabilidade do modelo da economia linear, o capítulo se encerra com uma seção que traz um apanhado dos discursos alternativos ao atual paradigma econômico, que vem emergindo ao longo do tempo. O objetivo desta seção é contextualizar o tema central da pesquisa, a economia circular, no debate de escolhas alternativas ao paradigma econômico atual, convergindo muitas vezes, mas nem sempre, com outros discursos emergentes, como será analisado. O ponto central de convergência é a necessidade de pensar novos rumos à economia com respeito aos limites ecológicos e à geração de bem estar humano.

## 1.4. Métodos e Procedimento da Pesquisa

Este capítulo tem como base metodológica a revisão bibliográfica de diferentes temáticas que compõem a narrativa do capítulo. A primeira seção traz um apanhado histórico dos debates acerca da noção de limites ecológicos à economia e alguns desdobramentos considerados relevantes na literatura. Nesse sentido, além de referenciar as origens mais remotas dessa noção (como em Malthus, Marx e Ricardo), a seção aborda os marcos no debate global desde a segunda metade do século XX, como a publicação do Relatório “Limites do Crescimento”, as conferências globais para tratar de temas sobre as relações homem e natureza, a evolução do debate para a noção de resiliência e interconectividade das relações humanas e os ecossistemas. Uma importante fonte para a construção inicial dessa conceituação é o trabalho de Scotto et al. acerca do desenvolvimento sustentável, que também faz uma análise histórica da construção da narrativa acerca dos limites ecológicos à economia. A ideia de limites é também trabalhada nesta seção com base em marcos importantes da geração de conhecimento e ações nesse sentido, como é o caso dos trabalhos de Avaliação Ecosistêmica do Milênio e do Centro de Resiliência de Estocolmo, ambos analisando os danos causados pela atividade humana nos “serviços ecossistêmicos” ou limites planetários.

Para tratar do tema da linearidade da economia, a segunda seção inicia com uma conceituação do termo (linear) aplicado à economia, buscando tanto as primeiras referências nas origens da economia ecológica (com Boulding e Georgescu-Roegen), que começa a delinear a noção de linearidade da economia *versus* circularidade do planeta, quanto as definições mais recentes aplicadas pela literatura não acadêmica de instituições ligadas ao setor dos negócios que passaram a definir o termo economia linear em oposição à economia circular. O objetivo desta seção é costurar a narrativa do modelo linear com os dados históricos que mostram a inviabilidade do modelo (pressões regulatórias, preços de recursos naturais, escassez de reservas) e também com um breve apanhado histórico do impacto disso no mundo dos negócios, como setor chave no debate da crise ambiental instalada. Nesse sentido, os estudos da Fundação Ellen MacArthur<sup>1</sup>, principal organização reconhecida atualmente por impulsionar e conceituar a economia circular, e de teóricos atuais ligados à instituição (como Ken Webster) ou não (como Felix Preston), mas que vem se dedicando a este novo campo do saber, são importantes referências na construção narrativa desta seção. Para o breve apanhado do impacto do cenário atual nos negócios, foram analisadas literaturas referentes a estratégias de negócios (como Porter & Kramer).

A terceira seção traz uma narrativa histórica dos discursos alternativos ao atual paradigma econômico linear e crescentista, tanto mirando novos mecanismos de produção e consumo, como redefinindo a noção de progresso. O estudo de Scotto et al. novamente dá bases para o início da seção, trazendo a construção de termos antecessores ao desenvolvimento sustentável (como capitalismo ecológico e ecodesenvolvimento). A análise desta seção também busca outras referências que vem analisando as alternativas que tem força no debate mais recente (como em Charonis, Bostman & Rogers e Rifkin), como uma forma de mostrar o espectro notadamente conhecido na literatura e escolas de pensamentos que convergem para a noção de mudanças de rumo na economia. Nesta seção se introduz o tema da economia circular, que será aprofundado no Capítulo II.

---

<sup>1</sup>A Fundação Ellen MacArthur é uma entidade sem fins lucrativos formada em 2010 com a missão de inspirar uma geração a repensar, reformular e construir um futuro positivo, acreditando que a economia circular fornece um framework coerente para o redesenho sistêmico e criando oportunidade para a inovação e a criatividade promoverem uma economia positiva e restaurativa ([www.ellenmacarthurfoundation.org](http://www.ellenmacarthurfoundation.org)). Trata-se de uma organização fundada e financiada por empresas privadas (Cisco, Kingfisher, Renault e Unilever) e que atua em articulação multissetorial, atuando com empresas e instituições de representação empresarial, universidades, outras organizações não governamentais e governos para impulsionar a transição para a economia circular.

## 1.5. A noção de limites à economia

O modelo de economia industrial desenvolvido nos últimos séculos, desde a Revolução Industrial, é intensamente dependente do uso de recursos naturais para alimentar uma economia que prioriza valores materiais nas relações de produção e consumo. Isso significa um modelo de produção e consumo que se caracteriza pela intensa extração de recursos naturais virgens, transformação desses recursos em bens de consumo através da atividade industrial, consumo desses bens pela sociedade e descarte ao fim de vida útil dos produtos. Alimentada pela ideia de que progresso e promoção de bem estar são sinônimo de crescimento econômico, essa economia vem sendo norteadada pela ideia de crescimento ilimitado, a despeito da existência de limites ecológicos a esse modelo. Esta seção faz um apanhado histórico da narrativa acerca dos limites ao modelo de produção e consumo adotado na economia industrial.

O século XX assistiu a uma intensificação da atividade industrial tanto nos países centrais em seus processos pioneiros de industrialização e urbanização como nas nações que adentram esse processo mais tardiamente através do discurso da “era do desenvolvimento”, particularmente a partir da década de 1940, após a Segunda Guerra Mundial (Sachs W. , 1992). Naquele momento, o desafio era reconstruir as nações afetadas pela guerra e estabelecer uma ordem hegemônica reduzindo disparidades entre nações centrais e as periféricas (Scotto, Carvalho, & Guimarães, 2009), que adentram estratégias de emparelhamento (“catching up strategies”) em um modelo que sustenta o crescimento econômico ilimitado (pela ótica do crescimento do Produto Interno Bruto, o PIB<sup>2</sup>), a industrialização e a inovação técnica como o meio de obter progresso e promover bem estar às nações (Maluf, 2000). O modelo de produção e consumo linear atrelado a uma lógica de crescimento econômico ilimitado ganha então escala global, já tendo decuplicado taxas de crescimento econômico em comparação a séculos pré-industriais (Altvater, 2010), colocando intensa pressão nos ecossistemas e instalando uma crise ambiental.

A partir da década de 1970, a crise ambiental instalada desencadeia uma série de debates na esfera global sobre as pressões que esse modelo causava ao ambiente, ao planeta e à humanidade. Marcos importantes desse debate global foram algumas conferências da Organização das Nações Unidas (ONU) para tratar de questões do meio ambiente e o desenvolvimento, tendo a Conferência de Estocolmo, em 1972, como marco inicial, além das conferências no Rio de Janeiro, em 1992 (Rio-92) e em 2012 (Rio+20)<sup>3</sup>, e outras. Dessa

---

<sup>2</sup> Produto Interno Bruto é definido pelo Banco Mundial como o “valor final de todos os bens e serviços produzidos em um país em um ano”. Organização para a Cooperação Econômica e Desenvolvimento (OCDE) o define como “uma medida agregada de produção igual à soma dos valores brutos adicionados de toda as unidades institucionais residentes envolvidas na produção (além de todos os impostos, e menos quaisquer subsídios, sobre produtos, não incluídos no valor de seus fins). É a principal métrica utilizada para medir crescimento econômico dos países desde 1980, embora já fosse utilizada desde a Conferência de Bretton Woods, em 1944, período no qual, entretanto, predominava o uso do Produto Nacional Bruto (PNB), que difere do PIB porque mede a produção por cidadãos de um país no território nacional e no exterior, diferente da noção de “unidades institucionais residentes” no território nacional, usada para o PIB.

<sup>3</sup> A Conferência de Estocolmo, em 1972, foi a primeira Conferência Mundial sobre o Homem e o Meio Ambiente e sua declaração atenta para a necessidade de uma perspectiva comum global para tratar de questões de preservação e melhora do ambiente (UNEP, 1972). A Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento do Rio de Janeiro, em 1992 (Rio-92), reafirma os princípios da Conferência de Estocolmo e declara o objetivo de estabelecer uma nova e justa parceria global mediante a criação de novos níveis de cooperação entre os Estados, os setores-chaves da sociedade e os indivíduos, em prol do desenvolvimento sustentável (ONU, 1992). A Conferência das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável, em 2012 (Rio+20), traz, em seu documento final “O futuro que queremos”, a renovação do “compromisso com o desenvolvimento sustentável e com a promoção de um futuro econômico, social e ambientalmente sustentável para o planeta e para as atuais e futuras gerações” (ONU, 2012). Outras conferências globais relevantes da ONU trataram sobre aspectos ligados



movimentação, emergem discursos por um desenvolvimento mais sustentável, pondo em questão o tema dos limites ao modelo baseado em uma economia industrial linear, intensiva em recursos naturais virgens e em energias não renováveis e poluidoras de fontes fósseis (Scotto, Carvalho, & Guimarães, 2009).

A noção de limites à economia já era trabalhada, entretanto, em tempos mais passados, como analisado por Pearce, Turner e Bateman (1993), tendo origem no trabalho de alguns pensadores como Thomas R. Malthus (1798), David Ricardo (1817) e Karl Marx (1867). Para Malthus, o temor era sobre a escassez de recursos que uma crescente população significaria, ultrapassando as capacidades da economia de prover recursos básicos de subsistência, como alimento, às pessoas, levando a um estado estacionário de miséria (Malthus, 1798). Já sob o olhar de Ricardo, os limites se dão porque o custo dos recursos naturais cresce ao passo que as melhores reservas (mais acessíveis, de melhor qualidade) se esgotam e, portanto, a economia passa a depender de recursos de qualidade cada vez menor e custo mais alto (Ricardo, 1817). Já Marx aborda a ideia de que o crescimento econômico seria limitado por inquietações sociais e políticas que perturbariam o sistema de classes do sistema capitalista de produção (Marx, 1867; Turner, Pearce, & Bateman, 1993).

Em 1972, o “Limites do Crescimento” ou Relatório Meadows, desenvolvido pelo Massachusetts Institute of Technology (MIT) ao Clube de Roma, evidenciou, a partir de análises e modelagem do uso de recursos naturais em previsões futuras, a insustentabilidade do modelo da economia industrial concluindo que os níveis de crescimento, industrialização, poluição e extração de recursos naturais cresciam em proporção geométrica enquanto a capacidade de renovação das matérias primas e fontes de energia seguiam evoluindo em proporção aritmética. Segundo o relatório, o limite de crescimento do planeta seria atingido nos cem anos subsequentes, provocando uma repentina diminuição da população mundial e da capacidade industrial, em decorrência do drástico esgotamento de recursos naturais consequente do modelo industrial linear. Naquele momento, o que o relatório considerava era o que chamou de “o dilema da humanidade”, que significava a tensão entre crescimento econômico, expansão humana, avanço tecnológico e conservação da natureza (Meadows, Meadows, Randers, & Ill, 1972; Scotto, Carvalho, & Guimarães, 2009).

Em 2005, a Organização das Nações Unidas lançou a Avaliação Ecológica do Milênio<sup>4</sup>, um esforço de pesquisa iniciado em 2001 com o objetivo de avaliar as consequências das mudanças causadas nos ecossistemas pela atividade humana no próprio bem estar humano e também fornecer bases científicas para ações de conservação e uso sustentável dos recursos naturais (Millenium Ecosystem Assessment, 2005). Os resultados dessa avaliação, que analisou estudos científicos em todo o mundo, mostrou as condições e tendências acerca dos “serviços ecossistêmicos” do planeta, entendidos como “os benefícios que os humanos tem a partir do funcionamento dos ecossistemas” (como, por exemplo, água, alimento, produtos florestais, controle de enchentes e recursos naturais) sendo os ecossistemas definidos como “um complexo dinâmico de plantas, animais e comunidades de microrganismos interagindo com o ambiente não vivo como uma unidade funcional” (Hassan, Scholes, & Ash, 2005). O trabalho mostra

---

aos limites do planeta ao modelo da sociedade, com temáticas de proteção de habitats, poluição e qualidade do ar, biodiversidade, resíduos e substâncias tóxicas, dentre outros.

<sup>4</sup> A Avaliação Ecológica do Milênio foi uma iniciativa requerida em 2000 pelo então Secretário-Geral da ONU Kofi Annan como uma resposta a questionamentos levantados em quatro conferências globais – Convenção sobre a Diversidade Biológica, a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação, a Convenção de Ramsar sobre Zonas Úmidas, e a Convenção sobre Espécies Migratórias – e resultou na formação de Grupo de Trabalho que conduziu análise de estudos já existentes – e não novas pesquisas – analisando dados e informações científicas de mil trezentos e sessenta fontes, dentre cientistas, o setor privado, comunidades locais e povos indígenas em diversos países. O estudo resultou em cinco volumes técnicos e seis relatórios de síntese, fornecendo uma avaliação científica do estado da arte das tendências e condições dos ecossistemas do mundo e os serviços que prestam bem como opções para restaurar, conservar ou melhorar o uso sustentável dos ecossistemas.

que, na segunda metade do século XX, a atividade humana alterou os ecossistemas mais rapidamente que em qualquer período anterior com o objetivo de atender às crescentes demandas por alimento, água doce, madeira, fibra e combustível, resultando em perda substancial e irreversível de biodiversidade incluindo, segundo os relatórios, mais de 60% dos serviços ecossistêmicos analisados (quinze de vinte e quatro) em estado de degradação ou uso insustentável. Uma proposta da iniciativa é aplicar a noção de valoração dos “serviços ecossistêmicos” como uma ferramenta para aumentar a capacidade dos tomadores de decisão de avaliar alternativas de ações que alterem o uso dos ecossistemas e os múltiplos serviços que prestam. A valoração, segundo o estudo, pode ser vista de forma utilitária – centrada no uso humano – e não utilitária – de base ética, religiosa, cultural e filosófica – e devem convergir para uma valoração monetária que permita internalizar custos incutidos nas ações humanas (Hassan, Scholes, & Ash, 2005).

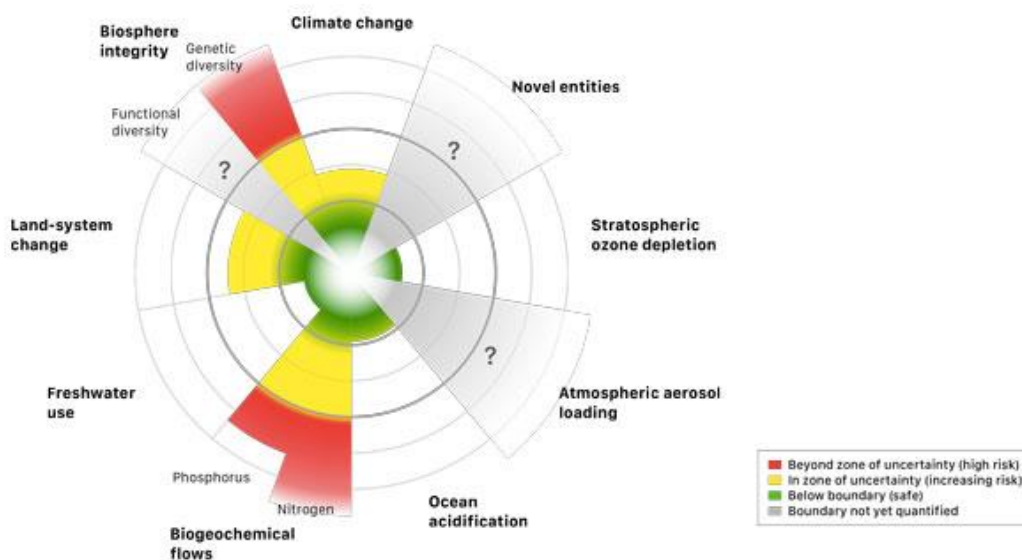
A noção de interconexões entre seres humanos e o planeta, que está na base fundamental do trabalho da Avaliação Ecossistêmica do Milênio inspira também as bases do pensamento que emerge na noção de resiliência. O conceito de resiliência surge originalmente na década de 1970 para compreender “a capacidade dos ecossistemas com em persistir em seu estado original sujeito a perturbações” (Holling, 1973) e evolui nas ciências ecológicas e econômicas para uma noção não de retorno ao estado original, mas de renovação, inovação e reorganização dos ecossistemas (Folke, et al., 2010). Uma reconhecida definição mais recente foi dada pelo Centro de Resiliência de Estocolmo<sup>5</sup>, organismo científico fundado em 2007, como “a capacidade de um sistema, seja ele um indivíduo, uma floresta, uma cidade ou uma economia, de lidar com a mudança e continuar a desenvolver; trata-se de como os seres humanos e a natureza podem usar choques e perturbações (...) para estimular a renovação e o pensamento inovador” (Stockholm Resilience Centre, 2015). William Rees (2010) analisou a perda de resiliência dos ecossistemas causada pela crise ambiental instalada pela sociedade industrial, que trouxe à tona problemas de larga escala, como derramamentos de óleo, poluição, envenenamento de ecossistemas e outros exemplos de incidentes ocorridos ao longo da história. Segundo Rees, são consequências de um modelo de produção e consumo centrado em estratégias de gestão de recursos naturais que focam na utilidade da natureza ao uso humano e são baseadas em um pensamento mecanicista do mundo biofísico que é fonte e sumidouro de materiais usados ao longo dos ciclos produtivos (Rees, 2010). Trata-se de um problema sistêmico, em que a humanidade degrada os ecossistemas dos quais é parte e é interdependente na promoção de suporte à vida ao se utilizar de uma perspectiva mecanicista de gerir os recursos naturais em benefício estritamente do modelo de produção e consumo material (Rees, 2010).

Em 2009, o Centro de Resiliência de Estocolmo cunhou o conceito de “limites planetários” (reformulado em 2015), com a finalidade de analisar o estado atual do “espaço operacional seguro para a humanidade viver no planeta com baixa probabilidade de prejudicar os sistemas de apoio à vida na Terra” (Rockström & Sachs, 2013). Segundo esse estudo, o padrão da economia atual já transgrediu alguns desses limites planetários, divididos em nove dimensões de análise: mudanças climáticas, perda de biodiversidade (renomeado na versão de 2015 para mudanças na integridade da biosfera – perda e extinções de biodiversidade), diminuição do ozônio estratosférico, acidificação dos oceanos, ciclos biogeoquímicos (nitrogênio e fósforo), mudanças no sistema de uso da terra, uso de água doce e o ciclo hidrológico global, carga de aerossóis atmosféricos e poluição química (renomeado na versão de 2015 para poluição química

---

<sup>5</sup> O Centro de Resiliência de Estocolmo é uma organização fundada em 2007 em uma iniciativa conjunta entre a Universidade de Estocolmo e o Instituto Internacional Beijer de Economia Ecológica no The Royal Swedish Academy of Sciences. Trata-se de um centro internacional que avança pesquisa transdisciplinar para a governança de sistemas sócio-ecológicos com uma ênfase especial na resiliência - a capacidade de lidar com a mudança e continuar a desenvolver. O centro é financiado pela Foundation for Strategic Environmental Research, Mistra (Stockholm Resilience Center, 2015)

e introdução de novas entidades). As análises desse grupo de pesquisadores se baseou em um período histórico a partir de 1950 e mostra que o modelo linear da economia alterou significativamente as condições de segurança do planeta em quase todas as dimensões (algumas ainda não tendo sido quantificadas até o presente), já tendo transgredido o limite máximo em quatro delas – mudanças climáticas, mudanças na integridade da biosfera, mudanças no sistema de uso da terra e interferência humana nos ciclos biogeoquímicos (nitrogênio e fósforo) (Rockström, et al., 2009; Steffen, et al., 2015), conforme mostra o modelo gráfico representado na Figura 1, abaixo.



Fonte: Centro de Resiliência de Estocolmo (Rockström, et al., 2009; Steffen, et al., 2015)

Figura 1 - Limites Planetários - um espaço de operação segura para a humanidade

O extenso debate e investigação acerca da noção de limites do modelo da economia industrial evidenciam a importância de se repensar o paradigma de produção e consumo, hoje predominantemente linear. A seção a seguir aprofunda o tema da economia linear, seus direcionadores e consequências no setor produtivo.

## 1.6. O modelo linear e seus desdobramentos nos negócios

O modelo linear da economia industrial é baseado em intensa produção e consumo materiais e vem sendo movido pelo ideário de crescimento econômico ilimitado, causando diversas transgressões aos limites ecológicos do planeta, tema de intensos debates em todo o mundo, como visto na seção anterior. Algumas características desse modelo são particularmente relevantes para esta pesquisa, sobretudo no que tange à relação entre o uso dos recursos naturais nas trajetórias de desenvolvimento e crescimento econômico dos países e os modelos de produção e consumo adotados. Adiante, no Capítulo III, essa ótica será analisada sob o ponto de vista da produção de metais, elemento fundamental à trajetória de desenvolvimento e crescimento dos países. Esta seção tem como objetivo fazer um apanhado histórico do conceito e características do modelo linear como modelo de produção e consumo adotado na economia industrial e os desdobramentos que se foram observando no debate internacional e no setor produtivo como resposta às pressões ao modelo.

A noção de linearidade da economia emerge em oposição à ideia de circularidade, quando alguns teóricos começam a analisar a questão dos limites ecológicos à economia no planeta. Aplicando conceitos das Leis da Termodinâmica (como será visto no Capítulo II), Kenneth E.

Boulding (1966) e Georgescu-Roegen (1971) inspiraram e introduziram a ideia de linearidade em oposição à de circularidade nas relações entre a economia humana e o ambiente e são considerados progenitores do campo da Economia Ecológica, que aprofunda esse tema. Trata-se de um modelo de produção e consumo que funciona como um sistema aberto, extraindo materiais da natureza para a produção de bens, que incorre de muitas perdas desses materiais e de energia, funcionando em oposição ao planeta, que é um sistema fechado, que não realiza trocas externas de materiais – apenas de energia solar (Boulding, 1966). Essas perdas de materiais e energia no processo de produção e consumo seriam ineficiências desse modelo e resultam em degradação dos recursos naturais e da qualidade do ambiente (Georgescu-Roegen, 1971).

O termo economia linear passa a ser bastante evidenciado mais recentemente com esforços de autores que o utilizam em oposição à proposta prática de uma economia circular, como será visto no Capítulo II, nos estudos da literatura chinesa sobre o modelo industrial adotado no país desde inícios do século XX e de bibliografias mais recentes do setor dos negócios, em estudos que propõem novos modelos de negócio para uma economia circular (Preston, 2012; Ellen MacArthur Foundation, 2013; Accenture, 2014). Segundo define a Fundação Ellen MacArthur (2013), a economia linear é um modelo de “extração-transformação-descarte”<sup>6</sup> em que “empresas extraem materiais, aplicam energia para fabricar um produto, vendem o produto a um consumidor final, que, em seguida, o descarta quando não funciona mais ou já não serve ao propósito do usuário”. Portanto, incorre em perdas de recursos desnecessários de várias maneiras: como resíduos na cadeia de produção e em fim de vida útil de produtos, perdas de energia inculida nos materiais e por ineficiência e perdas nos ecossistemas degradados pela atividade produtiva. Estratégias das empresas na economia linear são orientadas a gerar valor através da maximização da capacidade de gerar bens materiais a serem consumidos, adotando o uso de obsolescência prematura<sup>7</sup> dos produtos, gerando mais consumo e, portanto, descarte de bens inutilizados (Ellen MacArthur Foundation, 2013).

Dada a intensidade do uso material desse modelo de economia linear, uma característica histórica é a estreita correlação entre o crescimento econômico das nações (medido pelo PIB) e o uso de recursos naturais para a obtenção desse progresso, como abordado em diversos estudos. A noção de progresso fortemente atrelada ao consumo material se evidencia ao correlacionar os indicadores de crescimento econômico dos países e o uso de recursos nas economias nacionais, como feito no Gráfico 1 abaixo, desenvolvido com base no PIB per capita<sup>8</sup> dos países e as toneladas de recursos per capita consumidas, mostrando uma clara tendência de maior uso de recursos em relação à população naqueles países com maiores indicadores de progresso econômico (Accenture, 2014).

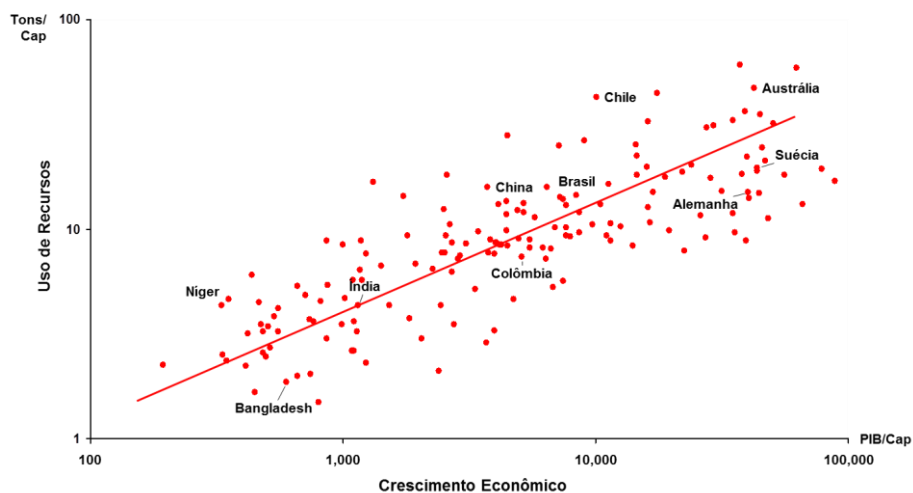
---

<sup>6</sup> A expressão em inglês “take-make-dispose” (traduzida livremente para o português como “extração-transformação-descarte”) foi popularmente adotada pela Fundação Ellen MacArthur para resumir as etapas do modelo de economia linear.

<sup>7</sup> Os estudos da Fundação Ellen MacArthur definem alguns direcionadores usados pelas empresas para atingir essa obsolescência prematura dos produtos, como: (i) obsolescência do “elo mais fraco” ou planejada, que inutiliza um produto inteiro a partir da falha de apenas um de seus componentes; (ii) obsolescência “da moda”, que encoraja consumidores a adquirirem novos produtos para seguir tendências de consumo, tecnologia ou moda; (iii) obsolescência econômica, quando o custo de consertar um produto se torna uma desvantagem ante à possibilidade de comprar um novo; e (iv) obsolescência legal/financeira, quando um ativo de uma empresa deve ser descartado de seu uso quando se torna um passivo legal ou financeiro (Ellen MacArthur Foundation, 2013).

<sup>8</sup> Produto Interno Bruto per capita é o PIB dividido pela população média no ano. Segundo a OCDE e o Banco Mundial, “é um dos principais indicadores de desempenho econômico usado para medir padrões de vida médios ou bem-estar econômico, apesar de serem reconhecidas algumas deficiências”.

**Gráfico 1 - Log-plot de recursos e crescimento econômico (2010, 166 países)**



**Fonte: SERI and Dittrich, M. (2014). Global Material Flow Database; Banco Mundial (2014) PIB per capita em USD. Análise Accenture**

Webster (2015), em seu artigo “The decline of the linear economy and the rise of the circular” (“O declínio da economia linear e o surgimento da circular”, em tradução livre para o português), analisa que a economia linear emerge de uma “visão de mundo como máquina”, que norteou as transformações sociais e as ciências desde o século XVII. A emergência do conhecimento mecanicista newtoniano e da racionalidade científica incorpora em todas as disciplinas emergentes, segundo o autor, a ideia de que o mundo era composto de blocos e deveria ser regulado por mecanismos. A Revolução Industrial e a emergência da economia linear são consequência dessa visão de mundo na forma de fazer negócios, sendo o mercado o mecanismo que se formou para decidir a alocação de recursos e a indústria o mecanismo de produção e consumo de bens. A noção de valor foi então direcionada à eficiência desses mecanismos, visando à maximização do rendimento desse “mundo máquina”, se traduzindo em uma “era de produção de massa e consumo de massa” que permitiram o intenso crescimento econômico experimentado. Em palavras do autor:

Em termos de recursos e energia, a economia foi uma máquina de transformar materiais e energia para produtores e consumidores de bens e serviços e, com recursos e desenvoltura tão ilimitados (quanto eram) os jatos de petróleo (...), mais e mais rápido e de maneira mais eficiente se chegou à chave para a obtenção de lucro que, por sua vez, fez todos mais ricos (Webster, 2015).

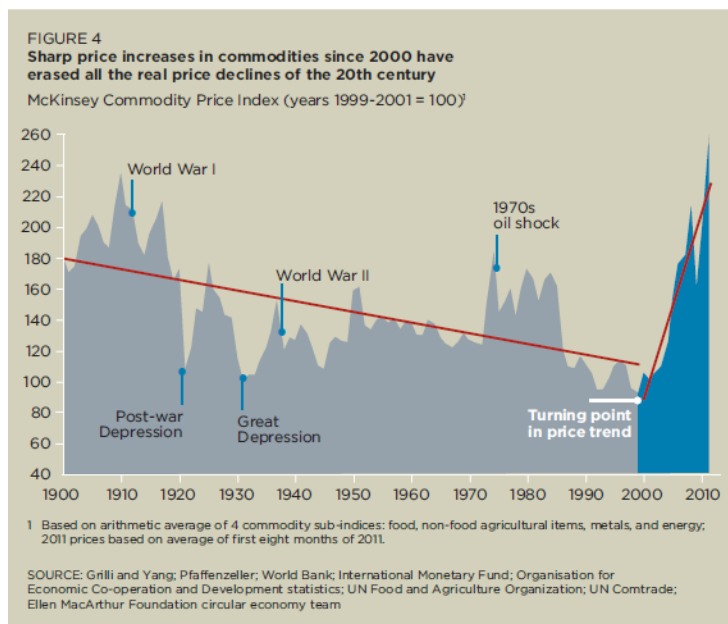
Como resumido em Preston (2012), a crescente extração de recursos naturais para sustentar as bases desse modelo linear de produção e consumo ao longo de todo o século XX foi viabilizada por três principais aspectos: poucos limites regulatórios e sociais para cercear as práticas de produção e consumo, abundância de reservas a explorar e baixos preços desses recursos (resultando em baixos custos de produção na indústria de transformação). Para Webster (2015), o modelo funcionou bem “enquanto havia recursos abundantes, especialmente energia (...), vastos sumidouros para os resíduos e consumidores dispostos a pagar pelos produtos”. Como observam os autores, quase todos esses aspectos para o sucesso da economia linear começaram uma trajetória de mudança nas últimas décadas do século XX, se intensificando na virada do século XXI, como ocorreu com a escalada de pressões regulatórias e sociais à economia, o crescente esgotamento de reservas naturais e os choques de preços de recursos naturais experimentados. Em outra direção vai o consumo, destacado por Webster, que

tende a crescer nas próximas décadas, trazendo à tona a necessidade de repensar o modelo que já se deflagra inviável, como será visto nos próximos parágrafos.

Sobre a escalada regulatória, Scotto et al analisa que a partir da década de 1990, em decorrência dos diversos tratados e convenções internacionais assinados na Rio-92 e em outras convenções internacionais (como as para tratar de biodiversidade e clima), uma série de regulações ambientais e sociais emergiram em diversos países como resposta ao diálogo e às negociações internacionais que se intensificavam impondo pressões por mudanças no paradigma econômico, exigindo em diversas partes do mundo padrões de produção mais refinados para evitar os danos já experimentados (Scotto, Carvalho, & Guimarães, 2009). Já o esgotamento das reservas naturais (fato que ficou evidente nas análises do Relatório Meadows, por exemplo) foi suprido ao longo do século com um evolutivo avanço técnico para a exploração de reservas cada vez mais remotas, de menor qualidade e maior custo (Meadows, Meadows, Randers, & Ill, 1972; Webster, 2015).

Os preços de recursos naturais básicos da economia (ou “commodities”) – como metais, energia, alimentos e produtos agrícolas –, que tenderam a declinar durante todo o século XX permitindo o modelo intensamente material, na virada do século XXI, começaram uma trajetória de aumento e alcançaram níveis históricos em menos de uma década, além de experimentar intensa volatilidade (Preston, 2012; Ellen MacArthur Foundation, 2013). Isso, como observou Webster (2015), significou uma mudança de rumo para o modelo linear porque todos os ganhos obtidos com a queda de preços durante o século XX (cerca de 1,2% ao ano, em média) foram sendo anulados na primeira década do século XXI, como mostra o Gráfico 2. Webster analisa que, no atual cenário, faz sentido para os negócios – e também para os consumidores – manterem produtivos cada unidade de material e energia que passa por suas mãos (em vez de eliminá-los de seus ciclos produtivos), já que depender de novos recursos adentrando a economia passou a ser mais custoso e cheio de incertezas do que estender a vida daqueles que já estão circulando na economia. Assim, o que era antes o caminho mais eficiente e vantajoso da economia – o modelo linear de “extração-transformação-descarte”, passou a ser um caminho de risco e duvidoso (Webster, 2015). Kleijn (2012) analisa que há uma “base material fundamental na pirâmide econômica” e que, portanto, a alta interconectividade dos fluxos de materiais e energia na economia global para suprir toda a demanda crescente por recursos a vem tornando cada vez mais vulnerável a choques dos recursos naturais, como observado nos últimos anos.

## Gráfico 2 - Aumentos acentuados em “commodities” a partir de 2000 anulou todos os declínios de preços reais do século XX



Fonte: Fundação Ellen MacArthur, 2013

O setor produtivo, tendo papel fundamental nas origens da crise ambiental instalada, observou diversas iniciativas que se foram impondo às práticas industriais para lidar com os cenários que se foram configurando progressivamente. A finais da década de 1960, como destaca Porto-Gonçalves (2006), ante à crise ambiental que se instalava decorrente do modelo industrial, o discurso ambientalista da época começa a ser incorporado pelo setor produtivo e pela ciência, fazendo emergir a uma visão técnico-científica da questão dos impactos ambientais da produção e consumo. O próprio Relatório Meadows é um exemplo dessa incorporação da ciência na análise ambiental e econômica, utilizando modelos matemáticos científicos em suas análises para trazer luz à ideia de que era preciso dissociar a trajetória de crescimento da economia industrial linear do uso de recursos naturais a fim de evitar o esgotamento de capacidades naturais do planeta (Meadows, Meadows, Randers, & Ill, 1972).

A noção de ecoeficiência, que se espalhou notavelmente pelo setor produtivo, tem aí suas origens, defendendo o emprego da racionalidade técnica na mitigação dos impactos ambientais e riscos à saúde humana advindos das atividades industriais, da agricultura e da urbanização, maximizando a produtividade dos processos de transformação de materiais e energia (Porto-Gonçalves, 2006). Emerge também a noção de prevenção da poluição, em oposição ao controle da poluição ocasionada em decorrência de uma atividade produtiva, incorporando a ideia de eliminar os riscos de poluição no início do processo produtivo. Em fins da década de 1980, essas noções são consolidadas pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) no conceito de Produção Mais Limpa, um padrão de práticas industriais que visa à “aplicação contínua de estratégia ambiental preventiva integrada aplicada a processos, produtos e serviços para aumentar a ecoeficiência e reduzir os riscos para os seres humanos e o meio ambiente” (UNEP, 2015). O conceito de ecoeficiência é formalmente cunhado pelo World Business Council for Sustainable Development<sup>9</sup>, um dos principais órgãos para articular o tema

<sup>9</sup> O World Business Council for Sustainable Development é uma organização formada por líderes de empresas para tratar do tema do desenvolvimento sustentável nos negócios, promovendo conhecimento e defendendo a construção de soluções para serem aplicadas pelas empresas. Foi fundado em 1992, decorrência da Rio-92, para representar o setor dos negócios nas negociações (WBCSD).

do desenvolvimento sustentável no setor dos negócios, em 1991, como uma filosofia de gestão de processos produtivos que funcione de maneira a harmonizar benefícios econômicos e desempenho ambiental da indústria, sendo um marco direcionador para o setor produtivo atuar na minimização de impactos ambientais negativos (WBCSD, 1991).

Porter & Kramer (2011), teóricos do mundo dos negócios, analisam que a indústria, ocupando posição central nas causas dos problemas sociais, ambientais e econômicos, observou que os impactos negativos causados refletiram, no tempo, nos próprios negócios, seja por imposição de medidas restritivas à produção ou por riscos ambientais e sociais. Diante disso, os autores pregam que o setor produtivo deve mudar sua atuação na sociedade, vislumbrando um papel de impacto positivo, tanto para os negócios como para a sociedade. Segundo os autores, práticas das empresas nesse sentido vem evoluindo pouco a pouco, tendo como início da trajetória a adoção de ações de filantropia, com a doação de recursos e tempo a causas sociais, evoluindo para a responsabilidade social corporativa, com uma atuação de cidadania na comunidade e aspectos de sustentabilidade ambiental, chegando à ideia mais avançada que os autores chamam de geração de valor compartilhado, que é quando os negócios incorporam às suas estratégias os impactos positivos, funcionando como atores de melhoria social ao mesmo tempo em que tem resultados econômicos positivos (Porter & Kramer, 2011). Embora essa noção venha sendo difundida na literatura sobre o setor produtivo, a aplicação prática ainda apresenta realidade muito fragmentada e na maior parte das vezes distante do ideal de valor compartilhado pregado pelos autores<sup>10</sup>, como observam que “muitas empresas continuam a ver sua criação de valor de forma restritiva, otimizando o desempenho financeiro de curto prazo”.

Olhando para o futuro, uma realidade observada por diversos autores é que o nível de consumo de bens na sociedade tende a crescer globalmente nas próximas décadas, como resultado do aumento da população global e do grande número de pessoas adotando padrões de consumo intensamente materiais, sobretudo em países chamados emergentes, como China, Índia, Brasil e outros. Estudos da ONU projetam que a população global deve chegar a 10 bilhões de pessoas em 2100, o que significa um aumento de cerca de 50% em relação a 2013 e estudo da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico<sup>11</sup> (OCDE) mostra que, até 2030, cerca de 2,5 bilhões de pessoas alcançarão padrões de consumo tipicamente da classe média, que o estudo define como “dotada de um materialismo econômico intenso, (tendo sido) o ímpeto da expansão da economia”, um crescimento de mais de 100% em relação a 2013 (Kharas, 2010).

Diversos autores aqui referenciados debatem que no atual cenário da economia torna-se cada vez mais urgente repensar os modelos de produção e consumo adotados por uma população crescente com respeito aos limites ecológicos. Novos discursos vêm emergindo na sociedade com o objetivo de pensar novos modelos, assunto que será foco da próxima seção. A economia circular, que emerge como um desses discursos e que vem sendo amplamente difundida em setores chave da economia – negócios, governos, academia – será foco do Capítulo II.

---

<sup>10</sup> Embora já se observe movimento de emergência de diversos modelos de negócios que tem no seu cerne a ideia de impacto positivo (ver mais sobre negócios de impacto positivo em [www.sistemab.org](http://www.sistemab.org)).

<sup>11</sup> A OCDE é uma organização que foi fundada em 1948 e atualmente é composta por 34 países, tendo como missão a promoção de políticas de assuntos ligados ao desenvolvimento econômico, social e ao meio ambiente em todo o mundo. Atua na geração e análises de informações sobre diferentes países promovendo articulação entre governos, sociedade civil organizada e o setor dos negócios para a troca de experiências sobre desafios comuns e, por fim, a recomendação de políticas para solucionar esses desafios. É também conhecida como o “grupo dos ricos”, pois os países membros são responsáveis por cerca de metade do PIB mundial. Seu financiamento é feito a partir de contribuições dos países membro, sendo proporcional ao tamanho de cada economia (OECD).



## 1.7. Discursos alternativos ao modelo linear de crescimento econômico ilimitado

O debate acerca dos limites do planeta ante um modelo econômico industrial, linear e que visa ao crescimento econômico ilimitado fez emergir uma série de discursos alternativos a esse modelo. Esses discursos debatem temas que norteiam a economia, questionando tanto a noção de progresso e desenvolvimento baseado em crescimento econômico ilimitado como os mecanismos de produção e consumo adotados nessa economia. Nesta seção serão analisadas algumas narrativas comumente mencionadas na literatura que emergiram como propostas de novas formas de pensar o sistema de produção e consumo, a sociedade e a noção de progresso que direciona a economia.

Após o lançamento do Relatório Meadows, em 1972, os desdobramentos do debate sobre os limites do modelo econômico causaram reações tanto nos países industrializados, porque a tese apresentada poderia significar o fim do crescimento da sociedade industrial, quanto dos países em desenvolvimento, que viam em risco suas trajetórias de crescimento com uma justificativa ecológica (Scotto, Carvalho, & Guimarães, 2009). Nesse momento, como destaca Scotto et al o termo “capitalismo ecológico” emerge na esteira dessas reações, por Jean-Pierre Dupuy (1980), como uma tentativa de reorientar o crescimento das nações industrializadas a modelos de produção menos destruidores e de uma reprogramação planetária do uso de recursos e energia para um modelo de capitalismo de não crescimento. Já o termo ecodesenvolvimento, definido por Ignacy Sachs, em 1986, e considerado por Scotto et al como antecessor do termo desenvolvimento sustentável, definia uma estratégia distinta para países em desenvolvimento, baseado em “um processo criativo de transformação do meio com a ajuda de técnicas ecologicamente prudentes, concebidas em função das potencialidades deste meio, impedindo o desperdício inconsiderado dos recursos (...)” (Sachs I. , 1986).

O termo desenvolvimento sustentável emerge na década de 1980, em um mundo globalizado, com uma expectativa de reformulação do ideário de desenvolvimento em resposta às críticas sociais e ecológicas que emergiam. Tendo como marco conceitual inicial a publicação do Relatório Brundtland “Nosso Futuro Comum”, em 1987, é definido como “a capacidade de garantir que ele (o desenvolvimento) atenda às necessidades do presente sem comprometer a capacidade de as gerações futuras atenderem também às suas”, e mostra uma tentativa de conciliar crescimento econômico, superação da pobreza e atenção aos limites ambientais (WCED, 1987; Scotto, Carvalho, & Guimarães, 2009). Como base teórica dos conceitos levantados pelo Relatório Brundtland estava a noção da ecoeficiência, abordada na seção anterior, que inseriu no debate a ideia de manejo sustentável dos recursos da natureza com vistas a manter o crescimento econômico reduzindo a degradação ambiental. Segundo Acelrad (2010), essa proposta se preocupava principalmente em sustentar a base material do desenvolvimento, com um olhar apenas sobre os meios produtivos da economia, sem questionar os fins para os quais estes meios eram mobilizados, mantendo, portanto, a mesma lógica crescentista.

Na esteira do debate sobre alternativas à noção de progresso baseada em crescimento econômico ilimitado, Charonis (2012) analisa três discursos de relevância nos debates internacionais a respeito de caminhos alternativos para a economia global, cada um com características próprias mas que convergem para a noção de que “as sociedades humanas devem operar dentro dos limites ecológicos do planeta, e que isso é algo que o paradigma econômico dominante e modelo industrial não garante”. São eles os discursos do decrescimento, da economia de estado estacionário e da economia circular. Ambas as noções de decrescimento e de economia de estado estacionário advém do campo da Economia Ecológica<sup>12</sup> – campo que

---

<sup>12</sup> Apesar de as noções de decrescimento e estado estacionário já figurarem entre os teóricos da Economia Ecológica desde a década de 1970, mais recentemente tem-se notado grande movimento global acerca desses discursos, com uma série de conferências sobre o decrescimento econômico se iniciando em 2008 colocando

investiga propostas para solucionar questões na economia resultantes das interações entre o homem e a natureza (ISEE) – e tem como ponto central questionar a noção de crescimento econômico ilimitado, sendo “alternativas ao discurso do crescimento”, enquanto a economia circular, que será foco do Capítulo II, não questiona a noção de crescimento econômico, mas sim determina a necessidade de dissociar o crescimento econômico do uso de recursos naturais pensando os fluxos de materiais e energia na economia funcionando em harmonia com os ecossistemas do planeta (Charonis, 2012).

A noção de decrescimento advém da ideia de implementar estratégias planejadas e sustentáveis de “reduzir a escala de produção e consumo aumentando o bem-estar humano e as condições ecológicas em níveis local e global, a curto e longo prazo” (Schneider, Kallis, & Martinez-Alier, 2010). Não se trata de um foco principal em reduzir o Produto Interno Bruto dos países, mas essa redução seria uma consequência natural da redução planejada de atividades de larga escala intensiva em recursos naturais que atualmente formam grande parte do PIB; tampouco se assimila ao estado não planejado de decrescimento, ou recessão, em uma economia de crescimento (Charonis, 2012). Segundo analisa Kallis (2010), um decrescimento sustentável pode ser definido a partir de uma perspectiva ecológico-econômica como uma redução socialmente sustentável e equitativa (e, eventualmente, a estabilização) do rendimento da sociedade, sendo o rendimento tudo aquilo relativo aos materiais e energia extraídos pela sociedade, processados, transportados e distribuídos, para serem consumidos e retornarem ao meio ambiente como resíduos. A comunidade que trata da ideia de decrescimento é formada por diversos acadêmicos de diferentes áreas do saber e, embora não haja um consenso dominante entre os proponentes dessa ideia sobre métricas necessárias para fazer uma transição do modelo de crescimento para o de decrescimento, há consenso entre princípios para propor novas políticas acerca de emprego, renda mínima redução de resíduos e mudanças na mensuração de progresso (Charonis, 2012). Frequentemente, como analisado por Schrieftl et al (Schrieftl, Exner, Lauk, & Kulterer, 2008) nos debates da Primeira Conferência Internacional sobre Decrescimento pela Sustentabilidade Ecológica e a Igualdade Social (Paris, 2008), teóricos do decrescimento são críticos quanto ao sistema capitalista como meio de atingir decrescimento e comumente se referem a modelos de governança socialistas como alternativa. Também se defende que o estado de decrescimento não deve ocorrer por tempo indefinido, mas sim como transição para um patamar de vida sustentável ecologicamente e que promova igualdade social (Schneider, Kallis, & Martinez-Alier, 2010).

A noção de economia de estado estacionário não é nova, tendo origem mesmo antes da Revolução Industrial, sendo abordada na teoria de Adam Smith sobre “A Riqueza das Nações” (Smith, 1776) e em John Stuart Mill, no capítulo “Do Estado Estacionário”<sup>13</sup>, em 1848 (Mill, 1848). O conceito evoluiu e conta atualmente com ampla literatura acadêmica e propostas de modelos de transição viabilizadores, com princípios e propostas muito semelhantes às do decrescimento; no entanto, assim como no campo do decrescimento, também não existe uma comunidade com uma agenda homogênea definida para o debate (Charonis, 2012). Herman Daly, um dos principais teóricos da economia de estado estacionário define que, em “uma biosfera finita, não crescente e fechada (à exceção da constante entrada de energia solar), (...) qualquer subsistema, como a economia, deve em algum momento parar de crescer e adaptar-se a um equilíbrio dinâmico, algo como um estado estacionário” (Daly, 2005).

---

eventos frequentes na agenda internacional, além do surgimento de um calendário de conferências sobre a economia de estado estacionário que se iniciou em 2010. É nesse ínterim que Charonis trava seu debate acerca desses discursos sobre o criticismo ao crescimento econômico (Charonis, 2012).

<sup>13</sup> O capítulo “Do Estado Estacionário” é parte do livro IV – Influência do progresso da sociedade na produção e distribuição, do livro Princípios da Política Econômica, de John Stuart Mill, que foi considerado um dos principais livros de economia do século XIX.

Ambas as escolas do decrescimento e da economia de estado estacionário desenvolveram propostas de políticas e ações para a transição, incluindo novas métricas relativas ao progresso que vão além do crescimento econômico medido pelo PIB, incluindo elementos ambientais e sociais. As grandes convergências entre essas escolas encaram alguns pontos divergentes, como ocorre com a noção da distribuição geográfica dos novos modelos: enquanto teóricos do decrescimento afirmam que a transição deve acontecer tanto em países desenvolvidos como nas nações em desenvolvimento e mais pobres como uma maneira de prevenir que caiam no mesmo caminho da economia do crescimento, teóricos da economia de estado estacionário defendem que somente os países desenvolvidos devem estabilizar, senão crescer, suas economias para dar espaço ecológico para nações mais pobres crescerem (Charonis, 2012).

O discurso da economia circular, diferentemente, não questiona o crescimento econômico, mas afirma e propõe um modelo em que o crescimento do PIB seria dissociado do uso de recursos naturais o que, em última instância, é a razão pelo qual os limites seguros do planeta vêm sendo ameaçados. O conceito tem origem em diferentes escolas, como a ecologia industrial, o design regenerativo, o “cradle-to-cradle” e a biomimética, como será aprofundado no Capítulo II. Tendo origens conceituais em diversos autores da economia ecológica, como Turner & Pearce (1989), emerge como discurso consolidado a inícios dos anos 2000, em iniciativas regulatórias da China, quando o país apresentava acelerado crescimento da indústria e das cidades e enfrentava grave crise ambiental, sendo a proposta do governo chinês para um desenvolvimento econômico “baseado na circulação ecológica de materiais naturais, no cumprimento de leis ambientais e na utilização racional dos recursos naturais”, tendo como princípios básicos os 3Rs (redução, reuso e reciclagem de materiais) (Zhijun & Nailing, 2007). O conceito da economia circular evoluiu ao longo dos anos e atualmente as novas visões são mais impulsionadas na esfera dos negócios do que no debate acadêmico (como será explicado no Capítulo II), sendo ainda predominante na literatura acadêmica artigos referentes à experiência chinesa. Segundo visões mais recentes apresentadas pela Fundação Ellen MacArthur, trata-se de uma economia que enxerga o sistema de produção e consumo como um sistema que deve ser desenhado para ser regenerativo e restaurativo, privilegiando a manutenção de materiais e energia em ciclos constantes de reuso e a desmaterialização dos ciclos produtivos, minimizando, com isso, a dependência da extração de recursos virgens da natureza (Ellen MacArthur Foundation, 2013).

Tendo como princípio a dissociação entre progresso econômico e uso de recursos, Preston (2012) ainda ressalta que, em um nível global, a economia circular seria ferramenta para permitir que países em desenvolvimento possam se industrializar e países desenvolvidos possam melhorar bem estar mas sem adicionar pressão nos recursos naturais e sem violar os limites ecológicos. Adicionalmente, análises da Fundação Ellen MacArthur em estudos sobre cenários de uma economia circular mostram ainda que o crescimento econômico seria orientado por uma mudança de foco nos setores que movem a economia – primário (de extração de recursos), secundário (de manufatura) e terciário (de serviços) – assunto que será mais abordado no Capítulo III, representando oportunidades de novos negócios em cada setor mas também um aumento do emprego em setores menos intensivos em recursos, como o de serviços. Para a indústria e o setor produtivo em geral, segundo as análises, adentrar modelos de uma economia circular significa reduzir a exposição dos negócios aos riscos de um mundo com altos e voláteis preços de recursos naturais, como será abordado no Capítulo II. Além disso, também haveria redução das externalidades negativas, tanto ambientais e sociais quanto econômicas, reduzindo a vulnerabilidade dos mercados aos choques de preços de recursos naturais, e, ainda, promovendo uma economia mais resiliente no longo prazo, ao funcionar fora das limitações do modelo linear de produção e também ao contar com uma dinâmica baseada em inovação e novas capacidades da mão de obra (Ellen MacArthur Foundation, 2013).

Outros discursos emergem no século XXI em torno de formas mais resilientes de pensar a economia e as formas de produção e consumo e que vem ganhando notoriedade no debate internacional. O discurso da economia colaborativa ganha notoriedade ao passo que a tecnologia da informação permitiu a relação ativa entre pares em redes, permitindo a colaboração e o compartilhamento de bens e serviços, sem a necessidade de instituições intermediárias, como empresas e governos. Botsman & Rogers (2011), ressaltam a ideia de que, para a economia colaborativa, o valor da economia está mais na satisfação das necessidades através do *acesso* àquilo que se deseja do que na *posse* de um bem material e que, portanto, ao contrário do discurso da escassez de recursos existente em uma economia industrial linear, os recursos – materiais e imateriais – seriam abundantes. Diversos modelos de negócio já são realidade e são abordados pela literatura como exemplos de um novo modelo que se desenha dentro da economia, sem institucionalização ou intenção de revolucionar, pautado no princípio da colaboração, que permite desconectar a noção de progresso e bem estar do uso de recursos naturais uma vez que permite a utilização de ativos subutilizados aumentando a vida útil dos materiais que adentram os ciclos de produção e consumo. Seguindo a noção de compartilhamento e colaboração, a ideia de “bens comuns” (“collaborative commons”) vem sendo abordada por outros autores, como Rifkin (2014), ao suscitar a transição de uma economia de mercado capitalista e concentrada para uma “sociedade de custo marginal zero”, em que o valor da economia não mais adicionará níveis ao PIB porque será gerado a partir do uso e compartilhamento de “bens comuns”, reduzindo a atividade produtiva e direcionando a economia, através da tecnologia (a “internet das coisas”), a um intenso movimento de trocas e relações em redes.

Esses discursos alternativos ao paradigma de desenvolvimento baseado em crescimento econômico ilimitado e em um modelo linear de produção e consumo convergem na noção de que é preciso promover um modelo de sociedade que funcione em respeito aos limites ecológicos e que promova igualdade social, em detrimento de um modelo que vem causando consequências ambientais e sociais críticas e mostrou-se insustentável ao longo do tempo. O foco desta pesquisa está na visão da economia circular por ser um campo que aponta para caminhos interessantes para promover esse novo modelo mais adequado e porque ainda há campo para investigação e aprofundamento, tanto para contribuir com a literatura acadêmica como para investigar a aplicação desse conceito no Brasil.

## 1.8. Conclusões

O modelo linear que moveu a economia desde a Revolução Industrial, intensamente dependente do uso de recursos naturais e orientado ao crescimento econômico ilimitado encara um momento de grandes questionamentos e incertezas. Por um lado, a ideia de limites a esse modelo está estabelecida e vem se difundindo e desdobrando em intensos debates globais. Por outro lado, o setor produtivo se depara com um cenário desfavorável à manutenção do modelo, que já não mais favorece a intensa dependência de recursos naturais como base para a economia.

O cenário de questionamentos e incertezas é vasto. As consequências ambientais decorrentes da atividade industrial são conhecidas e já se desdobraram em medidas regulatórias para restringir os impactos negativos ao ambiente. A intensa dependência da economia ao uso de recursos naturais vem se transformando em uma fragilidade crônica em decorrência do esgotamento de reservas naturais e de crises de preços de recursos. O setor produtivo, que é central no debate das crises ambientais e por décadas vem tomando algumas medidas para reduzir seu impacto, atualmente lida com essas pressões e incertezas nos próprios negócios, sobretudo aqueles ligados a setores intensivos em uso de recursos naturais. Sob a ótica dos diversos autores analisados neste capítulo, o cenário econômico atual é crítico e deve transmutar para alguma alternativa que permita a conciliação entre a economia e o planeta.

Discursos com propostas alternativas vem emergindo há décadas e se intensificando ao passo que a economia mostra suas fragilidades. De maneira geral, as propostas convergem na noção de que é necessário pensar uma economia que promova bem estar igualitário e em respeito aos limites planetários. As diferentes narrativas tem distintos foco, algumas propondo mudanças específicas na noção de desenvolvimento – como o desenvolvimento sustentável e o ecodesenvolvimento –, outras com foco em repensar a noção de progresso para além do crescimento econômico – como a ideia de estado estacionário e o decrescimento – outras propondo mecanismos de produção e consumo para garantir o progresso e bem estar de maneira dissociada do uso de recursos naturais – sendo a economia circular a mais proeminente, mas também a economia colaborativa.

Na esteira das discussões acerca de novos modelos, a economia circular emerge como um recente campo do saber constituído que vem se difundindo e ganhando destaque em diferentes debates globais, envolvendo diferentes setores – governos, indústrias, fundações e academia. Desde o surgimento do termo, a inícios dos anos 2000, na China, até os dias atuais, o conceito evoluiu e se transformou em uma abordagem mais ampla, que envolve repensar os fluxos de materiais e energia na economia em todos os níveis. Desta nova visão, pouca literatura acadêmica se há produzido, abrindo espaço para investigação.

## **CAPÍTULO II – A ECONOMIA CIRCULAR: UM NOVO PARADIGMA DE PRODUÇÃO E CONSUMO**

### **2.1. Resumo e Abstract**

Este Capítulo contém a conceituação da economia circular, tema central desta pesquisa, trazendo à luz as origens do conceito que historicamente se foi construindo e que atualmente culmina em um novo campo do conhecimento que, além de congrega diversas escolas do saber, também se encontra em fase de plena construção. Desde as primeiras aplicações práticas do que se chamou economia circular, na China, até o que atualmente se vem configurando com uma visão mais europeia, o conceito de economia circular traz em si uma alternativa ao modelo linear que se praticou ao longo da história da economia industrial e que se apresenta como insustentável ante os limites do planeta. Além das origens do conceito, são também apresentados os princípios norteadores e alguns fatores e barreiras para a transição do atual modelo linear da economia para um modelo circular.

### **2.2. Abstract**

This chapter contains the concept of the circular economy, central topic of this research, highlighting the origins of the concept that emerged through history and currently culminates in a new field of knowledge that not only aggregates different schools of thought but is itself currently under construction. From the first practical applications of what was called circular economy, in China, to what is currently setting up with a more European view, the circular economy concept brings an alternative sight to the linear model that has been practiced throughout the history of industrial economy and has been notably argued as unsustainable to the limits of the planet. In addition to the origins of the concept the chapter also presents some guiding principles as well as factors and barriers to the transition from the current linear model to a circular one.

### **2.3. Introdução**

A inviabilidade do modelo da economia linear vem se refletindo em profundos questionamentos sobre como a economia opera seus valores no planeta a fim de gerar o aspirado bem estar do consumo e do acesso. Dentre tantas alternativas e propostas a um novo modelo, a economia circular aponta como um campo interessante e que vem se difundindo em diversos setores em várias partes do mundo como uma alternativa viável para conciliar a noção de progresso econômico com os limites do planeta.

Como campo de conhecimento, a economia circular tem dois importantes momentos: primeiro emerge como tema sendo norteador das políticas de desenvolvimento chinesas, na virada do século XXI, como resposta à grave crise ambiental em que o país mergulhava após intensificar sua atividade industrial, quando tinha então foco central nas noções de ecologia e simbiose industrial; é ampla a literatura acadêmica produzida na China acerca da economia circular naquele aspecto em que se trabalhou no país. Mais tarde, se desenvolve como um campo do saber mais amplo, sobretudo na Europa, a partir da segunda década do século XXI, propondo um redesenho da economia, que deve ser pensada como um sistema regenerativo no planeta, tendo como fundamentos os ciclos metabólicos de nutrientes (biológicos ou técnicos) e o uso de energia (renováveis e abundantes). Esta nova visão de fato inaugura um novo campo do conhecimento no tema da economia circular, que embora dialogue com as origens daquele praticado na China, se difere nos princípios e práticas que a norteiam; ainda é incipiente a

literatura acadêmica desta nova visão, sendo predominante a literatura ligada a setores dos negócios.

Esse conceito novo e ampliado de economia circular tem origem em diversas escolas que já vêm evoluindo desde as últimas décadas do século XX, como a economia ecológica, a ecologia e a simbiose industrial, a biomimética, escolas de design regenerativo, o “cradle-to-cradle” e outras. Nos anos recentes, intensos esforços vêm sendo feitos para a conceituação e a implementação prática da economia circular, sobretudo na Europa, onde as políticas vêm impulsionando a transição da economia rumo à circularidade.

Diversos princípios são inseridos pela economia circular na formulação de um novo modelo. Na experiência chinesa, os principais princípios norteadores são os 3Rs (redução, reuso e reciclagem de materiais), os quais também se encaixam nos princípios norteadores da visão recente de economia circular. Entretanto, a nova visão insere a noção de que a economia deve funcionar como ciclos metabólicos de nutrientes biológicos e técnicos que devem ser capazes de permanecer na economia (e não serem descartados), gerando valor no longo prazo e dissociando a ideia de crescimento econômico do uso limitante de recursos naturais.

Para se pensar uma transição da economia para um modelo circular, é necessário entender os direcionadores para promover essa transição. A literatura mostra que isso pode ocorrer em diferentes níveis: dentro de indústrias, em complexos e relações entre indústrias, em regiões ou cidades e em cadeias globais de suprimentos. Essa transição não é uniforme e atualmente ocorre sobretudo em experiências fragmentadas, enquanto há esforços de aprofundamento dessa transição ocorrendo em diversas partes do mundo. Dado que o conceito de economia circular é recente e as experiências práticas recém começam a incorporar um campo de conhecimento a ser aprofundado, não está limitado o conhecimento sobre como promover esta transição, mas já se pode extrair da literatura importantes fatores a serem observados.

A literatura atual mostra uma série de oportunidades quantificadas e testadas para o sucesso de uma economia circular, tanto em termos dos negócios como em benefícios ao planeta, observando potenciais de redução de consumo material, emissões atmosféricas, geração de emprego, restauração de capital natural e outros benefícios. Mas como se trata de uma transição que se pretende global, também se observam barreiras estruturantes que devem ser destravadas para gerar circularidade na economia. Uma transição demanda mudanças estruturais, como decisões estratégicas de desenvolvimento direcionado a setores não intensivos em recursos naturais, além de demandar revisão regulatória para favorecer a economia circular no setor produtivo. Há também a necessidade de reestruturação de cadeias produtivas e colaboração entre indústrias para lidar com os fluxos reversos de materiais, a necessidade de se gerar novos conhecimentos para pensar materiais e a economia, dentre outros fatores identificados como desafios para a economia circular funcionar na prática.

Para tratar da conceituação da economia circular, este capítulo se divide em quatro seções organizadas para abordar as origens, o conceito e o contexto atual da economia circular, bem como uma análise de fatores e barreiras para a transição de uma economia linear para uma circular.

A primeira seção aborda a história do conceito de linearidade versus circularidade na economia, suas origens conceituais e o contexto da aplicação prática atual. Nesta seção fica clara a diferenciação entre a experiência de economia circular na China de inícios do século e o que atualmente vem sendo trabalhado por instituições ligadas aos negócios, sobretudo avançadas na Europa.

A segunda seção aprofunda o conceito de economia circular, com base na literatura existente, buscando incorporar aquilo que se trabalhou na experiência chinesa e a nova visão do conceito. Também se aprofundam os princípios até o momento trabalhados para a construção de uma economia circular.

Tratando de transição para a economia circular, a terceira e a quarta seções trazem a visão da literatura sobre os fatores chave e as potenciais barreiras para promover uma mudança no modelo. Essa análise é orientada aos diferentes níveis em que a literatura define como aqueles em que ocorre a transição.

O tema deste capítulo é central nesta pesquisa e tem como objetivo aprofundar o conhecimento sobre a economia circular, a partir de uma análise da bibliografia existente, de maneira a dar as bases da pesquisa do Capítulo III, acerca das oportunidades para a transição dos metais para a economia circular.

## 2.4. Métodos e Procedimento da Pesquisa

Este capítulo tem como base metodológica a revisão bibliográfica sobre a economia circular com vistas a cumprir seu objetivo de conceituar e situar o tema para a análise que será feita no Capítulo III. A literatura selecionada para este capítulo contempla os seguintes tópicos: origens do conceito, contexto atual, fatores e barreiras para a transição.

Importante ponto de partida para a escolha da literatura foi o artigo “Circular economy: State of the art, promises and expectations”<sup>14</sup>, desenvolvido em 2014 por pesquisadores europeus da Dalarna University, na Suécia, única publicação acadêmica encontrada com uma revisão do estado da arte sobre a economia circular. Esse estado da arte funcionou como um guia, embora não exclusivamente, para as pesquisas por autores para atender aos tópicos deste Capítulo.

Para dissertar sobre as origens da economia circular, foram escolhidos os autores comumente mencionados em todos os artigos e publicações que analisam as origens do tema, notadamente Boulding (1966), Georgescu-Roegen (1971) e Turner & Pearce (1989) que aplicam as leis da Termodinâmica na análise da economia, considerando esta como parte do sistema fechado do planeta. Além disso também foram buscadas as referências das principais escolas de pensamento consideradas na literatura como origens da economia circular, tais como ecologia industrial, design regenerativo, economia do desempenho, “cradle-to-cradle” (do berço ao berço, em tradução livre para o português), biomimética e ecodesign.

Para abordar as origens e aplicações práticas da economia circular, é imprescindível remeter à experiência chinesa, sobre a qual há extensa literatura acadêmica. Para este capítulo, foram selecionados os artigos científicos mais mencionados na literatura cujos temas se adequam ao tópico tratado em cada seção. Nesse sentido, o artigo de “estado da arte” foi importante filtro para a escolha dos autores, já que ali foram listados e caracterizados 58 artigos, grande parte sobre a experiência chinesa, de autores chineses ou não. É importante ressaltar que a produção científica originária na China muitas vezes é atrelada ao governo nacional do país e, portanto, isso deve ser considerado na leitura desses capítulos sempre que mencionadas fontes da literatura chinesa.

Diferentemente da vasta literatura acadêmica sobre a economia circular na China, há poucas fontes científicas que conceituam o tema ou abordam experiências em outras partes do mundo, sendo a maior parte das publicações mais recentes existentes (notadamente na Europa) geradas por organismos e instituições não acadêmicas. Dado que o conceito de economia circular se expandiu nos anos recentes em relação à aplicação chinesa, com impulso sobretudo de países europeus, essas fontes foram bastante utilizadas neste capítulo, tanto para trazer o conceito, contexto atual e princípios como para identificar fatores e barreiras para a transição para a economia circular, tema que vem sendo tratado com afinco por instituições ligadas aos setores dos negócios, organismos das Nações Unidas, governos e outras instituições de pesquisa nos últimos anos.

---

<sup>14</sup>Ghisellini, P.; Cialani, C.; Ulgiati, S. (2014). Disponível em <http://du.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A742643&dswid=7594>



O amplo uso de fontes ligadas aos setores dos negócios (como Fundação Ellen MacArthur, Fórum Econômico Mundial<sup>15</sup> e Accenture<sup>16</sup>) se justifica porque elas são responsáveis pela rápida expansão da literatura recente sobre o tema e também porque muitos esforços vêm sendo feitos por elas em torno de analisar as experiências práticas de diferentes setores da economia, trazendo à luz aspectos importantes de sucesso e desafios já conhecidos, que são relevantes para o objetivo desta dissertação. Sobre as fontes ligadas ao setor dos negócios e às indústrias nesta pesquisa, é importante ressaltar que quase sempre revelam um posicionamento favorável à economia circular por considerar que operar em um modelo circular em relação ao linear é mais eficiente, menos arriscado (ao reduzir exposição a vulnerabilidades decorrentes da dependência da economia ao uso de recursos naturais finitos) e com potencial de gerar crescimento econômico ao passo que reduz os impactos ao ambiente.

Por ser um capítulo que introduz um tema ainda pouco explorado na literatura acadêmica (notadamente no Brasil) e, portanto, trazendo um grande número de novos conceitos (como princípios, fatores e barreiras para a transição) que serão utilizados no Capítulo III, cada uma dessas seções deste capítulo é finalizada com uma tabela de resumo dos novos conceitos abordados.

## 2.5. Origens e contexto atual do conceito de economia circular

O conceito de economia circular tem origem e inspiração em diversas escolas de pensamento e não se tem uma data ou autor definidos para seu surgimento e a ideia central do conceito, comum a muitas escolas de pensamento, é centrada em aplicar conhecimentos e padrões de sistemas vivos à economia industrial de maneira a manter fluxos circulares de materiais nos sistemas de produção e consumo. Essa ideia foi apresentada inicialmente em 1966 por Kenneth E. Boulding, no ensaio “The Economics of the Coming of the Spaceship Earth” (A Economia da Nave Espacial Terra, em tradução livre para o português), que ressalta o planeta Terra como um sistema econômico fechado, em que economia e ambiente tem ligações circulares e não lineares (Boulding, 1966). Boulding utiliza noções da Primeira Lei da Termodinâmica, que trata da conservação de energia em sistemas fechados.

A aplicação de princípios da Termodinâmica na análise da economia também foi amplamente trabalhada por Georgescu-Roegen (1971), remetendo à Segunda Lei da Termodinâmica, que trata da entropia dos sistemas, ou seja, o grau de irreversibilidade dos sistemas fechados, que ocorre por conta da desordem natural dos sistemas. Segundo essa análise, o sistema econômico, como qualquer sistema que ocorre no planeta, tende a degradar

---

<sup>15</sup> O Fórum Econômico Mundial foi fundado em 1971 como uma fundação sem fins lucrativos, com sede em Genebra, Suíça. Segundo informações públicas do próprio “website” do Fórum, é uma instituição independente, imparcial e não está vinculada a quaisquer interesses especiais, trabalhando em estreita colaboração com todas as principais organizações internacionais no empenho de melhorar o estado do mundo através da cooperação público-privada. Engaja líderes políticos, empresariais, acadêmicos e outros da sociedade em esforços colaborativos para desenhar agendas globais, regionais e da indústria ([www.weforum.org](http://www.weforum.org)).

<sup>16</sup> Accenture é uma das maiores empresas do mundo (estando na lista da Fortune Global 500, que lista as 500 maiores organizações do mundo em receitas), oferecendo consultoria de gestão, tecnologia e “outsourcing”, com aproximadamente 319 mil empregados, escritórios e operações em mais de 200 cidades em 56 países, receita líquida de \$ 30,0 bilhões (ano fiscal de 2014). Trata-se de uma empresa que lida com clientes de diferentes indústrias e setores (governos, terceiro setor, cooperação internacional, bancos, etc.) e produz ativos de conhecimento a partir de pesquisas e experiências práticas de projetos nesses clientes. A empresa existe há mais de 60 anos, tendo surgido no campo da tecnologia da informação com o nome de Andersen Consulting, então formada por entidades independentes ao redor do mundo. Em 1989 a Accenture é estabelecida como uma das entidades da Andersen Consulting e, em 2001, se desliga legalmente do grupo passando a ser uma empresa global de capital aberto.

os recursos naturais e poluir o ambiente e o rápido avanço econômico (no modelo linear) acelera esse processo de degradação de maneira irreversível (Georgescu-Roegen, 1971).

Contribuição importante foi dada pelos economistas Turner & Pearce (1989), que utilizam conceitos das leis da termodinâmica apresentados por Boulding (1966) e Georgescu-Roegen (1971) para desenvolver um modelo teórico de economia circular, também chamado de “modelo do equilíbrio de materiais”, que funciona com ciclos fechados de materiais e energia e em que os ambientes naturais tem três funções econômicas específicas: fonte de recursos, sumidouro de resíduos e provedor de utilidades estéticas e contemplativas aos seres humanos<sup>17</sup>. Segundo eles, essas funções do ambiente deveriam ser precificadas porque tem alto valor econômico e, ao não terem um preço de mercado nos sistemas econômicos lineares, essas funções são danificadas (com a poluição, por exemplo) (Turner & Pearce, 1989). Outros autores mais recentes também tratam da questão de internalizar os custos socioeconômicos das externalidades em uma economia circular como forma de encorajar melhor uso e conservação de recursos naturais e de mitigar a degradação ambiental, como visto em autores como Andersen (2007) e Yong (2007).

Diversos autores, como visto em Preston<sup>18</sup> (2012), remetem origens da economia circular na noção de Ecologia Industrial, que emergiu na década de 1970 e que ainda hoje é bastante trabalhada (Preston, 2012; Ellen MacArthur Foundation, 2013). A “International Society for Industrial Ecology”<sup>19</sup> (Sociedade Internacional para a Ecologia Industrial, em tradução livre para o português), determina que o campo da Ecologia Industrial tem origem no artigo de Frosch & Gallopoulos (1989) “Strategies for Manufacturing” (Estratégias para a Manufatura, em tradução livre para o português), o primeiro a sugerir a necessidade de um “ecossistema industrial”, em que “o uso de energias e materiais é otimizado, resíduos e poluição são minimizados, e há um papel economicamente viável para cada produto de um processo de fabricação” (Frosch & Gallopoulos, 1989). A Ecologia Industrial é um campo que analisa os fluxos de materiais e energia nos sistemas industriais de forma a promover processos de ciclo fechado (“closed loops”) em que perdas são consideradas insumos, e não resíduos, eliminando a geração de subprodutos indesejáveis. Adota uma visão sistêmica da economia industrial, pensando produtos e processos adequados às capacidades e limites ecológicos locais e considerando seus impactos globais desde o princípio a fim de desenhá-los de maneira a garantir

---

<sup>17</sup> Adicionalmente às Leis da Termodinâmica, outros conceitos das ciências da natureza contribuem hoje com a noção de economia circular, como é o caso da Lei de Conservação de Massas, atribuída inicialmente ao cientista russo Mikhail Lomonossov (1760) e posteriormente difundida pelo o cientista francês Antoine Lavoisier (hoje sendo conhecida como Lei de Lavoisier). Embora a literatura que aborda as origens da economia circular não mencione essa Lei, esse conceito será importante no Capítulo III ao tratar da economia circular na mineração e, portanto, nas cadeias produtivas dos metais. A Lei de Conservação de Massas somente aparece relacionada à economia circular no relatório do Painel Internacional para a Gestão Sustentável de Recursos (ou Painel de Recursos), do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), intitulado “Metal Stocks in Society”, (Estoques de Metais na Sociedade), como será mais trabalhado no Capítulo III. (Disponível em: [https://d396qusza40orc.cloudfront.net/metals/1\\_UNEP\\_report1\\_Stocks\\_100920.pdf](https://d396qusza40orc.cloudfront.net/metals/1_UNEP_report1_Stocks_100920.pdf))

<sup>18</sup> Felix Preston é pesquisador do time de Energia, Meio Ambiente e Governança de Recursos da Chatham House, trabalhando no tema de desenvolvimento de baixo carbono, transformação industrial e o papel de tecnologias disruptivas. Chatham House é uma instituição baseada no Reino Unido e há 90 anos é base do “Royal International Institute of International Affairs”, tendo como missão “ser uma fonte líder mundial de análise independente, debate informado e ideias influentes sobre como construir um mundo próspero e seguro para todos” (<http://www.chathamhouse.org/>).

<sup>19</sup> A “International Society for Industrial Ecology” foi formada em 2001 por líderes de diversos setores interessados em promover a Ecologia Industrial como uma forma de encontrar soluções inovadoras para os problemas ambientais relativos à economia. A missão da ISIE é promover o uso de Ecologia Industrial na pesquisa, educação, política, desenvolvimento comunitário e nas práticas industriais. É afiliada à Escola de Estudos Florestais e Ambientais da Universidade de Yale.

desempenho próximo àquele dos sistemas vivos (Frosch & Gallopoulos, 1989; Ellen MacArthur Foundation, 2013). Essa noção de Ecologia Industrial é muito próxima às primeiras aplicações práticas denominadas de economia circular, que ocorreram na China, no início dos anos 2000 com o desenvolvimento de Parques Ecológicos Industriais e de conceitos de Simbiose Industrial (Preston, 2012; Ghisellini, Cialani, & Ulgiati, 2014; IS4IE, 2015).

Em busca de lidar com os graves problemas ambientais – escassez de recursos, poluição, desertificação, erosão dos solos, dentre outros – sociais e à saúde humana causados por seu modelo de desenvolvimento, a China declarou sua entrada na economia circular a partir da promulgação de legislações sobre produção limpa e avaliação de impacto ambiental. O país inseriu o conceito de uma economia industrial de reciclagem nos planos de desenvolvimento federal e estaduais como forma de reconciliar a questão do desenvolvimento econômico com as questões ambiental e social. Essa estratégia de desenvolvimento chinesa, muito inspirada na Ecologia Industrial e pautada nos princípios dos 3Rs (redução, reuso e reciclagem) (Preston, 2012), como será mais detalhado na seção 3.5, aborda diferentes verticais de atuação prática amplamente trabalhados na extensa literatura sobre a experiência chinesa, promovendo transformações nas empresas e indústrias, formação de parques industriais ecológicos, infraestrutura urbana e aspectos culturais e educacionais sobre o consumo (Zhijun & Nailing, 2007).

Os princípios de Ecologia Industrial, ciclos fechados e eliminação do conceito de resíduo e os 3Rs aparecem amplamente na literatura sobre as origens da economia circular, bem como em regulações que foram emergindo em países como Alemanha e Japão<sup>20</sup> para tratar dos temas de resíduos e fechamento de ciclos produtivos e que influenciaram a abordagem chinesa de formação de uma economia industrial de reciclagem (Yuan, Bi, & Moriguchi, 2006; Yong, 2007; Preston, 2012; Ghisellini, Cialani, & Ulgiati, 2014).

Mais recentemente, a economia circular, tal qual é compreendida atualmente (a ser conceituada na próxima seção) ganhou novo delineamento em relação àquele trabalhado na China, tendo como ator fundamental nessa conceituação a Fundação Ellen MacArthur, que incorporou aos conceitos abordados acima o conhecimento de outras escolas de pensamento: design regenerativo, economia do desempenho, “cradle-to-cradle” (do berço ao berço, em tradução livre para o português) e biomimética (Ellen MacArthur Foundation, 2013), brevemente detalhados nos parágrafos a seguir.

A escola de pensamento do design regenerativo emerge na década de 1970, nos Estados Unidos, com o Professor John Tillman Lyle (1934-1998), que lançou a seus alunos um desafio de pensar uma sociedade capaz de viver dentro dos limites dos recursos renováveis disponíveis e sem degradação ambiental. Durante décadas foram realizadas pesquisas sobre as possibilidades de viabilizar uma comunidade que vivesse apenas com recursos locais, movida por energia renovável e operada por processos de base biológica, que são as bases para os conceitos do Design Regenerativo (California State Polytechnic University, 2006). Esse pensamento se estruturou no Centro de Estudos Regenerativos, na década de 1990, e os principais princípios básicos se encontram no livro “Regenerative Design for Sustainable Development” (Design Regenerativo para o Desenvolvimento Sustentável, em tradução livre para o português), de autoria de Lyle (Lyle, 1994).

A economia do desempenho é alavancada por Walter Stahel, arquiteto e analista industrial, e tem como marco inicial o lançamento de sua publicação para a então Comissão das Comunidades Europeias, em 1976, chamada “The Potential for Substituting Manpower for Energy” (O Potencial para Substituir Força de Trabalho por Energia, em tradução livre para o português), com uma visão sobre a economia em ciclos fechados (“closed loops”) e impactos

---

<sup>20</sup> Como mencionado em Preston (2012), Lei Básica do Japão para Estabelecimento de uma Sociedade baseada em Reciclagem, de 2000, uma atualização de lei anterior de 1991 e legislação da Alemanha, Lei de Gestão de Resíduos em Ciclos Fechados de Substâncias, de 1994.

na criação de empregos, competitividade econômica, economia de recursos e prevenção de perdas. O reporte é considerado uma das primeiras reflexões pragmáticas em sustentabilidade e tem como principais objetivos tratar da extensão de ciclo de vida de produtos, bens de longa vida, recondicionamento de atividades produtivas e prevenção de perdas. O conceito também trata da importância de migrar a economia para a função de serviços em oposição à ideia de venda de produtos e tem como base institucional o Product-Life Institute<sup>21</sup>, em Geneve, fundado por Stahel (Product-Life Institute, 2013).

O conceito “cradle-to-cradle” foi cunhado e desenvolvido pelo Professor Dr. Michael Braungart, químico, em parceria com o arquiteto William McDonough, e emerge como filosofia de design de produtos e processos de transformação em oposição ao paradigma linear “cradle-to-grave” (do berço ao túmulo, em tradução livre para o português). Considera todos os materiais utilizados nos processos industriais e comerciais desenvolvidos pelos seres humanos como nutrientes técnicos ou biológicos capazes de entrarem perpetuamente em ciclos de metabolismos dessas duas categorias, eliminando o conceito de resíduo. Baseado na ideia de design intencional, ou seja, que visa a causar impactos positivos no ambiente e nos meios social e econômico, os princípios de design “cradle-to-cradle” propõem uma agenda positiva de inovação contínua para endereçar os problemas ambientais, sociais e econômicos do design e uso de produtos e serviços, de maneira a permitir causar pegada positiva e benéfica na sociedade e no ambiente em oposição à tradicional visão da indústria de redução do impacto negativo. Dessa forma, uma importante diferenciação é feita pelos autores entre os termos ecoeficiência e ecoefetividade: o primeiro está inserido na visão linear de produção e suas técnicas visam a minimizar o volume, velocidade e toxicidade de materiais utilizados nos sistemas industriais, mas são incapazes de alterar sua linearidade, pois, mesmo que muitas vezes promovam reciclagem de materiais, trata-se de reaproveitamento de materiais em fim de vida, na maioria das vezes reduzindo a qualidade e limitando o uso dos mesmos em novos ciclos (processo chamado “downcycling”) porque não foram desenhados para uma reciclagem positiva; a ecoefetividade, por outro lado, propõe a transformação de produtos e seus respectivos fluxos de materiais de maneira que entrem em ciclos de metabolismo “berço-a-berço” que permite que os materiais mantenham-se na qualidade de recursos e acumulem inteligência ao longo dos ciclos (processo chamado de “upcycling”), suportando, dessa forma, relações entre ecossistemas ecológicos e prosperidade econômica de longo prazo (McDonough & Braungart, 2002). O conceito tornou-se uma certificação de produtos (Cradle to Cradle™) e um “framework” de design de processos e produtos que apresenta toda a criação humana dentro dos ciclos biológico e técnico, com reutilização contínua de materiais, aplicação de energia renovável e manutenção de água limpa, como direitos naturais dos seres humanos, celebrando a diversidade dos ecossistemas saudáveis (C2CCertified, 2014).

O conceito de biomimética é uma abordagem científica para promover processos humanos sustentáveis ao imitar a inteligência da natureza na busca de soluções para os desafios humanos. Foi cunhado pela cientista natural Janine Benyus e é abordado em seu livro “Biomimicry: Innovation Inspired by Nature” (Biomimética: Inovação Inspirada na Natureza, em tradução livre para o português) e é baseado na ideia de que a natureza já inventou soluções para os problemas com os quais a humanidade lida e, portanto, é possível promover processos, produtos e políticas e todo um estilo de vida compatível e adaptado ao sistema do planeta no longo prazo

---

<sup>21</sup> O Product-Life Institute foi fundado em 1982 e tem como foco desenvolver estratégias práticas e abordagens para produzir mais riqueza real e crescimento econômico com reduzido consumo de recursos, criar mais empregos manuais e qualificados com grande redução no consumo de recursos e promover os conceitos de negócio da Economia Funcional de Serviços que incide sobre o desempenho dos produtos e serviços, o valor de utilização como noção central do valor econômico e as iniciativas do setor privado para financiar obras públicas. O instituto é independente e é sustentado a partir da prestação de serviços (consultorias, palestras, estudos, workshops, etc) a diferentes setores, como indústrias, governos e universidades.

utilizando as estratégias e padrões aprendidos da natureza (Benyus, 1997). Um exemplo de aplicação prática é a utilização de padrões de folhas, que realizam fotossíntese a partir da luz solar, para a produção de painéis solares mais eficientes, dentre outras soluções inspiradas na natureza<sup>22</sup> (The Biomimicry Institute, 2014).

Os conceitos e escolas de pensamento descritos acima são atualmente reconhecidos pelos principais organismos de fomento à economia circular como suas bases fundamentais. Cabe ainda ressaltar neste trabalho outra escola que também é relevante no campo de pensamento de uma nova economia mais sustentável, que é o da economia ecológica, já mencionada anteriormente. Trata-se de um campo do saber transdisciplinar que surge na década de 1980 e que visa a entender as interconexões entre a “economia convencional” e a “ecologia convencional” frente às demandas globais por resolver a “questão ambiental” que se impôs frente à insustentabilidade do modelo desenvolvimentista linear praticado pela sociedade (ECOECO).

Analisando as origens do tema da economia circular, fica clara a existência de duas abordagens principais – uma mais focada na realidade chinesa, típica de um estágio de desenvolvimento industrial intenso em uso de recursos naturais e indústrias pesadas, além de em meio a um forte processo de urbanização (Ghisellini, Cialani, & Ulgiati, 2014), o que traz para o centro da discussão da economia circular questões de produção mais limpa e formação de parques industriais, sendo, por fim, uma opção estratégica de desenvolvimento econômico (Zhijun & Nailing, 2007; Yong, 2007); outra mais centrada nas experiências europeia e japonesa, típicos de estágios mais avançados de industrialização, centrada na ideia de sistemas industriais que rodam em torno de soluções para a questão de resíduos e perdas e na preocupação com o uso de recursos naturais na economia (Preston, 2012; Ellen MacArthur Foundation, 2013; Accenture, 2014).

O tema ganhou atenção em diferentes esferas da economia como alternativa viável para reconciliar a questão do desenvolvimento econômico com os limites planetários. Importante foco passou a ser dado por organismos ligados ao setor dos negócios, sendo o Fórum Econômico Mundial (aqui também mencionado como “Fórum”) o principal catalisador e impulsionador do conceito, levando-o à esfera da ação prática para a transição, sobretudo a partir de 2012, quando esforços de articulação com o setor dos negócios passam a compor a agenda do Fórum e seus eventos. Esses esforços estão diretamente atrelados ao trabalho da Fundação Ellen MacArthur, organização sem fins lucrativos baseada no Reino Unido que, desde 2010, dedica esforços no delineamento do conceito na crença de que ela provê um importante “framework” para repensar e redesenhar, em um nível sistêmico, a economia para que se torne positiva e restaurativa (Ellen MacArthur Foundation, 2012)<sup>23</sup>.

Essas duas instituições vêm atuando em colaboração com outras empresas, universidades e governos, gerando também importante conhecimento e estudos de caso de sucesso, entendendo as oportunidades de aplicação prática, os impactos e benefícios nos diferentes

---

<sup>22</sup> Principal instituição global de fomento à Biomimética, o The Biomimicry Institute é uma organização sem fins lucrativos, fundada em 2006 por Janine Benyus e Bryony Schwan cuja missão é nutrir e desenvolver uma comunidade global de biomimetismo com pessoas que estão aprendendo a partir do aprendizado com a natureza para promover soluções aos desafios humanos em um planeta mais saudável e mais sustentável. Funciona a partir de doações e atua formando redes regionais e globais, promovendo e distribuindo conhecimento de Biomimética. Desde 2010, a partir da parceria com uma empresa de consultoria, formou a Biomimicry 3.8, que atua em consultoria com fins de lucro, enquanto o The Biomimicry Institute segue sendo uma organização sem fins lucrativos.

<sup>23</sup> Outras instituições que fomentam a economia circular no desenvolvimento de metodologias e iniciativas que possibilitam a transição de uma economia linear com ganho de escala, assegurando o envolvimento do setor dos negócios e também de governos e organismos internacionais são consultorias com expertise em sustentabilidade que abriram frentes de pesquisa específicas para a economia circular, notadamente, Accenture (Accenture, 2014) e McKinsey & Company (McKinsey & Company, 2014).

setores, de forma a delinear ações em escala local e global para pautar a transição para a economia circular<sup>24</sup>. Com esses esforços, o tema da economia circular, cuja produção de conteúdo antes estava limitada à literatura acadêmica sobre a experiência chinesa, permitiu ampliar a literatura e o conhecimento sobre o tema, como ressalta Charonis (2012)<sup>25</sup>.

Não obstante, fica claro que grande parte desses recentes esforços de implementação prática ainda está muito centrada no mundo industrializado, uma vez que as pesquisas, entrevistas e principais empresas, instituições e governos que se associaram ao movimento da economia circular estão localizadas e centradas sobretudo na Europa, deixando clara a necessidade de expandir tais estudos para outras economias e realidades para viabilizar uma transição verdadeiramente sistêmica da economia, o que dá relevância ao presente estudo.

## 2.6. Conceito e princípios da economia circular

A noção de que o paradigma linear da economia, baseado em um modelo de “extração-transformação-descarte” de recursos, é insustentável, como explicitado no Capítulo I, traz à luz a necessidade de redesenhar a economia em um paradigma distinto e sustentável. A economia circular vem sendo tratada por alguns autores da academia e diferentes setores da economia como uma resposta a essa necessidade a fim de promover, em última instância, desenvolvimento sustentável. De maneira geral, a literatura mostra a economia circular como uma maneira de promover prosperidade econômica dissociada do uso de recursos naturais escassos e de modelos lineares de produção e consumo que geram impactos negativos ao ambiente e às sociedades (Zhijun & Nailing, 2007; Preston, 2012; Ellen MacArthur Foundation, 2013).

Tanto na literatura que teoriza o tema quanto na prática (em políticas ou em aplicações nos negócios) o conceito emerge como uma resposta a crescentes pressões ambientais (por exemplo, poluição, degradação ambiental, perda de biodiversidade, mudanças climáticas) e socioeconômicas (como volatilidade de preços e escassez de recursos naturais, equilíbrio entre crescimento econômico e pressões ao ambiente, padrões de produção e consumo sustentáveis) (Yuan, Bi, & Moriguchi, 2006; Zhijun & Nailing, 2007; Charonis, 2012; Ghisellini, Cialani, & Ulgiati, 2014), sendo um modelo para reconciliar as atividades de produção e consumo humanas com as dinâmicas dos ambientes naturais e seus fluxos não lineares, mas circulares,

---

<sup>24</sup>Como iniciativas de destaque dessa atuação conjunta, destacam-se: (i) a série de estudos “Towards the Circular Economy” (Rumo à economia circular, em tradução livre para o português), em três volumes lançados em 2012, 2013 e 2014 pela Fundação Ellen MacArthur em parceria com o Fórum Econômico Mundial e com análises da McKinsey & Company; (ii) o desafio The Circulars, em parceria entre o Fórum, a Fundação Ellen MacArthur e a Accenture, que tem objetivo de identificar e premiar casos de sucesso de economia circular em diferentes setores e atuações ([www.thecirculars.org](http://www.thecirculars.org)); (iii) o *paper* “Circular Advantage: Innovative Business Models and Technologies to Create Value in a World without Limits to Growth” (Vantagem Circular: Modelos de Negócio e Tecnologias Inovadoras para Gerar Valor em um Mundo sem Limites para Crescer, em tradução livre para o português), lançado pela Accenture em 2014; (iv) a plataforma CE100, coordenada pela Fundação Ellen MacArthur e que reúne líderes de empresas, negócios inovadores e geografias para acelerar a transição prática para a economia circular; bem como (v) grandes eventos globais que vem sendo realizados com foco na economia circular, com destaque para o Disruptive Innovation Festival (<http://thinkdif.co>), que teve sua primeira versão em 2014, e o Resource (<http://www.resource-event.com/>), que será em 2015.

<sup>25</sup> Em seu artigo “Degrowth, steady state economics and the circular economy: threedistinctyetincreasinglyconvergingalternativediscoursestoeconomicgrowth for achieving environmental sustainability and social equity” (Decrescimento, economia de estado estacionário e economia circular: três discursos distintos, mas cada vez mais convergentes, alternativos ao crescimento econômico para atingir a sustentabilidade ambiental e a equidade social, em tradução livre para o português), publicado em 2012, Charonis menciona que, ao contrário dos discursos do decrescimento e da economia de estado estacionário, que tem ampla literatura de base, a economia circular ainda tinha pouco avanço na formulação teórica, embora já apresentasse avanços nas aplicações práticas e seus benefícios.

em que não existe o conceito de resíduo, mas sim o de alimento (McDonough & Braungart, 2002). Propõe, segundo a literatura, modelos para crescimento econômico qualitativo e não quantitativo, em consonância com a consciência de que o consumo ilimitado de recursos naturais em um planeta finito é impossível (Ghisellini, Cialani, & Ulgiati, 2014).

Delimitar o conceito de economia circular e promover um comum entendimento do mesmo e seus componentes chave é crucial para a tomada de ações práticas por parte dos diferentes atores locais e globais, encorajar cooperação e evitar confusões na implementação para, por fim, ganhar escala para promover uma verdadeira transição do sistema econômico linear (Preston, 2012). Esta seção aborda os conceitos usados nas principais abordagens teóricas e práticas da economia circular (principalmente a visão chinesa e a visão europeia) e os princípios que a norteiam.

Na experiência chinesa, a economia circular entra na legislação básica do país como uma estratégia de desenvolvimento econômico “baseada na circulação ecológica de materiais naturais, no cumprimento de leis ambientais e na utilização racional dos recursos naturais” (Zhijun & Nailing, 2007) e tem como base os princípios dos 3Rs de redução, reuso e reciclagem de materiais nos processos de produção, circulação e consumo de bens, caracterizando a visão chinesa do tema sobretudo ao redor de produção mais limpa e desenvolvimento de parques industriais (Preston, 2012; Zhijun & Nailing, 2007; Ghisellini, Cialani, & Ulgiati, 2014), o que fez com que essa prática recebesse muitas vezes o nome de “economia da reciclagem” e “sociedade da reciclagem” (Yong, 2007). Entretanto, como visto na seção 2.4, o conceito se expandiu nos anos recentes com os esforços dos setores ligados aos negócios e também por ter recebido uma leitura a partir dos países industrializados europeus, ganhando um aspecto mais amplo de sistemas industriais restaurativos que pensam a questão dos recursos naturais como um todo (Ellen MacArthur Foundation, 2013).

A diferença entre essas abordagens fica clara em algumas publicações relevantes do tema. No reporte de 2005 do “China Council of International Cooperation on Environment and Development” (Conselho Chinês de Cooperação Internacional em Meio Ambiente e Desenvolvimento, em tradução para o português) (2005), se define “a economia circular é um modelo de desenvolvimento econômico que objetiva proteção ambiental, prevenção de poluição e desenvolvimento sustentável através da conservação de recursos naturais” (CCICED, 2005). Já o relatório da Fundação Ellen MacArthur de 2012, considera que “embora ainda seja uma construção teórica, a economia circular denota uma economia industrial que é restaurativa por intenção e design. Em uma economia circular, produtos são desenvolvidos para facilitar o reuso, desmontagem, remodelagem ou reciclagem, com o entendimento de que é no reuso de vasta quantidade de materiais recuperados de produtos em fim de vida útil, e não da extração de recursos, que está o fundamento para o crescimento econômico” (Ellen MacArthur Foundation, 2013). E também a definição da Comissão Europeia, em 2014, que determina que “a economia circular preserva o valor adicionado aos produtos pelo maior tempo possível e virtualmente elimina resíduos. Mantém os recursos dentro da economia quando um produto alcançou seu fim de vida útil, para que eles se mantenham em uso produtivo e possam continuar gerando valor” (European Commission, 2014).

As principais ações destacadas nas literaturas de economia circular são em torno da extensão da durabilidade de produtos, eliminação de materiais tóxicos substituindo por outros não tóxicos, desenvolvimento de ecodesign<sup>26</sup> na concepção dos produtos, a criação e fortalecimento de mercados de materiais reciclados, a redução da geração de resíduos e

---

<sup>26</sup>Uma notável definição de Ecodesign é dada pela Comissão Europeia: “considerar todos os impactos ambientais de um produto desde os primeiros estágios de design/desenvolvimento. Isso evita, em particular, planejamento descoordenado de produtos (por exemplo, eliminar uma substância tóxica não deveria levar a um maior consumo de energia, o que, ao fim, levaria a um maior impacto no ambiente)” (Prendeville, Sanders, Sherry, & Costa, 2014).

separação de alta qualidade dos materiais em fim de vida útil por parte de consumidores, incentivos e otimização de custos de reciclagem e reuso, apoio à simbiose industrial ou a ecossistemas industriais, o desenvolvimento de novos modelos de negócio, incluindo consumo colaborativo e colaboração intersetorial (ver seção 2.6) (Preston, 2012; Ellen MacArthur Foundation, 2013; European Commission, 2014; Accenture, 2014).

A economia circular estabelece novas maneiras de pensar os fluxos de materiais na economia. No sistema linear atual, recursos naturais são extraídos da natureza, transformados, comercializados, consumidos e descartados ao fim de vida como resíduos, o que significa um grande volume de materiais virgens constantemente sendo extraídos da natureza para satisfazer aos ciclos da economia. Nesse modelo, mesmo os esforços de reciclagem de resíduos e de uso eficiente de recursos não significam uma redução sobre a pressão por mais recursos naturais virgens e a deposição de volumes de resíduos, tóxicos ou não, na natureza para que atue como sumidouro (Turner & Pearce, 1989; Preston, 2012; Ellen MacArthur Foundation, 2013).

Na economia circular, o fluxo de materiais e energia é fechado – remontando aos conceitos de ciclo fechado (“closed loop”)<sup>27</sup> e “cradle-to-cradle” mencionados na seção anterior – de maneira que recursos naturais finitos (como, por exemplo, metais e minerais) sejam capturados e reinseridos em novos ciclos sem perda de qualidade (Preston, 2012; Ellen MacArthur Foundation, 2013; Accenture, 2014; Prendeville, Sanders, Sherry, & Costa, 2014). Envolve gestão cuidadosa de todos os fluxos de materiais que são colocados, transformados e utilizados na economia e, para isso, uma importante contribuição conceitual foi dada pela escola de pensamento “cradle-to-cradle” de que todos os materiais utilizados nos processos industriais e comerciais desenvolvidos pelos seres humanos são nutrientes técnicos ou biológicos capazes de entrarem perpetuamente em ciclos de metabolismos dessas duas categorias. Os biológicos são desenhados de forma (McDonough & Braungart, 2002) a reingressarem na biosfera de maneira segura, sem toxicidade, e são capazes de reconstruir capital natural, enquanto os técnicos devem ser desenhados para circular na economia com alta qualidade no máximo de ciclos possíveis sem retornarem à biosfera como resíduos. A Fundação Ellen MacArthur, ao se apropriar dessa noção de ciclos metabólicos de nutrientes técnicos e biológicos desenvolveu um compreensivo esquema que mostra como esses ciclos se comportam e são geridos para promover a economia circular (o comportamento dos ciclos de nutrientes biológicos e técnicos será ilustrado adiante).

Além da visão de materiais como nutrientes técnicos ou biológicos, que foi uma importante contribuição para esquematizar um modelo da visão ampliada economia circular, é importante ressaltar os princípios fundamentais que aparecem em diversas literaturas do tema e também princípios que foram sendo expandidos e trabalhados por diversos autores e que ajudam a compreender o conceito mais atual de economia circular. Como princípios básicos e operacionais estão os 3Rs, ou a noção de redução, reuso e reciclagem, amplamente utilizados em muitas das literaturas sobre economia circular, sobretudo nas origens práticas na China (Zhijun & Nailing, 2007; Preston, 2012; Yong, 2007). A estes, se somam outros princípios trabalhados por um número de autores, como resiliência na diversidade, resíduo como alimento, uso de energias renováveis, pensamento sistêmico, consumo colaborativo e responsabilidade

---

<sup>27</sup> Os conceitos de “closed loop” e economia circular tem muitas sinergias – ambos remetem ao ciclo reverso de materiais em sistemas de ciclo reverso, remanufatura, reparo, recuperação, reciclagem e reuso. A diferença, segundo Prendeville *et al* (2014) é que o conceito de economia circular, mais amplo que o de “closed loop”, considera a prosperidade econômica, a promoção de energias renováveis, e as noções de restauração e recomposição de materiais na biosfera. O conceito de economia circular, portanto, contém o conceito de “closed loop”, mas não está limitado a ele, no que é tangível aos ciclos fechados de materiais (Prendeville, Sanders, Sherry, & Costa, 2014).



estendida do produtor<sup>28</sup> conforme explanado nos próximos parágrafos. Trata-se de um sistema que otimiza cada unidade de material que é inserido de maneira a reduzir a necessidade de inserir novas unidades de materiais virgens para seu funcionamento.

O princípio de redução objetiva minimizar os insumos e entradas de materiais e energia na economia através da melhora da ecoeficiência ou ecoefetividade (ver seção 2.4) dos materiais nos ciclos de produção e consumo. Isso pode ser obtido com a aplicação de novas tecnologias de desenvolvimento de produtos e embalagens, técnicas para garantir a extensão de vida útil de produtos, reduzindo assim a intensidade da demanda por materiais virgens, novos modelos de negócios que gerem valor através de *serviços* e promoção de *acesso* a bens em oposição à noção de venda de *volumes* e *posse* de bens, além de mudanças no estilo de vida e de consumo, incluindo a noção recentemente muito alavancada por Botsman (2011) de consumo colaborativo (Zhijun & Nailing, 2007; Botsman & Rogers, 2011; Preston, 2012; Ellen MacArthur Foundation, 2013; Accenture, 2014). A noção de eliminar resíduos desde a concepção dos produtos e serviços é especialmente trabalhada pelas escolas de pensamento do ecodesign (Prendeville, Sanders, Sherry, & Costa, 2014) e “cradle-to-cradle”, sendo que a segunda traz uma visão pautada na noção de materiais como nutrientes técnicos ou biológicos, conforme reiterado pelos estudos da Fundação Ellen MacArthur. Como os nutrientes biológicos são facilmente reaproveitados e reinseridos à biosfera por processo de compostagem por serem não tóxicos, maximizar o uso desses nutrientes na composição dos materiais que fluem pelo sistema, reduzindo o uso de nutrientes técnicos, é uma característica dos ciclos restaurativos da economia circular, segundo esse conceito. Já os nutrientes técnicos (ligas, polímeros, metais e outros materiais desenvolvidos pelo homem) devem ser minimizados e pensados para serem usados novamente com o mínimo de uso de energia e mantendo a máxima qualidade dos materiais (McDonough & Braungart, 2002; Ellen MacArthur Foundation, 2013; Accenture, 2014).

O princípio de reuso, utilizado em diversos padrões e regulações em diversos países<sup>29</sup>, se relaciona à reutilização de produtos ou componentes em sua integridade, sem passar por processos de transformação, para fins iguais ou semelhantes àqueles para os quais foram concebidos. Relacionam-se a esse princípio os novos modelos de negócio da economia circular que promovem geração de valor por serviços em oposição à venda de volumes, ao passo que permitem que empresas sejam donas desses produtos e prestem serviço aos consumidores que passam a ser “usuários” em vez de “donos” dos produtos, tendo o reuso no coração da estratégia de geração de valor das empresas (Ellen MacArthur Foundation, 2013; Accenture, 2014). Modelos de negócio que permitem colaboração entre pares (consumo colaborativo), seja entre consumidores ou entre empresas também tem forte relação com o princípio de reuso ao promover que um mesmo produto seja compartilhado por diversos usuários de redes de interesse (Botsman & Rogers, 2011; Ellen MacArthur Foundation, 2013; Accenture, 2014). Outra importante contribuição ao princípio de reuso é descrita na análise da Fundação Ellen MacArthur sobre as formas potenciais de recolocação de componentes de nutrientes técnicos

---

<sup>28</sup> A legislação brasileira (Lei 12.305/2010, Art. 31) utiliza o termo responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, definida como um “conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos”.

<sup>29</sup> Exemplos de definição desse princípio são encontrados na regulação da União Europeia como “qualquer operação em que produtos ou componentes que não são resíduos são usados novamente para o mesmo propósito para o qual foram concebidos” (Directive 2008/98/EC) e também na legislação brasileira, com algumas distinções – a Lei 12.305 de 2010 – Política Nacional de Resíduos Sólidos define reutilização como o “processo de aproveitamento dos resíduos sólidos sem sua transformação biológica, física ou físico-química, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes”.

em novos ciclos sem perda ou até com ganho de qualidade em relação a ciclos anteriores; isso pode ocorrer sobretudo com operações de remodelagem ou renovação (“refurbishment”) de produtos – em que um produto é recolocado em boas condições através da recolocação ou reparo apenas das partes em mau funcionamento – e operações de remanufatura – em que produtos em fim de vida de suas funções são desmantelados para reuso dos componentes que ainda estão em bom estado para formar um novo produto, evitando assim a perda de um produto inteiro (Ellen MacArthur Foundation, 2013). Para viabilizar operações de reuso, é preciso uma série de fatores que serão detalhados ao longo do capítulo.

O princípio da reciclagem, também amplamente difundido nas regulações de gestão de resíduos em diferentes países, se relaciona ao reaproveitamento e recuperação de materiais em fim de vida útil para serem transformados em outros materiais com fins iguais ou distintos dos originais, excluindo a recuperação para fins de geração de energia<sup>30</sup>. Aplicações práticas de reciclagem são largamente difundidas atualmente para diversos tipos de materiais, mas resultam em altas perdas de energia e trabalho contido nos produtos, em um tipo de processo chamado “downcycling”, em que “materiais são convertidos a outros de menor qualidade e reduzida funcionalidade” (Ellen MacArthur Foundation, 2013). Além disso, podem incorrer em grandes riscos à saúde humana e ao ambiente, como ocorre, por exemplo, no caso das cadeias globais de reciclagem de resíduos eletrônicos, que resultam em movimentos transfronteiriços de materiais perigosos e tóxicos constantes nos componentes desses produtos, grande parte das vezes em movimentos a partir de países industrializados para países em desenvolvimento na Ásia e África e caindo no mercado ilegal, onde não recebem tratamento adequado e impactam a saúde de pessoas e os ambientes locais, além de incorrerem em perdas desses materiais (Basel Convention, 1989; StEP Initiative, 2009; Bilitewski, 2012). Além disso, outras barreiras para a reciclagem são de natureza técnica, econômica e de infraestrutura: por exemplo, a reciclagem de alguns materiais, como alguns tipos de plástico, muitas vezes não é economicamente viável porque possuem contaminantes na formulação (Prendeville, Sanders, Sherry, & Costa, 2014); ou ainda, alguns materiais tem limitado número de ciclos possíveis (ex.: fibras de celulose) em relação a outros que tem capacidade ilimitada de reciclagem (ex.: metais) (WEF, 2014). Para se adequar o princípio de reciclagem a uma economia que é circular e regenerativa, a noção de “upcycling”, abordada por McDonough & Braungart (2002) e pela Fundação Ellen MacArthur (2013), em oposição à noção tradicional da reciclagem (ou “downcycling”), permite tratar os materiais em fim de vida útil ou resíduos como alimentos para novos ciclos em que retornam com melhor qualidade e melhor funcionalidade (McDonough & Braungart, 2002; Ellen MacArthur Foundation, 2013), o que também incorre em novos modelos de negócio, conforme será visto adiante.

Aos princípios básicos operacionais dos 3Rs, são adicionados por alguns autores o princípio da construção de sistemas resilientes através da diversidade para fundamentar a economia circular, com inspiração em sistemas vivos, cuja alta resiliência se dá por uma mistura variada de diversidade, complexidade e interconexões e, por consequência, gozam de abundância (e não escassez) de recursos (McDonough & Braungart, 2002). Sistemas lineares são construídos para serem eficientes e se baseiam em uniformidade e padronização, por isso são mais vulneráveis a choques externos (como visto no Capítulo I). Na economia circular,

---

<sup>30</sup> Na legislação brasileira (Lei 12.305/2010), reciclagem é definida como “processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes”. A regulação da União Europeia define como “qualquer operação de recuperação em que resíduos são reprocessados em produtos, materiais ou substâncias seja para o propósito original ou outros. Inclui o reprocessamento de materiais orgânicos, mas não inclui a recuperação energética e o reprocessamento para materiais que serão usados como combustível ou para operações de aterro” (Directive 2008/98/EC).

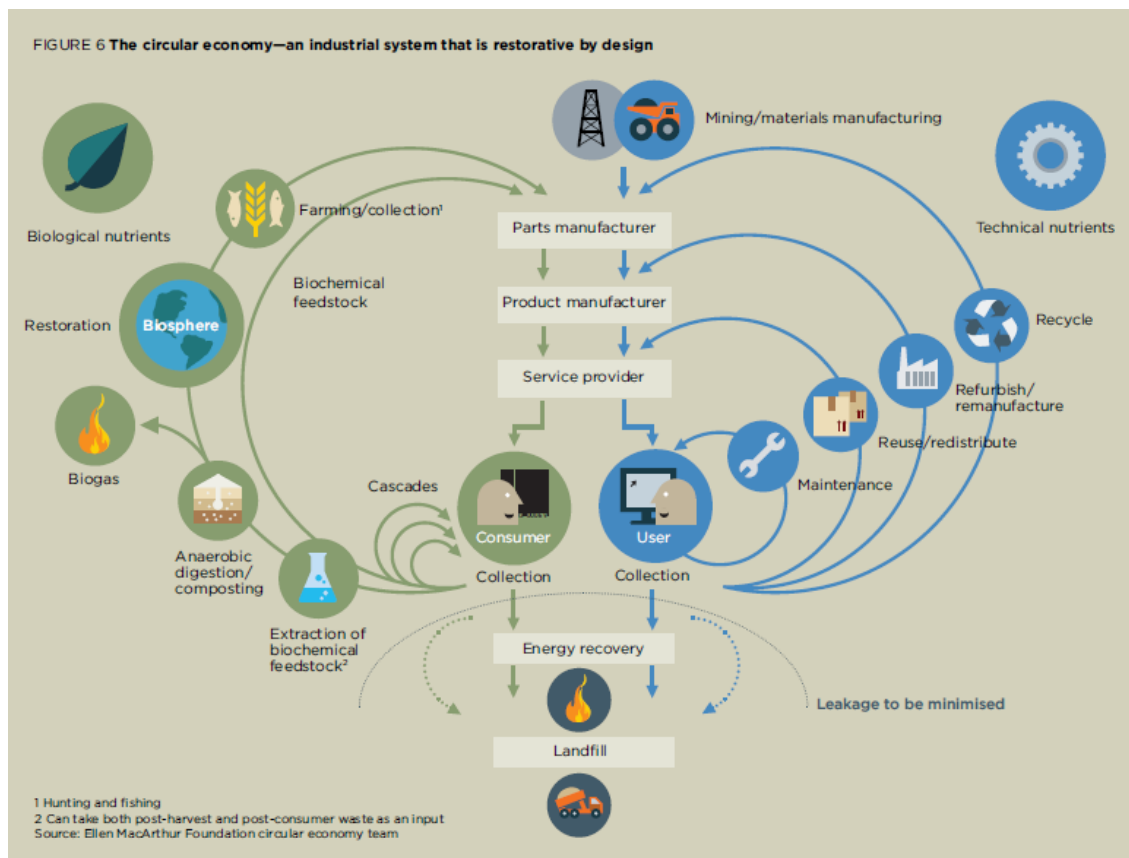
sistemas devem ser diversificados, direcionados à modularidade, versatilidade e adaptabilidade, com múltiplas conexões e escalas nas cadeias de valor (Ellen MacArthur Foundation, 2013).

O uso de energias renováveis como insumo para mover os sistemas na economia circular é um princípio primordial. Dado que o uso de energias não renováveis, como as fontes fósseis, é, por definição, um ciclo aberto, em que o recurso é extraído da biosfera e, depois de transformado e utilizado causando perdas e poluição e cumulativa na biosfera. Em uma economia circular, a energia que move o sistema deve ser renovável (Preston, 2012; Ellen MacArthur Foundation, 2013; Accenture, 2014).

O pensamento sistêmico é outro princípio básico da economia circular, que tem a ver com a visão de interconexão entre as partes e o todo em um sistema não linear. Trata-se de entender os fluxos de materiais na economia dentro de contextos sociais, ambientais e de infraestrutura, que combina entradas imprecisas e diversas com múltiplos “feedbacks” do sistema que resultam em saídas não necessariamente proporcionais às entradas (Ellen MacArthur Foundation, 2013). O pensamento sistêmico foca, portanto, em projetar fluxos de materiais e conexões de longo prazo que tenham potencial regenerativo para o sistema, em vez de focar em partes isoladas e no curto prazo, como ocorre nos sistemas lineares.

O princípio de que resíduo é alimento, e não perda, é central na economia circular, assim como nos sistemas vivos que a inspiram. Garantir que os fluxos de nutrientes biológicos sejam reinseridos de maneira não tóxica e contínua na biosfera, de forma a reconstruir capital natural (por exemplo, restaurando qualidade de solos agricultáveis) está no coração da ideia de circularidade. Maximizar o uso desses nutrientes na composição dos materiais que fluem pelo sistema, em substituição aos nutrientes técnicos, é uma característica dos ciclos restaurativos da economia circular. Os nutrientes técnicos, por sua vez, devem ter alta capacidade de retornar a novos ciclos sem perda ou até com ganho de qualidade em relação a ciclos anteriores em mecanismos de “upcycling” (McDonough & Braungart, 2002; Ellen MacArthur Foundation, 2013).

Alguns modelos e diagramas foram desenvolvidos para ilustrar os fluxos de materiais na economia circular. A Figura 2 mostra o diagrama da Fundação Ellen MacArthur que se baseia nos fluxos e ciclos dos nutrientes técnicos e biológicos na economia circular e detalha o papel dos diferentes atores do sistema de produção e consumo nesses fluxos.



Fonte: Fundação Ellen MacArthur

Figura 2 - A economia circular - Um sistema industrial restaurativo por princípio

Nesse diagrama, ficam evidentes as formas como os produtos de nutrientes técnicos e biológicos fluem no sistema da economia circular. Esse modelo apresenta uma série de maneiras para otimizar cada unidade de material que é inserido no sistema reduzindo a necessidade de novos materiais virgens para seu funcionamento, ao passo que promove acesso a bens e serviços para satisfazer as necessidades da população de consumidores. A Tabela 1 apresenta algumas definições importantes para a compreensão do diagrama da Figura 2.

No fluxo de nutrientes biológicos, uma característica importante é a capacidade de reinserção de forma segura desses materiais na biosfera, como visto anteriormente. As etapas de cascadeamento (“cascades”) ilustradas no diagrama permitem extrair valor dos produtos de nutrientes biológicos reinserindo-os em novos ciclos como produtos diferentes (por exemplo, transformar uma roupa ou tecido de algodão em fibra para preenchimento de estofados e depois como material para isolamento térmico) antes de retorná-lo para a biosfera como nutriente biológico. Nesse caso, como destaca o estudo da Fundação Ellen MacArthur (2013), a geração de valor se dá pelo menor custo marginal de se cascadear esses materiais para novos ciclos de produção em relação ao custo de usar matéria prima virgem (e todos os custos implícitos nisso, como trabalho, energia e o custo de extração e beneficiamento dos novos materiais). Como dito pela Segunda Lei da Termodinâmica, a entropia aumenta quanto mais são os ciclos de cascadeamento, ou seja, a ordem do material diminui ao longo dos ciclos sucessivos, chegando a um fim de vida útil (Georgescu-Roegen, 1971). É quando então o nutriente biológico é reinserido por diferentes mecanismos na biosfera, completando um ciclo de restauração do sistema da economia circular. Essa reinserção pode ocorrer, como mostra o diagrama, por extração bioquímica de componentes, compostagem ou biodigestão, quando se pode extrair

energia (biogás) e matéria para ser reinserida seguramente na biosfera (Ellen MacArthur Foundation, 2013).

No fluxo de nutrientes técnicos, tendo como princípio a noção de que devem ser pensados para circular na economia com alta qualidade no máximo de ciclos possíveis sem retornarem à biosfera como resíduos (McDonough & Braungart, 2002), fica evidente no diagrama que quanto menor o círculo, maior é a capacidade do sistema de manter o valor gerado para cada unidade de material que já entrou no fluxo. Ou seja, ao priorizar as manobras de manutenção em um produto ou componente de nutriente técnico, menores são as perdas dos custos embutidos neles (trabalho, energia, material e capital) e também menores são as externalidades (emissão de gases de efeito estufa, impacto na água e solo e uso de substâncias tóxicas) em relação a um cenário linear de inserir um novo material no sistema. Essa lógica, segundo o estudo da Fundação Ellen MacArthur, se mantém em relação aos possíveis círculos – quanto menor o círculo representado no diagrama, maior a capacidade dos nutrientes técnicos de circular com qualidade pelo sistema da economia sem se tornarem resíduos, gerando uma ordem de prioridade de manobras que começa com a manutenção, passa pelo reuso e redistribuição, depois a remanufatura ou renovação e, por fim, a reciclagem, priorizando o “upcycling” em relação ao “downcycling”, como visto anteriormente (Ellen MacArthur Foundation, 2013).

Além disso, o estudo da Fundação Ellen MacArthur também evidencia que a capacidade de manter os materiais, produtos e componentes por mais tempo na economia, que é um princípio da economia circular, pode ser alcançada tanto mantendo-os por mais tempo em cada um dos círculos do diagrama (por exemplo, passando um produto diversas vezes por ciclos de manutenção) ou estendendo sua capacidade de se manterem nesses círculos por mais tempo (por exemplo, desenhando produtos para durarem mais tempo, em oposição à obsolescência programada desses produtos, que respeita o modelo linear e se baseia na intensa exploração de recursos naturais de baixos custos e facilidade de extração) (Ellen MacArthur Foundation, 2013).

Todos os ciclos desse diagrama são potencializados ao se pensar produtos, materiais e componentes com o máximo de pureza possível, sem toxicidade e desenhados para serem facilmente manipulados e separados para recolocação em diferentes ciclos da economia, noção também aplicada pela escola de Ecodesign (Prendeville, Sanders, Sherry, & Costa, 2014; Ellen MacArthur Foundation, 2013). As possíveis perdas nesse sistema de economia circular, que serão mínimas se seguidas todas as demais etapas nos fluxos de nutrientes técnicos e biológicos, devem passar por recuperação energética dos materiais e, por fim, disposição final em aterros sanitários controlados<sup>31</sup>.

**Tabela 1 - Resumo das definições de termos utilizados na economia circular(continua)**

<b>Termo</b>	<b>Definição</b>
Redução	Minimização dos insumos e entradas de materiais e energia no sistema econômico, ou seja, nos ciclos de produção e consumo.
Reuso	Novo uso de um produto ou componente sem ou com mínimas alterações em sua composição ou seu propósito original.
Reciclagem	Reaproveitamento e recuperação de materiais em fim de vida útil para serem transformados em outros materiais com fins

<sup>31</sup> Essa mesma ordem de prioridade no tratamento de materiais é também refletida, com algumas diferenças, na legislação brasileira de resíduos sólidos (Lei 12.305 de 2010), que determina em seu artigo 9º que “na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos”.

---

	iguais ou distintos dos originais, excluindo a recuperação para fins de geração de energia. Há três tipos de reciclagem: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Downcycling: processo de transformação de materiais em outros de menor qualidade ou funcionalidade;</li> <li>• Upcycling: processo de transformação de materiais em outros de melhor qualidade ou funcionalidade.</li> </ul>
Renovação ou remodelagem de produto	Processo de transformar um produto em boas condições através da recolocação ou reparo apenas das partes em mau funcionamento ou próximas da falha, ou ainda, realizar mudanças “cosméticas” nos produtos (limpeza, pintura, retoques).
Remanufatura de componentes	Processo de dismantelar produtos em fim de vida útil para recuperação de seus componentes que ainda estão em bom estado para formar um novo produto
Cascadeamento de materiais e componentes	Processo de colocar materiais e componentes em diferentes ciclos com distintas funções após o fim de vida útil na função original, extraindo valor em novos ciclos.
Extração bioquímica	Conversão de biomassa (nutrientes biológicos) em volumes de produtos químicos de alta qualidade ou em combustível líquido, gerando eletricidade e energia de processo em “biorefinarias”.
Compostagem	Processo natural de decomposição de matéria orgânica por microorganismos, insetos e outros seres vivos, na presença de oxigênio, formando um material chamado composto, parecido com o solo. É um processo de reciclagem de nutrientes biológicos para retornarem à composição do solo.
Digestão anaeróbica	Processo pelo qual microorganismos vivos decompõem matéria orgânica na ausência de oxigênio, resultando em combustível na forma de biogás (poder energético) e um resíduo sólido que pode ser retornado ao solo.
Recuperação energética	Recuperação de materiais em fim de vida útil não recicláveis em calor, eletricidade ou combustível por um número de processos chamados “waste-to-energy”, incluindo combustão, gaseificação, pirólise e recuperação de gás de aterros sanitários.
Deposição em aterro sanitário	Destinação final de materiais em áreas controladas para deposição de resíduos sólidos no solo.

---

Fonte: Fundação Ellen MacArthur (2013), McDonough & Braungart (2002)

## 2.7. Fatores para a transição para a economia circular

Após décadas de fundamentos teóricos, construção de princípios e aplicações práticas, a economia circular começa a figurar como uma alternativa viável ao atual modelo de produção e consumo praticado. Por um lado, as experiências práticas com foco em eficiência do uso de recursos mostram benefícios diretos em impactos ao ambiente e redução da vulnerabilidade dos

negócios aos custos voláteis de recursos naturais (Zhijun & Nailing, 2007; Preston, 2012; Ellen MacArthur Foundation, 2013). Por outro lado, o impulso para ir além da visão da eficiência rumo à promoção de uma economia regenerativa e positiva para o planeta e a sociedade vem ganhando força, sobretudo em países europeus (European Union, 2013), e se tornando um discurso cada vez mais viável pela efetiva oferta de novas formas de gerar valor com a economia circular, pelos novos horizontes abertos com as novas tecnologias e uso de materiais e por avanços em políticas e participação de governos em torno do uso eficiente de recursos naturais (Preston, 2012).

Diante dos conceitos e princípios apresentados na seção anterior e tendo em vista as duas abordagens principais na definição da economia circular – a que tem base na aplicação prática chinesa e a mais recentemente ampliada pela visão europeia – alguns fatores essenciais para a transição de um modelo linear para a economia circular são trabalhados por diversos autores. Esta seção tem o objetivo de explanar esses fatores trazendo à luz uma análise de diferentes literaturas, incluindo visões das duas principais abordagens mencionadas.

Um ponto de partida para esta seção é definir em que âmbitos ocorre essa transição. Embora seja amplamente trabalhada a ideia de que a economia circular é um novo modelo global que determina um redesenho da economia (Preston, 2012) de modo que deixe de ser intensiva no uso de recursos naturais e que, ao mesmo tempo, promova prosperidade econômica, bem estar e acesso às facilidades que o consumo pode promover (Preston, 2012; Ellen MacArthur Foundation, 2013; Accenture, 2014), essa transição deve ser trabalhada em diferentes níveis. Grande parte da literatura sobre economia circular aborda três níveis em que essa transição ocorre: micro, meso e macro (Yuan, Bi, & Moriguchi, 2006; Ghisellini, Cialani, & Ulgiati, 2014), além do tema das cadeias globais de suprimento, trabalhado com menos ênfase e que ganhou notoriedade mais recentemente nos estudos impulsionados pelo Fórum Econômico Mundial e outros autores (Ellen MacArthur Foundation; WEF, 2013; Preston, 2012). A esses níveis se aplicam fatores críticos para a transição, como temas de tecnologia, capacidades e modelos de negócio, questões regulatórias, novas competências, comportamento do consumidor e novas dinâmicas do setor de negócios e indústrias em torno da colaboração, temas que serão abordados nesta seção.

A transição no **nível micro** é relativa ao que ocorre dentro das empresas e indústrias, seus processos, produtos e serviços. Autores que trabalham a experiência chinesa focam muito na questão da Produção Mais Limpa como um primeiro passo vital para a transição para a economia circular no nível micro (Yong, 2007; Li, Bao, Xiu, Zhang, & Xu, 2009), que, segundo o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA)<sup>32</sup>, consiste em “contínua aplicação de uma estratégia ambiental integrada e preventiva para processos, produtos e serviços para aumentar a eficiência total e reduzir danos e riscos aos seres humanos e ao ambiente” (UNEP, 1990). De acordo com a Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (ONUDI)<sup>33</sup> na promoção de uma economia industrial eficiente e de baixo carbono, com a Produção Mais Limpa, empresas e organizações podem “melhorar a produtividade e, conseqüentemente, a competitividade, ao mesmo tempo em que reduzem a quantidade de poluição e resíduos que produzem, diminuindo assim o seu impacto sobre o meio

---

<sup>32</sup> O PNUMA, criado em 1972, é o braço do meio ambiente dentro do sistema das Nações Unidas, tendo o papel de catalisar, defender, educar e facilitar a promoção do uso e desenvolvimento sustentável do meio ambiente global. O trabalho do PNUMA, de acordo com o website da instituição, envolve: avaliação de condições e tendências ambientais globais, regionais e nacionais; desenvolvimento de instrumentos ambientais internacionais e nacionais; reforço das instituições para a gestão sensata do ambiente (UNEP, 2015).

<sup>33</sup> A ONUDI é a agência especializada das Nações Unidas para promover o desenvolvimento industrial com a missão de promover e acelerar o desenvolvimento industrial inclusivo e sustentável nos países em desenvolvimento e economias em transição, atuando em três áreas temáticas: redução da pobreza através de atividades produtivas, desenvolvimento de capacidades de negócio e energia e ambiente (UNIDO, 2015).

ambiente, incluindo a sua pegada de carbono. Ao reduzir resíduos e emissões e eliminar substâncias perigosas, reduzem-se os riscos das operações industriais para os trabalhadores, as comunidades e os consumidores” (UNIDO, 2013).

Além do potencial de reduzir poluição e impacto ambiental, melhorando o desempenho econômico das empresas ao reduzir custos de produção (com o uso mais eficiente dos recursos) e de tratamento e disposição de resíduos (podendo até mesmo eliminar resíduos de produção), a Produção Mais Limpa tem ainda capacidade de gerar novas receitas com a venda de materiais secundários dos processos produtivos (Ghisellini, Cialani, & Ulgiati, 2014). Entretanto, alguns autores observam limitações da Produção Mais Limpa como uma maneira de transitar para a economia circular. Por um lado, questiona-se a capacidade de uma aplicação única de Produção Mais Limpa ser garantia, no longo prazo, de melhor desempenho ambiental e, para tanto, se deveria associar esse tipo de iniciativa a sistemas de gestão ambiental (como por exemplo, a certificação ISO 14001) e de melhoria contínua, a fim de monitorar o progresso das empresas dentro de uma jornada estruturada de maturidade (Schnitzer & Ulgiati, 2007). Por fim, autores da visão mais recente de economia circular questionam as abordagens de ecoeficiência, como a Produção Mais Limpa, por significarem apenas a redução dos impactos negativos da economia industrial, enquanto uma abordagem mais completa da economia circular teria enfoque na capacidade de causar impacto positivo, com um olhar sobre a ecoefetividade da abordagem “cradle-to-cradle”, que prevê “a criação de produtos e sistemas industriais em uma relação positiva com a saúde ecológica e a abundância, e com crescimento econômico de longo prazo” (Braungart, McDonough, & Bollinger, 2007).

Na Europa, a adoção de tecnologias limpas é defendida como condição necessária para a economia circular (Bilitewski, 2012) bem como a aplicação de ecodesign, defendida em regulações da União Europeia que determinam requisitos mandatórios para algumas linhas de produto com alto impacto no uso de energia (European Commission, 2012). A abordagem estratégica do ecodesign permite pensar e reduzir os impactos ambientais dos produtos ao longo de toda a vida útil e, portanto, aplicar esse conceito é um fator chave para a transição para a economia circular (Prendeville, Sanders, Sherry, & Costa, 2014). A questão do design de produtos também é tratada pelos estudos da Fundação Ellen MacArthur como um dos principais “blocos de construção” da economia circular por ser um importante ponto de partida para a escolha dos materiais (priorizando nutrientes biológicos aos técnicos), para pensar a modularidade e a versatilidade (que são cruciais para as etapas de manutenção, renovação e remanufatura) e a durabilidade dos produtos, pensando-os para terem vida longa (Ellen MacArthur Foundation, 2013).

Outro fator importante para a transição tratado na literatura é como as empresas podem incentivar o comportamento responsável do consumidor, aspecto crucial para a transição para a economia circular, através da adoção de programas de rotulagem de produtos<sup>34</sup> e também ampliação do acesso do consumidor a informações sobre seus produtos e serviços (Zhijun & Nailing, 2007; C2CCertified, 2014; Ghisellini, Cialani, & Ulgiati, 2014).

Também relevante no nível micro é o estabelecimento de empresas e organizações para lidar com as cadeias de retorno de resíduos após o fim de vida útil dos produtos, garantindo assim a recuperação dos materiais para recolocação em ciclos de cascadeamento, reuso, renovação e remanufatura (Ellen MacArthur Foundation, 2013). No Brasil (e na América Latina como um todo), grande parte desse papel é atualmente exercido por catadores de materiais recicláveis organizados ou não em cooperativas ou microempresas (Fundação Avina, 2010).

---

<sup>34</sup> No Brasil, um notável programa de rotulagem de produtos que se relacionam com a economia circular, embora não mencionando essa relação explicitamente, é o Selo do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), instituído em 1985 pelo Governo Federal e amplamente utilizado na rotulagem de produtos de intenso uso de energia (como, por exemplo, eletrodomésticos) e também de indústrias e outros estabelecimentos com o objetivo de estimular a eficiência energética.



Importante notar que os fatores tratados para o nível micro tem alto potencial de geração de valor para as empresas e que a transição para a economia circular no nível micro exige adaptações dos negócios, tanto no nível industrial e tecnológico como no nível estratégico. Um estudo recente publicado pela Accenture (2014) investigou mais de 120 estudos de casos práticos em diferentes setores da indústria, identificando cinco **novos modelos de negócio circulares** (insumos circulares, recuperação de recursos, extensão de ciclo de vida de produtos, plataformas de compartilhamento e “product as a service”) que já vem sendo operados por empresas pioneiras gerando valor e ganhando escala. Esse mesmo estudo também analisou mudanças necessárias em cinco **capacidades estratégicas** (estratégia de negócio, inovação e desenvolvimento de produtos, suprimentos e manufatura, vendas e ciclo de uso dos produtos, cadeias de retorno) que essas empresas vêm adotando para embarcarem na economia circular, demonstrando casos práticos de transição no nível micro, ainda que alguns dos resultados não se restrinjam a esse nível, como será mais explanado adiante. Os resultados<sup>35</sup> desse estudo estão detalhados nas Tabelas 2 e 3, nas páginas a seguir.

**Tabela 2 - Novas capacidades estratégicas de negócios na economia circular (Accenture)**

<b>Novas Capacidades Estratégicas</b>	<b>Como é no modelo linear</b>	<b>Como é no modelo circular</b>
<b>Estratégia</b>	Foco somente no negócio principal	Gestão complexa e colaborativa de redes de produção e consumo.
<b>Inovação e Desenvolvimento</b>	Design de produtos para uso único e de limitada vida útil (obsolescência planejada, etc)	Design de produtos para durar, modularidade, facilidade de desmontagem.
<b>Suprimentos e Manufatura</b>	Cadeias de suprimento homogêneas e lineares	Fluxo de recursos heterogêneo, diversidade de atores, cascadeamento.
<b>Vendas e Uso</b>	Produtos deixam de ser responsabilidade da empresa após a venda	Prolongado relacionamento com clientes e gestão do ciclo de vida dos ativos.
<b>Cadeias de Retorno</b>	Cumprimento das regulações (compliance)	Oportunidades de geração de valor nas cadeias de recuperação de produtos.

Fonte: Accenture, 2014

**Tabela 3 - Novos modelos de negócio da economia circular (Accenture)**

<b>Novos Modelos de Negócio</b>	<b>Definição</b>	<b>Aplicações e Oportunidades</b>
<b>Insumos Circulares</b>	Uso de energia renovável, matérias primas biológicas ou totalmente recicláveis pra para substituir entradas de ciclos de vida únicos.	Substituição de insumos criticamente escassos e/ou com grande impacto ambiental; reduz vulnerabilidade a altos e voláteis custos desses insumos reduzindo custos de produção.

<sup>35</sup> Resultados com base em mais de 120 estudos de caso e 50 entrevistas, publicado no Estudo da Accenture “Circular Advantage: Innovative Business Models and Technologies to Create Value in a World without Limits to Growth”, 2014. Disponível em: <http://www.accenture.com/us-en/Pages/insight-circular-advantage-innovative-business-models-value-growth.aspx>

<b>Recuperação de Recursos</b>	Recuperação do valor embutido nos materiais após final do ciclo de vida de produtos ou de subprodutos para alimentar outras cadeias de valor.	Aplicável quando há grandes volumes de subprodutos ou resíduos ao longo do ciclo de vida de produção e consumo (baixa eficiência dos recursos); recupera valores (materiais e energia) desperdiçados na produção e consumo.
<b>Extensão de Ciclo de Vida de Produtos</b>	Estender o ciclo de vida útil de produtos e componentes através de reparo, upgrade e revenda (ou, utilizando os termos da Fundação Ellen MacArthur, manutenção, remodelagem, renovação e remanufatura).	Evita perda de valores (materiais e energia) normalmente desperdiçados em modelos lineares (ex.: obsolescência prematura de produtos); geram novas receitas e interação com clientes.
<b>Plataformas de Compartilhamento</b>	Permite aumento da taxa de utilização de produtos, possibilitando o uso / acesso / propriedade compartilhados entre usuários e organizações.	Geração de valor de ativos com excesso de capacidade ou subutilização através do consumo colaborativo; maximiza a utilização de ativos tipicamente com baixas taxas de utilização ou propriedade.
<b>"Product as a Service"</b>	Promove acesso a produtos internalizando a propriedade e os benefícios de produtividade dos recursos/ativos.	Migração do tradicional modelo de <i>posse</i> para o <i>acesso</i> em sistema de pagamento pelo uso e não compra de unidades; promove incentivo à durabilidade e reutilização de produtos internalizando nas empresas os benefícios e novas oportunidades de geração de receitas.

Fonte: Accenture, 2014

A transição no **nível meso** se relaciona a regiões produtivas, industriais, em que são adotadas práticas de Ecologia Industrial, como práticas de Simbiose Industrial e suas aplicações no desenvolvimento de Parques Industriais Ecológicos (PIE) (Chertow, 2000; Yuan, Bi, & Moriguichi, 2006; Ghisellini, Cialani, & Ulgiati, 2014). Nessa abordagem, indústrias com processos tradicionalmente separados se reúnem, dada a proximidade geográfica, em uma abordagem coletiva para desfrutar vantagem competitiva que envolve troca física de materiais, energia, água e subprodutos, alavancando as possibilidades de sinergia de seus processos (Chertow, 2000; Preston, 2012).

Diversas experiências da implementação de SI e PIE no mundo mostram duas abordagens distintas: uma “top-down”, com a formação planejada de PIE, e outra “bottom-up”, com a formação de acordos entre empresas a partir da identificação de sinergias e potenciais vantagens competitivas. As experiências de PIE tratadas na literatura ocorreram são os parques formados na China a partir da alavancagem de economia circular na legislação do país<sup>36</sup>, em outros países da Ásia, Américas do Norte e Sul, Europa e sul da África, frequentemente remontando ao exemplo notável de Kalundborg<sup>37</sup>, na Dinamarca (Preston, 2012; Ghisellini, Cialani, & Ulgiati, 2014)

<sup>36</sup> Sendo as mais notáveis experiências chinesas o Guingang Group, Pingdingshan Coal Mining Group, Lubei Chemical Group, Suzhou Group Eco-Industrial Park e Tianjin Economic Technological Park.

<sup>37</sup> No distrito industrial de Kalundborg, a 120km de Copenhagen, Dinamarca, está localizada a primeira experiência de simbiose industrial no mundo e serve como exemplo para muitas experiências de implementação de PIE. Iniciado em 1972, trata-se de uma experiência “bottom-up” de Ecologia Industrial, já que não houve planejamento de formação de um PIE, mas sim uma evolução natural de simbiose entre as indústrias, que passaram a compartilhar fluxos de materiais e energia, sendo os subprodutos de uma indústria insumos de baixo custo para outras; ao longo dos anos, parceiros de outros distritos e até fazendeiros da região também entraram no esquema da simbiose. São parte da simbiose de Kalundborg indústrias como refinaria de petróleo, termelétrica a carvão, planta farmacêutica, indústria de gesso, fábrica de fertilizante, a própria comunidade da região e outros (IISD,

Nessas experiências, os PIE são predominantemente formados por indústrias do setor primário e secundário, atuando em oportunidades de gerar valor através de eficiência do uso de recursos compartilhados, troca de energia, resíduos e alguns subprodutos dos processos produtivos e também no compartilhamento de ativos de produção, com a finalidade de reduzir impacto de suas produções no ambiente e na sociedade ao serem mais eficientes aproveitando as sinergias entre indústrias (Preston, 2012; Ghisellini, Cialani, & Ulgiati, 2014). No Brasil, a experiência de PIE ocorre com destaque nos estados do Rio de Janeiro (Santa Cruz, Campos Elíseos, Fazenda Botafogo, Agulhas Negras e Paracambi), onde foi instituído por lei<sup>38</sup>, além de experiências no Rio Grande do Sul e em Pernambuco, tendo também predominância de indústrias dos setores primário e secundário que interagem em colaboração nas sinergias de suas cadeias produtivas, sobretudo no compartilhamento de infraestruturas de gestão ambiental (como, por exemplo, tratamento de água, distribuição de energia) e aproveitamento de resíduos de produção nos ciclos produtivos das empresas e gestão compartilhada do espaço físico.

Colaboração entre indústrias, capacidades técnicas e institucionais de gerenciar processos de ciclo fechado para além dos limites da empresa, empreendedorismo privado, inovação, infraestrutura adequada, apoio regulatório dos governos e linhas de financiamento são aspectos muito mencionados na literatura sobre PIE e SI a partir das experiências práticas analisadas e, em última instância, no potencial de sucesso dessas experiências como base para a transição para a economia circular, assim como o desenvolvimento de indicadores de gestão e padrões para avaliar a evolução dessas iniciativas (incluindo, por exemplo, intensidade do uso de recursos naturais e energia na produção, dentre outros) (Chertow, 2000; Yuan, Bi, & Moriguichi, 2006; Lutz, Pires, & Moraes, 2013; Ghisellini, Cialani, & Ulgiati, 2014; Preston, 2012; Mathews, Tang, & Tan, 2011a).

No **nível macro**, a transição para a economia circular ocorre no nível regional e de cidades, segundo a literatura existente (Ghisellini, Cialani, & Ulgiati, 2014), o que envolve mudanças nos sistemas industrial, de infraestrutura, cultural e de consumo da sociedade (Zhijun & Nailing, 2007). Nesses casos, segundo Zhijun & Nailing (2007) a respeito da experiência chinesa, “prevenir a poluição se torna fundamental; isso é caracterizado pelo fluxo de circulação de materiais e energia e tem como objetivo final o desenvolvimento sustentável social, econômico e ambiental, incluindo uso maximizado de energia e recursos e redução da deposição de resíduos”. No setor produtivo, essa transformação no nível macro pode ocorrer através de redes de indústrias e empresas de setores primário, secundário e terciário nas regiões em que atuam (Su, Heshmati, & Geng, 2013).

Nos centros urbanos, as experiências observadas de economia circular resultam em redesenho de infraestruturas (sistemas de transporte e comunicações, sistema de tratamento e reciclo de água, investimento em energias limpas, etc.) e também um reequilíbrio das bases industriais da região, como por exemplo, através do fomento à eliminação progressiva de indústrias de base, pesadas e poluidoras, substituídas por outras indústrias menos intensivas em materiais e energia (turismo, cultura, alta tecnologia, etc.) (Zhijun & Nailing, 2007; Su, Heshmati, & Geng, 2013). Zhijun & Nailing (2007) defendem ainda o compromisso das regiões com planejamento, arquitetura e paisagismo segundo princípios da circularidade para

---

2013), sendo alguns dos resultados alcançados a redução de emissões de CO<sub>2</sub>, otimização e economia de água e energia e a redução de custos operacionais das indústrias (mais informações disponíveis em: <http://www.symbiosis.dk/en>).

<sup>38</sup> O estado do Rio de Janeiro decretou legislação para fomentar a formação de PIE, com o Decreto nº 33.992 de 29 de Setembro de 2003 do Rio de Janeiro, que instituiu o RIO ECOPOLO, tendo como objetivo a “criação de instrumentos econômicos que incentivem o desenvolvimento sustentável, melhoria da qualidade de vida e das condições ambientais no Estado do Rio de Janeiro, modernização do parque industrial do Estado do Rio de Janeiro através do incentivo à implantação de gestão ambiental e a utilização de tecnologias mais limpas e promoção da ecoeficiência nas empresas”.

que o ambiente urbano seja propício à restauração do ecossistema e proporcione qualidade de vida, pois “manter a saúde dos ecossistemas a longo prazo exige que a utilização de recursos, a produção e a disposição de resíduos sejam conduzidas dentro do limiar ecológico”.

Exemplos de cidades e regiões que estão transitando para a economia circular estão presentes na Europa, tendo como principal exemplo Roterdã, na Holanda, maior região industrial e centro logístico do continente, que declarou sua transição até 2030 tendo como base estratégica o uso de tecnologia da informação e comunicação, dando acesso a internet sem fio a toda a cidade e promovendo uma série de serviços pelo celular, o que favorece a economia de serviço e funcional preconizada por Stahel (Stahel, 2003; Ghisellini, Cialani, & Ulgiati, 2014). Outras experiências na Europa privilegiam investimento em infraestrutura e novas tecnologias, como é o caso da cidade de Bristol, no Reino Unido, que investiu em um projeto para transformar esgoto sanitário e restos de alimento da própria população em combustível (biometano), através de processo de digestão anaeróbica, para alimentar frotas de ônibus na cidade (Bristol Post, 2014). Com isso, não só consegue lidar com o volume de matéria orgânica que antes era potencial passivo ambiental à cidade, mas também permite que o transporte gere menos emissões de gases de efeito estufa do que aqueles alimentados por combustíveis fósseis, evitando, ainda, a necessidade de se produzir toneladas de combustível a partir da extração de fontes não renováveis. No Brasil, essa mesma tecnologia de uso de biometano em transporte público está sendo explorada em fase piloto através de uma parceria intersetorial<sup>39</sup> no Sul do país para aproveitar resíduos de fezes de galinhas da produção de ovos para a geração do combustível (Scania, 2014).

Experiências de ‘resíduo zero’ são também outra maneira que cidades decidem adotar para transitarem de um modelo linear para um metabolismo circular da cidade e estão presentes em diversos países, como Austrália, Canadá, Estados Unidos, Líbano, Nova Zelândia e Suécia, por exemplo. Autores que analisam essas experiências concluem que a melhor maneira de se fazer viável um modelo de ‘resíduo zero’ é minimizando o potencial de perdas ainda na etapa de compra dos produtos, e, mais ainda, no design desses produtos, de maneira que possam gerar menos resíduos pós-consumo, pensando também a resiliência dos centros de disposição final de resíduos, dada que a redução da destinação para esses locais (aterros sanitários) não traga impactos negativos à economia da região (Ghisellini, Cialani, & Ulgiati, 2014).

Na China, desde a entrada em vigor das legislações sobre economia circular, uma série de estudos foram feitos para entender o progresso de algumas cidades (por exemplo, Xangai, Beijing, Tianjin, Ningbo e Dalian) em suas transições para a economia circular, e seus fatores de sucesso. Os estudos monitoraram indicadores de eficiência e intensidade do uso de recursos naturais, geração, tratamento e recuperação de resíduos e indicadores socioeconômicos. Alguns fatores de sucesso identificados na experiência chinesa em cidades foram: a intervenção do governo nos setores industriais mais poluidores e de maior intensidade no uso de energia, como por exemplo, realocando essas indústrias para outras áreas, criando regulações mais restritivas a essas indústrias no que tange ao impacto ambiental; a existência de indicadores de desempenho para cada setor industrial e em diferentes níveis para servirem de insumo para o desenho de políticas específicas para esses setores; a disponibilidade de tecnologias e equipamentos de eficiência energética nessas regiões e o nível de conscientização e sensibilização sobre a economia circular no nível dos gestores privados e públicos e também da população (Preston, 2012; Ghisellini, Cialani, & Ulgiati, 2014).

Ainda no nível macro, a literatura também identifica que a transição para a economia circular também depende de mudanças no consumo em direção à economia de serviço ou

---

<sup>39</sup> A parceria envolve a montadora sueca Scania, a empresa de energia Itaipu Binacional, o Centro Internacional de Energias Renováveis-Biogás (CIBiogás-ER), a Fundação Parque Tecnológico Itaipu (FPTI) e a Granja Haacke, de Santa Helena (PR), conforme notícia disponível em: [http://www.scania.com.br/a-scania/imprensa/press-releases/2014/press\\_56\\_14.aspx](http://www.scania.com.br/a-scania/imprensa/press-releases/2014/press_56_14.aspx)

funcional, preconizada por Stahel (2003), que tem no seu centro a noção de acesso a serviço *versus* posse de bens (Su, Heshmati, & Geng, 2013). Em sistemas de “product as a service” (produtos como serviço, ver Tabela 2) a desvalorização da noção de *propriedade* é central e há a mudança no papel do *consumidor* para *usuário*. Esses sistemas já ocorrem amplamente na economia, em diversos setores, como por exemplo, lavanderias que possuem máquinas de lavar para uso público mediante pagamento de uma taxa, empresas de aluguel de carro, e também sistemas mais modernos, venda de serviços (eletricidade, quilômetros de uso de pneus) em vez de produtos (lâmpadas, pneus) e plataformas *online* de acesso a filmes e conteúdos. Em todos os casos, o benefício para a economia circular é a redução da necessidade de recursos naturais para girar a economia, ao se desmaterializar a noção de posse, o que gera menor demanda de recursos naturais para a produção de volumes de bens a fim de satisfazer o consumo (Botsman & Rogers, 2011; Preston, 2012; Ellen MacArthur Foundation, 2013; Accenture, 2014).

Nessa mesma linha de mudança do modelo de consumo está o consumo colaborativo, muito abordado por Botsman & Rogers (2011), que trata de diversos mecanismos de compartilhamento de bens entre pares, permitindo maior usabilidade dos materiais e produtos, gerando valor a partir de bens subutilizados ou com baixa taxa de utilização e, com isso, também reduzindo a demanda pela inserção de novos materiais nos ciclos de produção e consumo (ver plataformas de compartilhamento em Tabela 3). O consumo colaborativo pode acontecer pelo compartilhamento e empréstimo de bens entre pares (por exemplo, programas de compartilhamento de carros e caronas, aluguel de apartamentos e casas entre pares, espaços de *co-working*) e por mercados de redistribuição, escambo e doação de bens (como *websites* de troca de livros, brinquedos, roupas, vídeos e fotos). Segundo Botsman & Rogers (2011), esse tipo de colaboração requer e retoma um senso de vida comunitária e dá valor ao senso de confiança e reputação dos usuários dessas redes; por conta disso, ocorre com frequência em regiões geográficas limitadas, embora não seja restrito a isso podendo também ocorrer em redes amplas e até globais através da internet (Preston, 2012).

Enquanto muitos autores tratam da transição para a economia circular nos níveis micro, meso e macro, poucos estudos foram realizados no sentido de pensar as **cadeias globais de suprimentos**, que são parte fundamental para a transição em nível global preconizada por Preston (2012) e tratada no mundo dos negócios (sobretudo com impulso do Fórum Econômico Mundial) dada a natureza globalizada dos fluxos de materiais na economia atual. Um estudo que avaliou a evolução da economia circular na China criou métricas que incluíam não só a abordagem tradicional de fluxos de materiais da economia do país, mas acrescentou indicadores de reciclo de materiais que consideram as importações e exportações, o que direciona para a questão das cadeias globais de suprimentos, ainda que não aprofunde o tema (Mathews, Tang, & Tan, 2011a). Iniciativas práticas do mundo dos negócios, como a certificação C2C (“cradle-to-cradle”), também consideram as origens e fluxos de materiais nos produtos ao longo da sua cadeia de valor, o que engloba, muitas vezes, as cadeias globais de suprimentos (C2CCertified, 2014). Preston (2012) sugere que o olhar para as cadeias globais se expandisse a partir de uma nova geração de PIE que adotasse uma “visão mais ampla da industrialização verde incorporando cadeias globais de suprimentos e uma rede de zonas industriais” e que a colaboração entre indústrias na cadeia de suprimentos depende de coleta, análise e compartilhamento de conhecimento e informações entre as empresas nas cadeias de valor. O autor também direciona para a necessidade de cooperação internacional para o progresso da economia circular “porque a transação de resíduos e recursos está aumentando e as cadeias de suprimentos de muitos produtos atualmente envolvem múltiplos países, então políticas domésticas separadas só conseguirão endereçar parte do problema” (Preston, 2012). Segundo o autor, a coordenação entre países deve ocorrer no uso de tecnologias, no desenvolvimento de políticas nacionais e na padronização (dos materiais e tecnologias), fatores cruciais para criar o

cenário para a economia circular nos diferentes mercados, reduzindo as preocupações com a competitividade dos países e os custos de implementação das mudanças.

Em 2013, a Fundação Ellen MacArthur, em parceria com o Fórum Econômico Mundial, publicou um estudo com foco específico nas cadeias globais de suprimentos, com o objetivo de analisar barreiras e oportunidades para a transição para a economia circular no nível global. A partir de análises de cadeias globais de suprimentos de diferentes materiais e entrevistas com líderes das indústrias, o estudo analisou os pontos de perdas de materiais e energia nas cadeias globais, que podem ocorrer por conta da dispersão geográfica dos atores envolvidos na produção, consumo e recuperação ou destinação final dos produtos<sup>40</sup>, da complexidade e proliferação de materiais nos ciclos produtivos e do aprisionamento das cadeias de valor em aspectos do modelo linear (Ellen MacArthur Foundation; WEF, 2013). Segundo o estudo, a questão da dispersão geográfica para a economia circular pode ser resolvida tanto regionalizando as cadeias de ciclos reversos de materiais (e, portanto, reduzindo custos de externalidades das logísticas globais, sobretudo de energia), como aproveitando a capacidade logística instalada para criar ciclos reversos globais (utilizando os fluxos de contêineres, navios, etc. que transitam atualmente na logística dos produtos para fazerem o caminho inverso com materiais de fim de vida útil de volta à origem para recuperação). Em termos da complexidade e proliferação de materiais, o estudo mostra que, ao contrário da alta capacidade de formular materiais complexos nos ciclos produtivos, ainda há grandes dificuldades de lidar com o ciclo reverso deles, sobretudo pela dificuldade de separação e classificação de materiais, pela toxicidade dos componentes e pela falta de pureza dos materiais, dificultando a recuperação do valor deles, frequentemente fazendo com que eles percam qualidade nos ciclos reversos existentes (como ocorre nos processos de “downcycling”) e até mesmo ocasionando riscos à saúde e ao ambiente por conta da toxicidade desses materiais (como visto anteriormente com os fluxos globais de resíduos eletrônicos). Sobre o aprisionamento da economia global nos mecanismos de funcionamento lineares, o estudo aponta sobretudo para o desalinhamento de incentivos para empreender em modelos de negócio circulares e também na configuração das cadeias de valor global locais e globais, que tem estabelecida a capacidade de produzir, mas muitas vezes não possui infraestrutura e competências para manter os ciclos reversos dos materiais para substituírem matérias primas virgens. Como conclusões, o estudo propõe três principais linhas de ação: desenvolver cadeias globais de logística reversa de produtos que devem ser tão sofisticada como as cadeias de logística produtivas desses produtos, reorganizar e simplificar os fluxos de materiais puros (considerando os materiais básicos que compõem os

---

<sup>40</sup> O estudo modela quatro “arquétipos de ciclos” de materiais existentes na economia global, considerando dois tipos de regiões: as de manufatura (onde é produzida grande parte dos produtos que circulam na economia, como países asiáticos e também as regiões de extração de matérias primas, como América Latina) e regiões consumidoras (tipicamente Europa, Estados Unidos, Japão e outros países importadores, mas não limitado a estes). Os quatro arquétipos são: ciclos geográficos fechados, em que os materiais tem ciclo fechado que podem acontecer dentro da própria região de uso dos produtos (chamado de ciclo fechado regional, como por exemplo, fluxo de garrafas de vidro retornáveis) ou retornando à região de manufatura para substituir matérias primas virgens no processo produtivo (chamado de ciclo fechado global, como por exemplo ciclos de reciclagem de PET e papel e cartão); ciclos geográficos parcialmente abertos, normalmente em cadeias de múltiplos níveis, em que se inclui uma parte linear (como a extração de matérias primas transportadas até áreas de manufatura) e uma parte fechada, com o reciclo, remanufatura ou remodelagem de produtos (como por exemplo, manutenção e remanufatura de peças da indústria automobilística ocorrendo nas regiões de uso dos veículos); ciclos geográficos de cascadeamento aberto, que envolve um novo ciclo de uso secundário de um produto em região geográfica diferente do ciclo de uso original, muitas vezes gerando perdas de valor desses materiais (por exemplo, o fluxo de produtos eletrônicos de segunda mão de países industrializados a países da Ásia e África para desmantelamento no mercado informal); e o modelo linear globalizado, segundo o estudo, predominante nas cadeias globais atuais, em que os produtos são feitos em cadeias produtivas fragmentadas geograficamente, migram das regiões de manufatura para a região de consumo onde são descartados em aterros sanitários ou outros locais de disposição final (Ellen MacArthur Foundation; WEF, 2013).



fundamentais para se pensar um novo paradigma circular, não linear, da economia – tais como o pensamento sistêmico, a noção de redes de colaboração e a visão de uma economia respeitando os limites planetários (Preston, 2012; Ellen MacArthur Foundation, 2013; Webster, 2015).

Os fatores abordados nessa seção são importantes pontos de entendimento para pensar a transição para a economia circular e servem como um guia para estudos posteriores, ainda que esta pesquisa não tenha aplicado esse modelo em investigação prática. Para fins de didática, esses fatores e suas correlações com os níveis micro, meso, macro e cadeias globais de suprimentos estão resumidos na Tabela 5, abaixo.

**Tabela 4 - Resumo dos fatores para a transição para a economia circular nos níveis micro, meso, macro e de cadeias globais de suprimentos**

	Nível Micro	Nível Meso	Nível Macro	Cadeias globais
Produção Mais Limpa	✓			
Sistemas de gestão e melhoria contínua	✓			
Design de produtos e serviços circulares	✓	✓	✓	✓
Comportamento do consumidor		✓	✓	
Parques Industriais Ecológicos e Simbiose Industrial		✓	✓	
Cadeias de ciclo reverso	✓	✓	✓	✓
Incentivos regulatórios	✓	✓	✓	✓
Intervenção governamental no setor produtivo		✓	✓	✓
Financiamento / investimento		✓	✓	✓
Renovação de infraestrutura		✓	✓	
Novos modelos de negócio	✓	✓	✓	✓
Novas tecnologias disruptivas	✓	✓	✓	✓
Novas capacidades de negócio	✓	✓	✓	✓
Novas competências	✓	✓	✓	✓
Colaboração intersetorial		✓	✓	✓
Indicadores de gestão para a economia circular	✓	✓	✓	✓
Cooperação internacional				✓

**Fonte própria, a partir de análise da literatura.**

## 2.8. Barreiras para a transição para a economia circular

Ao passo que a literatura aborda os fatores necessários para a transição para a economia circular em seus diferentes níveis, entende-se que a não aderência a esses fatores por si só já oferece barreiras à transição. Adicionalmente, alguns autores também analisam barreiras, específicas ou sistêmicas, que podem dificultar e até impedir que a transição ocorra nos diferentes níveis.

O modelo de desenvolvimento de países emergentes, normalmente baseado em indústrias intensivas em uso de recursos naturais, é comumente mencionado como uma barreira para a transição para a economia circular, como ocorre em Preston (2012), afirmando que, embora já seja notório o reconhecimento nessas economias de que é preciso promover um paradigma de desenvolvimento menos direcionado à exploração de recursos naturais virgens, ainda não há um “modelo de prateleira” a ser seguido. Na China, por exemplo, como analisado por Ghisellini



et al (2014) a partir do estudo de Matus et al (2012), as principais barreiras para implementar a química verde e a engenharia verde (e portanto a economia circular como entendida naquele país) são decorrentes da competição entre o crescimento econômico e a proteção ambiental e as barreiras técnicas envolvidas nessa disputa.

Outra importante barreira destacada pela literatura é a alta dependência da economia global de infraestruturas físicas de produção, consumo e comércio altamente ligadas ao uso combustíveis fósseis e orientada a modelos de produção de uma única via, não preparadas para os ciclos reversos, causando um efeito de inércia, ou seja, de manutenção do atual modelo linear, ou *business as usual* (Preston, 2012; Ellen MacArthur Foundation, 2013). Essa barreira também se reflete nos níveis micro e meso em termos das tecnologias de produção existentes, que devem passar por remodelagem para se adequar a um modelo circular (Mathews & Tan, 2011b; Accenture, 2014)

Disso deriva outra barreira à transição para a economia circular, tratada por alguns autores, que são os altos custos iniciais de investimentos para migrar para modelos circulares. A longo prazo, a economia circular tem potencial de reduzir a vulnerabilidade dos negócios e das regiões às volatilidades e choques de preços de recursos naturais, mas a curto prazo demanda investimentos muitas vezes altos de empresas e governos para redesenhar os modelos de produção das indústrias (nos níveis micro e meso), das infraestruturas de utilidades nas cidades e regiões (no nível macro) e nas cadeias produtivas globais como um todo (Zhijun & Nailing, 2007; Preston, 2012; Ellen MacArthur Foundation, 2013). Isso implica, ainda, em riscos de negócios para empresas, pois devem modificar suas estratégias de negócio, o que causa incertezas e mudanças estruturais (ver mais na Tabela 2) (Preston, 2012; Accenture, 2014). Nesse sentido, a Fundação Ellen MacArthur preconiza a necessidade de inovação nos modelos de financiamento e de gestão de riscos para viabilizar os investimentos na economia circular (Ellen MacArthur Foundation, 2013), enquanto autores sobre a experiência chinesa determinam a importância de intervenção regulatória para a criação de novos e diversificados modelos para promover o investimento e financiamento da economia circular (Zhijun & Nailing, 2007; Mathews & Tan, 2011b). Recente análise de mídias especializadas mostra que iniciativas relacionadas à economia circular já vêm sendo viabilizadas por modelos alternativos de finanças, destacando modelos que focam em fortalecimento de economias locais através de “bancos públicos, moedas locais, microfinanças, financiamento coletivo (“crowdfunding”) e títulos verdes (“green bonds”)<sup>41</sup>.

Os desafios inerentes a modelos de colaboração entre empresas nas cadeias de valor, fator essencial para a transição para a economia circular, como visto anteriormente, também são tratados por alguns autores como uma potencial barreira à transição nos diferentes níveis. De maneira mais localizada, no nível meso, Mathew & Tan (2011b) destacam o desafio de criar processos de ciclo fechado em colaboração entre indústrias em PIE, que podem ser tanto de natureza técnica como barreiras institucionais, como regulações ambientais, sobretudo a respeito de materiais tóxicos, que desencorajam a troca de subprodutos entre empresas. Sobre esse desafio, a Fundação Ellen MacArthur (2013) endereça uma solução em torno da capacidade de viabilizar os ciclos reversos, em que as empresas devem buscar soluções, tanto dentro de seus próprios processos como em colaboração com outras empresas na cadeia de valor, em torno de padrões de pureza dos materiais utilizados para permitir ciclos de reuso e reciclo de alta qualidade (“upcycling”). Preston (2012) ressalta ainda os desafios dessa cooperação em termos dos relacionamentos entre empresas nas cadeias de valor, em que cada

---

<sup>41</sup> Os modelos de financiamento da economia circular mencionados foram publicados em matéria no site de notícias especializado em sustentabilidade “The Guardian Sustainable Business”, intitulada “Beyond Wall Street: the encouraging growth of new financial models” (“Para além de Wall Street: o crescimento encorajador de novos modelos de finanças”, em tradução livre para o português), publicada por Rosalinda Sanquiche, diretora executiva da empresa *Ethical Markets Media*, no dia 14/01/2015.

uma tem o papel de impulsionar mudanças ao longo de suas cadeias de fornecedores para promover infraestrutura e logística adequadas aos processos circulares, o que, muitas vezes, pode implicar em longos custos e tempo de negociações, além de uma mudança no modelo de relacionamento entre empresas, impondo incertezas e riscos aos negócios.

Esse desafio ocorre também nas cadeias globais de suprimentos, em que a produção e o consumo ocorrem frequentemente em diferentes países com processos produtivos que envolvem várias empresas ao redor do mundo. Preston (2012) ressalta não somente o desafio da colaboração entre as empresas nessas cadeias globais, no sentido de remodelarem os ciclos reversos de maneira a possibilitar os fluxos de materiais nos dois sentidos (em semelhança ao abordado pelo estudo da Fundação Ellen MacArthur), como também a necessidade de alinhar incentivos em toda a cadeia de suprimentos para que, “desde a concepção dos produtos até o relacionamento com clientes, as empresas considerem ativamente o uso de materiais e recursos circulares e características como durabilidade e reparabilidade no cerne de sua estratégia” (Preston, 2012). Outras barreiras decorrentes da complexidade das cadeias globais de suprimentos são analisadas pelos estudos da Fundação Ellen MacArthur em conjunto com o Fórum Econômico Mundial (2013), como visto na seção 3.6, a respeito das perdas ocorridas pela dispersão geográfica dos ciclos de produção e reversos e da complexidade e proliferação dos materiais utilizados nos processos produtivos, que dificultam operações de reaproveitamento dos mesmos em novos ciclos.

Em uma economia globalizada, não só as capacidades técnicas e institucionais representam barreiras à transição para a economia circular, mas também questões políticas e de incentivos e subsídios ao uso de recursos naturais, como destacado por Preston (2012) e pela Fundação Ellen MacArthur (2013). Segundo Preston, “para o mercado responder de maneira eficaz, subsídios que incentivam o uso excessivo de recursos naturais devem ser removidos e todas as ‘externalidades’ devem ser incorporadas no preço desses recursos e de energia”. Outro desafio na economia globalizada é a internacionalização dos mercados financeiros, resultando na rápida proliferação de choques regionais dos preços dos recursos naturais que circulam na economia global, impactando toda a cadeia de produção e consumo (Ellen MacArthur Foundation; WEF, 2013).

As barreiras à transição para a economia circular também são encontradas no lado do consumo e do comportamento do consumidor, segundo a literatura. Para Preston (2012), é preciso que o consumidor incorpore e entenda o valor de produtos “verdes”, o que deve ser impulsionado por empresas e governos através de certificações e rotulagens. Para Zhijun & Nailing (2007), em alinhamento à legislação chinesa de promoção à economia circular que aborda o consumo como um dos quatro pilares para a transição (ver seção 2.6), “os consumidores devem ser parcialmente responsáveis pela reciclagem de produtos consumidos; isso irá incentivar o público a adotar atitudes e hábitos de consumo em concordância com a proteção ambiental; deste modo, os recursos podem ser plenamente explorado e descarga de resíduos perigosos podem ser minimizados”. Outros autores relatam a necessidade de adoção de comportamentos em torno do consumo colaborativo e da mudança de posicionamento do consumidor possuidor de bens para o usuário de serviços (Botsman & Rogers, 2011; Ellen MacArthur Foundation, 2013; Accenture, 2014).

Por fim, muito se aborda na literatura de economia circular o tema da inovação, que é desafio a todos os atores envolvidos na transição – empresas, governos, mercados e consumidores. Zhijun & Nailing (2007) abordam a necessidade de governos e empresas promoverem a inovação tecnológica através de pesquisa e desenvolvimento em torno de novas tecnologias para o uso eficiente de energia, reciclagem, expansão de vida de materiais, novos materiais não tóxicos ao ambiente, redução da poluição e viabilização de cadeias ecológicas de produção entre empresas. Adicionalmente, Preston (2012) ressalta os avanços na tecnologia da informação e comunicação como viabilizadores da economia circular, com o desafio de

aplicação de sistemas de rastreabilidade, infraestruturas inteligentes e compartilhamento de informações nas cadeias de valor, tecnologias que devem, inclusive ser aplicadas nas economias emergentes para promover o desenvolvimento das indústrias em modelos circulares. O estudo da Accenture (2014) ressalta não só a inovação nas tecnologias como também nas capacidades estratégicas e modelos de negócios (ver Tabela 2 e Tabela 3). A Fundação Ellen MacArthur e o Fórum Econômico Mundial (2013) destacam a capacidade de gerar amplo espaço para a inovação em diferentes níveis que a transição para a economia circular vai gerar, ao repensar e redesenhar sistemas inteiros em torno da circularidade, abrindo espaço para empreendedorismo e fortalecimento de economias locais.

As barreiras abordadas nesta seção são importantes pontos de entendimento para pensar os desafios para a transição para a economia circular que será tratada adiante neste estudo. À semelhança do que foi feito na seção 2.6 com os fatores para a transição para a economia circular, para fins de didática, as barreiras tratadas nesta seção estão mapeadas na Tabela 5, ressaltando as correlações com os níveis micro, meso, macro e cadeias globais de suprimentos.

**Tabela 5 - Resumo das barreiras para a transição para a economia circular nos níveis micro, meso, macro e de cadeias globais de suprimentos**

	Nível Micro	Nível Meso	Nível Macro	Cadeias globais
Modelo de desenvolvimento intensivo em recursos naturais			✓	
Dependência de infraestruturas lineares	✓	✓	✓	✓
Altos custos iniciais de investimentos	✓	✓	✓	✓
Desafios na colaboração entre empresas	✓	✓		✓
Complexidade das cadeias globais de suprimentos	✓			✓
Barreiras políticas à precificação de recursos naturais	✓		✓	✓
Choques dos preços de recursos naturais na economia global	✓			✓
Falta de adesão do consumidor	✓	✓		
Desafio da inovação	✓	✓	✓	✓

**Fonte própria, a partir de análise da literatura.**

## 2.9. Conclusões

A economia circular vem se tornando nos anos recentes uma temática de notável relevância para pensar a dissociação do progresso econômico do uso de recursos naturais finitos, em resposta às crescentes pressões e limitações enfrentadas pela economia, como visto no Capítulo I. Trata-se de um conceito que, em si, não é novo, mas que nos anos recentes vem se reformulando e ganhando notoriedade no debate por novos rumos para uma economia verdadeiramente sustentável.

O conceito da circularidade da economia versus a linearidade não é novo e remonta a diversas origens teóricas que se iniciaram sobretudo em torno da década de 1970, com princípios da economia ecológica abordados por Boulding e Georgescu-Roegen, ao utilizarem as Leis da Termodinâmica como forma de justificar a insustentabilidade dos padrões de produção e consumo praticados sob a ótica linear em um sistema fechado como o planeta Terra. Ao longo das décadas, outros importantes conceitos emergiram com intrínseco diálogo à questão de novas formas de se pensar o paradigma de produção, consumo e valoração econômica e que vem sendo incorporados como origens teóricas da economia circular como conceituada e entendida atualmente.

Nas primeiras aplicações práticas na China, a inícios do século XXI, quando o país determinou a economia circular como meio para se atingir o desenvolvimento econômico ao passo que lidava com grave crise ambiental instalada no país em decorrência da então recente aceleração industrial e urbana por que passava, se nota que os principais conceitos estruturantes advinham da noção de ecologia e simbiose industrial, uma vez que, na abordagem chinesa, a economia circular se daria sobretudo na implementação de parques ecológicos industriais, regendo as inter-relações de produção entre as diferentes indústrias.

Reformulado e redesenhado nos anos mais recentes, a partir da segunda década do século XXI, sobretudo em avanços de teoria e prática impulsionados por instituições não acadêmicas e ligadas a setores dos negócios, a economia circular passou a incorporar outras origens teóricas, como o “cradle-to-cradle”, a biomimética, a economia do desempenho, o design regenerativos e outros que culminam atualmente na noção de que se trata de uma forma de pensar a economia de maneira regenerativa e restaurativa por definição. A visão de que a economia deve funcionar como o metabolismo, em constante equilíbrio dinâmico, cujos materiais se classificam como nutrientes técnicos ou biológicos que devem permanecer produtivos – e não atingirem um fim de vida útil para serem descartados – permite enxergar uma economia que não mais depende intrinsecamente da exploração de recursos naturais finitos para prosperar.

A transição para uma economia circular, a partir do atual modelo linear, é um desafio a ser enxergado em diferentes níveis que, segundo a literatura, ocorre dentro das indústrias (nível micro), nas relações entre indústrias naquilo que mais bem se caracteriza através da noção de ecologia e simbiose industrial (nível meso), nas cidades e regiões e a forma como gerem os materiais e energia que adentram seus limites geográficos (nível macro) e nas cadeias globais de suprimentos, nas relações entre entes das cadeias de valor, pensando os mecanismos de produção e ciclos reversos dos materiais a serem estabelecidos para garantir a circularidade da economia global.

Embora sejam muitas as evidências e os direcionadores que mostram que é necessário se afastar de um modelo linear, dissociando o progresso econômico do uso de recursos naturais, também há barreiras e desafios que se mostram para tal transição, notadamente ligadas à permanência do modelo linear, que está instalado e bem estabelecido na economia em todos os níveis. Dado que uma nova economia circular pressupõe uma mudança de paradigma de produção e consumo, de valoração e do pensamento que move a economia, trata-se de uma mudança profunda e sistêmica a mexer com as bases da economia industrial como se deu até o presente.

Fazer a transição de uma economia linear para uma circular mostra-se, então, uma estratégia importante para endereçar questões para um desenvolvimento sustentável e adequado aos limites planetários. Por ser sistêmica, essa transição não se limita ao setor industrial, mas perpassa diferentes setores da economia. Governos são atores chave nesse processo, repensando regulações e incentivos aos modelos circulares, bem como definindo regras e padrões internacionais adequados; o setor financeiro deverá adaptar seus modelos de financiamento para as novas iniciativas de economia circular; o setor de serviços será um espaço de muita inovação e expansão para acomodar as novas capacidades de prestação de serviço e relacionamentos de longo prazo com os clientes; consumidores se adaptarão a um ambiente diferente de acesso a bens e serviços, em que o conceito de propriedade será alterado para o de acessibilidade e haverá mais colaboração e relações entre pares; a educação precisará se adequar para construir novas capacidades, tanto no sentido da visão de mundo mais sistêmica e não linearizada, como habilidades técnicas para as novas funções de trabalho que emergirão; o empreendedorismo e a inovação serão chave para o ambiente de negócios diverso e localizado nas cadeias de valor da economia circular.

## **CAPÍTULO III – A indústria dos metais na economia circular**

### **3.1. Resumo**

O uso de metais na economia desde o início da era industrial é notável, sendo a trajetória de crescimento e econômico global, medido pelo PIB, diretamente atrelada ao crescimento do uso de metais. Alguns metais são mais marcantes nessa trajetória, como o ferro, o cobre e o alumínio, cada um tendo suas ênfases na economia global de acordo com o ganho de escala de aplicações que marcaram a história do desenvolvimento da economia dos diferentes países e grupos de países. O tema da escassez de reservas naturais e também o debate em torno dos impactos sociais e ambientais decorrentes da exploração de reservas naturais de metais acirra a necessidade de se pensar a circularidade dos metais como forma de reduzir a insustentabilidade do modelo linear da economia global no tocante ao uso de metais.

### **3.2. Abstract**

The use of metals in the economy since the beginning of the industrial age is remarkable, and the growth trajectory and global economic, measured by GDP, is directly linked to the growing use of metals. Some metals are most striking in this trajectory, such as iron, copper and aluminum, each having their emphasis on the global economy according to gains in scale of some applications that marked the history of economic development of different countries and groups of countries. The issue of scarcity of natural resources and also the debate on the social and environmental impacts resulting from the exploitation of natural reserves of metals intensifies the need to think the circularity of the metals in order to reduce the unsustainability of the linear model of the global economy in regards to metals use.

### **3.3. Introdução**

Dentro das bases materiais sobre as quais se baseia o modelo de desenvolvimento avançado por uma economia linear, um dos mais notáveis materiais de essencial importância a todo o desenvolvimento da economia até o presente são os metais. Os indicadores de desenvolvimento da sociedade, desde que adentra a era industrial evidencia que o uso e a variedade de aplicações dos metais na economia estiveram diretamente atrelados ao crescimento econômico direcionado pela evolução do PIB.

Ao longo dos séculos XX e XXI, a sociedade industrial avançou rumo às cidades como principal característica do desenvolvimento econômico, tendo se tornado prioritariamente urbana já na primeira década do século XXI. O fator urbanização e toda a infraestrutura que isso demanda é um dos principais direcionadores que atrelam o uso de metais ao crescimento econômico. Somam-se a isso o padrão de consumo material adotado pelas populações urbanas e também os avanços da capacidade de exploração de reservas naturais cada vez mais remotas e de difícil acesso, que permitiu que a sociedade baseasse sua trajetória de desenvolvimento na exploração de recursos naturais e, notadamente, metais, como base crucial da pirâmide material que compõe toda a economia, mesmo quando se trata de serviços.

O tema da escassez de recursos naturais e também a atenção dada à insustentabilidade do modelo intensivo na exploração de recursos finitos da natureza, bem como dos impactos sociais e ambientais resultantes da intensa atividade exploratória faz emergir questionamentos acerca desse modelo linear que tocam no cerne da questão dos metais. Soma-se a isso uma crescente demanda por metais na economia global, que segue crescendo e se desenvolvendo rumo às cidades, a padrões de consumo ainda intensos em materiais e também ao desenvolvimento de novas tecnologias que devem endereçar questões típicas do século XXI, como, por exemplo, a

necessidade de migrar a matriz energética de fontes fósseis para fontes renováveis e, portanto, requerendo a construção de infraestrutura necessária. Por serem recursos finitos e cuja exploração é ponto de partida do modelo linear, atualmente o debate acerca da circularidade na produção e consumo de metais ganha atenção em todo o mundo e é objeto deste capítulo.

O capítulo começa com um olhar sobre a evolução dos metais na economia mundial como uma forma de entender a correlação entre o uso desses materiais e o desenvolvimento da economia industrial até o presente momento, bem como as forças que historicamente influenciaram essa indústria. Através de análises sobre estatísticas e informações sobre metais e mineração, fica clara a estreita ligação entre o modelo de desenvolvimento da economia linear com o uso de metais, evidenciando a dependência desse modelo à extração desses recursos finitos.

Em seguida, a segunda seção do Capítulo traz uma análise dos desafios atuais para os metais, como a crescente demanda por esses materiais em um mundo com crescente população e consumo e acelerada urbanização, bem como os riscos da oferta, que depende da intensa extração de minérios finitos em reservas naturais virgens. Essa seção evidencia a necessidade de repensar o modelo de utilização dos metais na economia, dado o alto desafio que o atual modelo linear enfrenta.

O capítulo é finalizado com uma seção que mostra como os atuais estudos vêm pensando e modelando a transição dos metais para a economia circular, frente aos desafios enfrentados pelo modelo linear em atender as necessidades desses materiais na economia. Dado que metais são uma importante base dos nutrientes técnicos que perpassam a economia, é preciso pensar maneiras de reduzir a necessidade de extração de minérios das reservas virgens prolongando a existência e produtividade daqueles metais que já foram extraídos e estão em uso na economia.

### **3.4. Métodos e Procedimento da Pesquisa**

Este Capítulo foi realizado com base em análises de fontes primárias – dados estatísticos sobre metais na economia – e também fontes secundárias, com bibliografia acadêmica e relatórios de organismos internacionais de pesquisa. Importante ponto de partida para falar da questão dos metais na economia, dos desafios e oportunidades para a transição dos metais para a economia circular, foi o curso “Wheels of Metals: Urban Mining for a Circular Economy”<sup>42</sup> (Rodas dos Metais: Mineração Urbana para uma economia circular, em tradução livre para o português), oferecido em versão “online” na plataforma de ensino aberto Coursera<sup>43</sup> e promovido pela Universidade de Leiden, na Holanda, sob coordenação da pesquisadora Ester van der Voet<sup>44</sup>.

As análises sobre o panorama dos metais na economia foram feitas sobre estatísticas e informações sobre a indústria da mineração e o mercado de metais no mundo, extraídas de

---

<sup>42</sup> O conteúdo do curso inclui análise de ciclo de vida dos metais, histórico e presente da oferta e demanda, escassez e os problemas ambientais associados aos metais, cenários futuros para os metais, analisando possíveis caminhos de atender à demanda crescente por metais de maneira sustentável e, por fim, análise de como criar uma economia circular nos metais como forma de endereçar os desafios analisados.

<sup>43</sup> Coursera é uma plataforma “online” de educação que oferece cursos gratuitamente em parceria com as melhores universidades e organizações de ensino de todo o mundo ([www.coursera.org](http://www.coursera.org)).

<sup>44</sup> Ester van der Voet, PhD no Instituto de Ciências Ambientais da Universidade de Leiden, Holanda e membro do Painel de Recursos do PNUMA. Outros membros do corpo docente do curso são: Prof. Dr. Thomas E. Graedel, professor de Ecologia Industrial na Escola de Florestas e Estudos Ambientais da Universidade Yale, Estados Unidos; Prof. Dr. Markus Reuter, professor na Universidade Stellenbosch, África do Sul, Universidade Aalto, Finlândia, Universidade Centro Sul, China, Universidade de Melbourne e TU Delft, Holanda; Dr. René Kleijn, professor e gestor de projetos no Departamento de Ecologia Industrial da Universidade Leiden, Holanda; Dr. Ir. Erik Offerman, PhD e MSc em Ciência dos Materiais. Todos acima tem participação no Painel de Recursos do PNUMA.

relatórios de organismos mundiais que geram informações sobre o mercado de “commodities” e o uso de recursos naturais (como o Banco Mundial<sup>45</sup>, o Conselho Internacional de Mineração e Metais, ICMM<sup>46</sup> e o Painel Internacional para a Gestão Sustentável de Recursos, ou Painel de Recursos, do PNUMA<sup>47</sup>). Alguns estudos foram chave para contextualizar a correlação entre o modelo de desenvolvimento baseado na economia linear e o uso de metais, com destaque para os estudos de Kleijn et al (2011; 2012) e de Graedel & Cao (2010) e também relatórios de pesquisa de organismos internacionais sobre o uso dos recursos naturais (como o Painel de Recursos, do PNUMA). Esses últimos utilizam diversas fontes acadêmicas, algumas das quais também foram utilizadas separadamente como fonte de informações deste capítulo. Em todos os casos, buscaram-se utilizar as informações estatísticas e qualitativas que refletem o cenário ou séries históricas que incluam o período mais recente de dados existentes e/ou disponíveis para garantir a atualidade desta pesquisa.

Para analisar os desafios de oferta e demanda do uso de metais na economia, foram utilizados estudos que fazem previsões da demanda por metais para a economia nas próximas décadas, incluindo tanto fontes acadêmicas (como os estudos de Klein et al, Graedel & Cao, Preston (2012), Coelho (2014), dentre outros) quanto de instituições ligadas aos setores dos negócios (como o Fórum Econômico Mundial, a Fundação Ellen MacArthur e a McKinsey & Company<sup>48</sup>) e organismos de cooperação e pesquisa internacionais (como o PNUMA e outros). Também se utilizaram estudos que contextualizam as previsões sobre aspectos do desenvolvimento, como previsões de crescimento econômico, populacional e urbano (a exemplo da revisão de índices de urbanização realizada pelo Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais das Nações Unidas<sup>49</sup> e dos estudos da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico, OCDE, sobre o crescimento da classe média em países emergentes).

Para explicar a transição dos metais para a economia circular, na última seção, foram utilizados estudos acadêmicos e relatórios contemplados no curso “Wheels of Metals: Urban Mining for a Circular Economy”, com destaque para os estudos de Graedel (2012), além dos relatórios do Painel de Recursos do PNUMA que tratam da questão dos metais. Esses estudos

---

<sup>45</sup>O Banco Mundial é uma instituição financeira internacional das Nações Unidas, que fornece empréstimos a países em desenvolvimento para os programas de capital; é um componente do Grupo Banco Mundial e membro do Grupo de Desenvolvimento das Nações Unidas. Gera a cada trimestre o documento “Commodity Markets Outlook” (Perspectiva dos Mercados de Commodity, em tradução livre para o português), que foi fonte para este estudo (World Bank, 2015).

<sup>46</sup>O Conselho Internacional de Mineração e Metais (ICMM) foi fundada em 2001 com a missão de tratar do desenvolvimento sustentável na indústria de mineração e metais. Atualmente agrega 21 empresas de mineração e metais, bem como 35 associações nacionais e regionais de mineração e associações de “commodities” globais. Gera diversos informes sobre o papel da mineração e dos metais nas economias nacionais, que foram utilizados como fonte para este estudo (ICMM, 2015).

<sup>47</sup> O Painel de Recursos foi lançado pelo Programa das Nações Unidas para o Ambiente (PNUMA), em 2007, para construir e compartilhar o conhecimento necessário para melhorar a nossa utilização de recursos em todo o mundo. É composto por cientistas das áreas de gestão de recursos naturais e gera relatórios frequentes em torno de descobertas científicas, técnicas e sócioeconômicas ao redor do uso de recursos naturais globais (UNEP).

<sup>48</sup>McKinsey & Company é uma empresa global de consultoria em gestão trabalhando com empresas líderes, governos, organizações não governamentais e sem fins lucrativos em projetos para melhorar o desempenho dessas organizações. Através de seu McKinsey Global Institute, fundado dentro do grupo em 1990, realiza pesquisas sobre negócios e a economia para a compreensão dos aspectos de evolução da economia global.

<sup>49</sup> O Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais das Nações Unidas, por meio de sua Divisão de População, tem gerado, desde 1988, a cada dois anos, estimativas e projeções das populações urbanas e rurais de todos os países do mundo e de seus principais aglomerações urbanas para servir como fonte de informação estatística aberta para uso em pesquisa e mídia.

contemplam tanto a visão de oportunidades da transição dos metais para a economia como também as dificuldades e barreiras técnicas e econômicas.

### 3.5. Panorama dos metais na economia

O modelo de economia linear praticado desde a Revolução Industrial mostra-se altamente dependente do uso de recursos naturais, como visto anteriormente. Trata-se de um modelo intensamente material e, ao favorecer o crescimento econômico ilimitado, tem em sua trajetória uma estreita correlação entre a evolução do PIB e do consumo e extração de materiais da natureza. Nesta seção, será abordada a evolução histórica da economia industrial e a relativa evolução dos metais nessa economia, por se tratar de um importante nutriente técnico<sup>50</sup> e base material fundamental que acompanha os distintos momentos históricos da economia global.

Como visto no Capítulo I, o modelo de crescimento econômico que perdurou durante grande parte do século XX, fundamentado na intensa exploração de recursos naturais virgens, foi possível porque os preços desses recursos decaíam ao passo que a economia crescia. Esse padrão mudou de direção a partir da virada do século XXI, quando os preços e a volatilidade desses recursos naturais, ou “commodities”, aumentaram relativamente ao crescimento da economia, trazendo luz ao debate acerca da necessidade de mudança de paradigma de uma economia linear para uma circular (ver Gráfico 2 do Capítulo I) (Accenture, 2014; World Bank, 2015).

Um grande número de estudos e indicadores evidencia que o uso e a variedade de aplicações dos metais na economia estiveram diretamente atrelados ao crescimento econômico do planeta durante o século XX e até os dias atuais, como mostram métricas do Banco Mundial, estudos do PNUMA, relatórios dos setores dos negócios, para citar alguns. Metais estão diretamente presentes na construção de infraestruturas urbanas e industriais, na manufatura de veículos de transporte e quaisquer artigos eletrônicos e aparelhos eletrodomésticos, mas também indiretamente em todas as cadeias de valor de quaisquer serviços, produtos manufaturados, agricultura, indústria de alimentos, comunicações, saúde, arte, turismo e outros. Comumente mencionados como fatores que justificam essa estreita relação entre crescimento econômico e crescente uso de volumes e variedades de metais estão o fenômeno da urbanização – que faz crescer a demanda por infraestruturas de utilidades, estradas e edifícios –, a eficiência nas tecnologias de exploração e beneficiamento dos metais – que fez com que, ao longo do século, se tornasse mais barato, viável e eficiente explorar reservas cada vez mais difíceis de alcançar na natureza –, o paradigma de consumo baseado em posse material – que determinou o aumento do uso de materiais acompanhando o crescimento das populações e do PIB dos países – e a complexidade do uso de materiais, notadamente metais, nos produtos – que determinou a ampliação dos tipos de metais nesses novos produtos gerados (McKinsey&Company, 2011; UNEP, 2013; Ellen MacArthur Foundation; WEF, 2013; World Bank, 2015; Graedel, et al., 2011; ICM, 2014; Kleijn, *Materials and energy: a story of linkages*, 2012).

Durante todo esse período histórico de paradigma linear da economia, alguns metais tiveram uso destacado, sendo considerados a base da economia. Minério de ferro, alumínio e cobre são os metais de maior intensidade na economia (Graedel & Cao, *Metal spectra as indicators of development*, 2010), seguindo ciclos distintos de produção, como detalhado nos parágrafos a seguir. É notável que a produção e consumo de ferro é de longe a maior de todos os outros metais, como evidenciam os estudos de Graedel & Cao<sup>51</sup> (2010) e de Kleijn (2012), significando mais de 90% da produção global de metais, o que fica evidente no Gráfico 3,

---

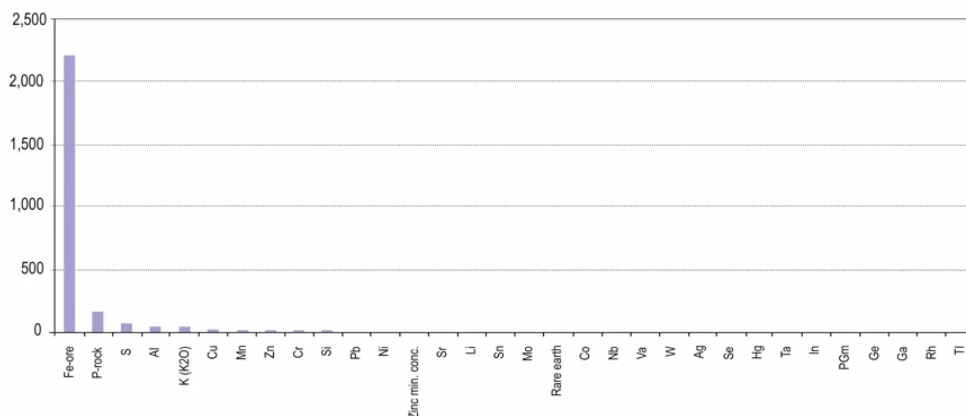
<sup>50</sup> Ver figura 2 “A economia circular – Um sistema industrial restaurativo por princípio”, no Capítulo II.

<sup>51</sup> O estudo de Graedel & Cao (2010) analisou o consumo global per capita de sete metais industriais (ferro, alumínio, cobre, zinco, chumbo, cromo, níquel e prata) no mundo, com dados do ano de 2000.



abaixo, que contém dados de 2008 de produção não só de metais mas também de outros minerais não metálicos. Interessante notar que grande parte dessa produção de ferro global é suprida pelo Brasil e pela Austrália, que dominam cerca de 60% da oferta mundial e também concentram a maior parte dos projetos de investimento de capital em novas minas. Em relação à distribuição da oferta por empresas, quase 50% está concentrada na mão de três empresas: a brasileira Vale, que é a maior do mundo, a inglesa Rio Tinto e a australiana BHP Billinton (BNDES, 2014).

**Gráfico 3 - Produção de ferro e outros elementos (109 kg, 2008)**



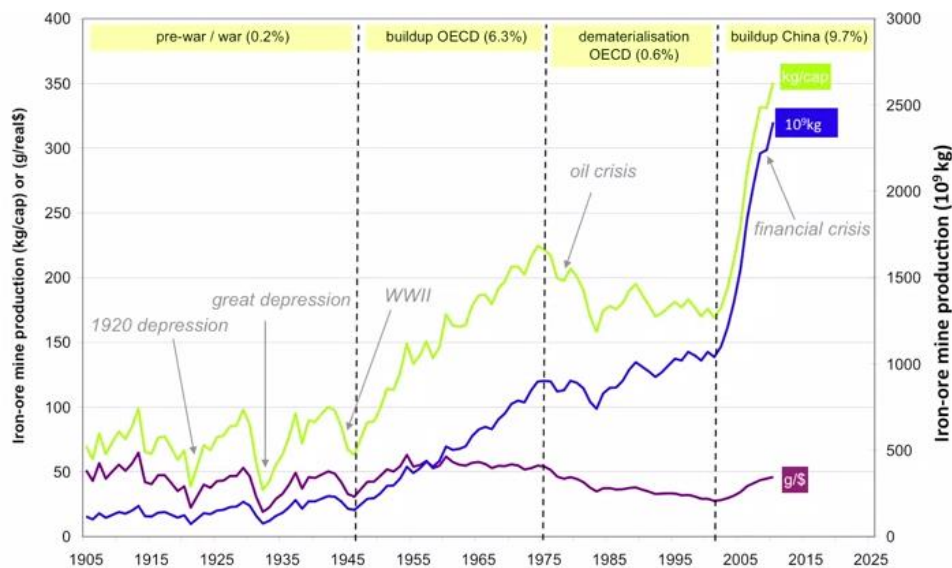
**Fonte:** Aula “Metals in the 20<sup>th</sup> century” (Metais no século XX) em: “Wheels of Metals: Urban Mining for a Circular Economy”, por Prof. René Kleijn.

A partir de início do século XIX, o ferro, usado em forma de aço, passou a ser o material fundamental do progresso social e econômico que então começou a se estabelecer, sendo a base para a construção de máquinas a vapor, ferrovias, trens e navios (UNEP, 2013) e até hoje pode ser considerado um importante indicador de urbanização e desenvolvimento de infraestrutura. Cobre e alumínio ganham importância na economia a partir de fins do século XIX, quando a eletricidade ganha escala, por diferentes motivos: o cobre porque é utilizado na produção, transmissão, distribuição e uso de eletricidade e o alumínio porque, por demandar muita eletricidade para sua extração a partir do minério da bauxita, passa a ser viável explorá-lo (Kleijn, Materials and energy: a story of linkages, 2012).

Uma análise histórica do século XX feita por Kleijn (2012) mostra que a primeira onda de intenso crescimento na mineração desses metais é no período compreendido entre o fim da Segunda Guerra Mundial e meados da década de 1970, quando há forte crescimento urbano-industrial e acúmulo de riquezas materiais dos países da OCDE dado o início da sociedade de consumo e crescimento da classe média nesses países. Após esse período, seguem-se algumas décadas de estabilização e até redução do uso do ferro dada a redução da atividade econômica dos países da OCDE, atribuída por Kleijn à crise do petróleo, e por ser um período em que a atividade industrial e urbana nos demais países era ainda pouco significativa na economia mundial. Nesse mesmo período, a produção de cobre e alumínio seguiu crescendo: o cobre por conta de avanços na eletrificação do mundo e das novas aplicações em bens de consumo elétricos e eletrônicos e o alumínio por conta também de eletrificação, mas sobretudo pelas novas aplicações em carros, aviões, embalagens e também infraestruturas, substituindo, muitas vezes, o uso do ferro. A partir do século XXI, a aceleração do crescimento e urbanização da China e dos países emergentes causam um novo “boom” no uso do minério de ferro e do alumínio, sobretudo, por conta, da construção de infraestrutura urbana. Já a segunda onda do cobre inicia mais cedo, em meados da década de 1990, com a intensificação da era dos computadores e da tecnologia da internet e também com a eletrificação dos países não OCDE.

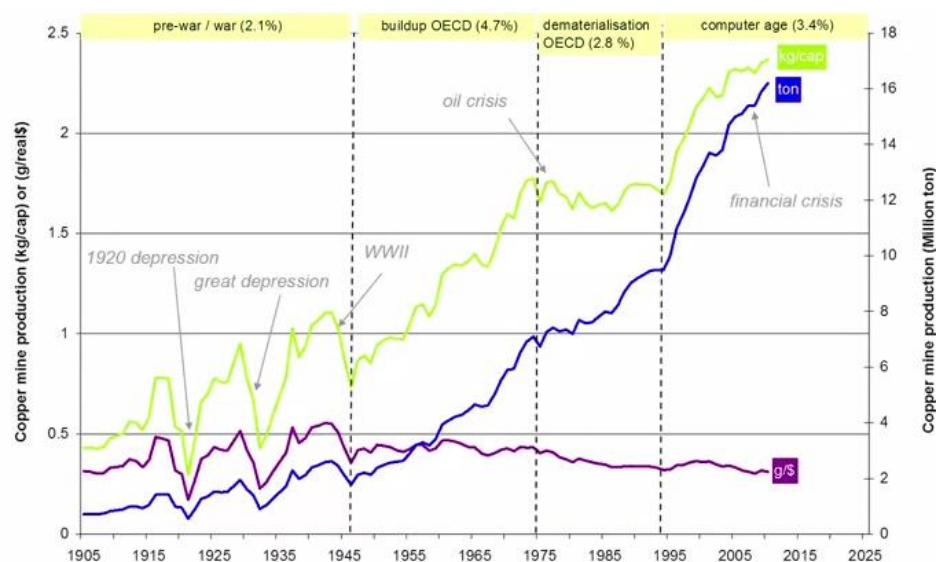
Os Gráficos 4, 5 e 6 a seguir, desenvolvidos por Kleijn a partir da análise de dados de população e PIB (Kleijn *apud* Maddison, 2011) e de produção mineral primária (ou seja, resultado apenas da atividade de mineração, não incluindo volumes reciclados) desses três metais (estatísticas do USGS, United States Geological Survey [Pesquisa Geológica dos Estados Unidos] de 2011), ilustram as curvas de produção desses metais ao longo desses períodos, utilizando três métricas: volume absoluto (tonelada ou  $10^9$  kg), volume per capita (kg/cap) e volume por dólar do PIB (g/\$).

**Gráfico 4 - Tendência global de produção de minério de ferro (1905-2011)**



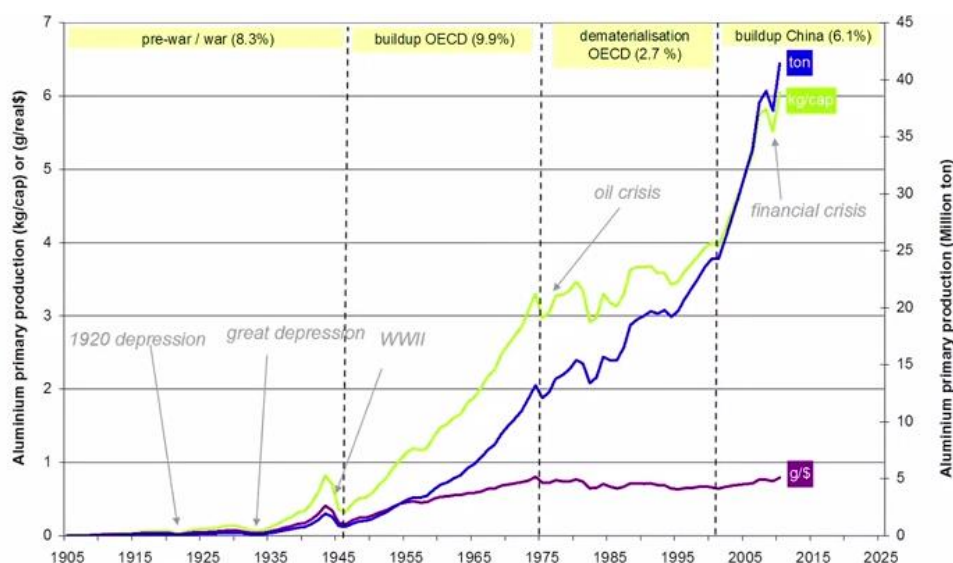
Fonte: Kleijn, 2012, a partir de dados de população e PIB de Maddison (2011) e de produção mineral de ferro do USGS (2011)

**Gráfico 5 - Tendência global de produção de cobre (1905-2011)**



Fonte: Kleijn, 2012, a partir de dados de população e PIB de Maddison (2011) e de produção mineral de cobre do USGS (2011)

**Gráfico 6 - Tendência global de produção de alumínio (1905-2011)**



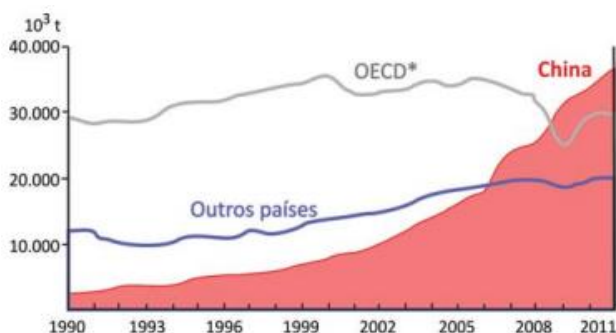
**Fonte: Kleijn, 2012, a partir de dados de população e PIB de Maddison (2011) e de produção mineral de alumínio do USGS (2011)**

Toda essa trajetória de crescimento econômico atrelado ao uso de metais, e, notadamente, a grande aceleração nas taxas de consumo de metais ocorrida a partir da virada do século XXI, atribuída ao rápido crescimento das economias emergentes, denotam uma forte “ligação entre o crescimento da renda e as ‘commodities’”, como analisado por relatório do Banco Mundial (2014). Grande destaque desse período é para a China, que atualmente consome cerca de metade dos metais do mundo devido ao seu processo de urbanização e crescimento industrial, enquanto consumia apenas 5% dessas “commodities” duas décadas atrás. Em contraste, os países industrializados da OCDE mantiveram praticamente estável o nível de consumo de metais nas últimas três décadas, atribuído ao fato de que seus ambientes construídos, urbanos e industriais, pouco se alteraram nesse período (World Bank, 2014), mas, em termos de volumes absolutos, contém grande parte dos estoques de metais em uso<sup>52</sup>, conforme relatório do Painel de Recursos do PNUMA (Graedel, et al., 2010) e como ilustrado no Gráfico 7, abaixo, desenvolvido pelo World Bureau of Metal Statistics<sup>53</sup> (Bureau Mundial de Estatísticas dos Metais, em tradução livre para o português) e publicado no Sumário Mineral (2013) brasileiro, do DNPM.

<sup>52</sup> O conceito de estoques de metais em uso é definido como a quantidade de massa de um determinado metal (puro ou em ligas) existente dentro dos limites de um sistema de uso desse metal em um período específico de tempo. Difere conceitualmente dos estoques naturais (virgens) de metais, que são aqueles ainda não explorados existentes nas jazidas e na crosta terrestre como um todo (Graedel, et al., 2010).

<sup>53</sup> O World Bureau of Metal Statistics (WBMS) é uma instituição independente e não afiliada, que tem como objetivo gerar e disponibilizar dados estatísticos sobre os metais no mercado mundial. Foi lançado em 1947 atuando apenas no mercado de metais do Império Britânico, mas posteriormente expandiu o foco e as fontes de coletas de dados para o espectro mundial.

**Gráfico 7 - Participação da China no consumo mundial de metais de 1990 a 2011**

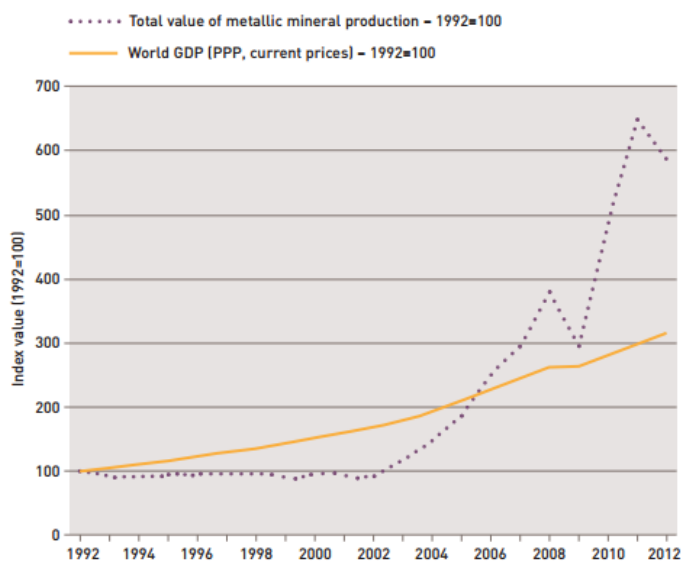


**Fonte: World Bureau of Metal Statistics. Em: DNPM, 2013**

Esse “boom” no uso de metais após a virada do século XXI foi também acompanhada de uma alta histórica de preços desses materiais, conforme visto no Gráfico 8, abaixo, desenvolvido pelo Conselho Internacional de Mineração e Metais (ICMM, da sigla em inglês), correlacionando dados do PIB global com o valor da produção mineral entre 1992 e 2012 (ICMM, 2014). O valor da produção mineral, que havia ficado estagnado na década de 1992 a 2002 atinge níveis históricos na década de 2002 a 2012, alavancadas pela alta demanda da China que significou não apenas aumento do volume da produção mineral como também puxou as altas de preços nesse período. Após os anos 2000, o que se notava no mercado de mineração é que a capacidade instalada não era suficiente para atender à demanda da China por metais naquele momento, o que fez acontecer uma corrida na indústria para expandir largamente a produção, no que se chamou de “superciclo” dos metais (The Economist, 2013). Em pouco tempo, o cenário se opôs, com excesso de oferta e uma demanda decrescente, fazendo cair os preços dos metais, notadamente após o pico de 2011, seguindo em contínua queda até os dias atuais e com previsão de decréscimo nos próximos anos, sobretudo em decorrência de uma desaceleração das taxas de crescimento da China<sup>54</sup> (World Bank, 2015). Mesmo com as baixas de preços dos metais, observadas tanto nos anos recentes como em 2009, após a crise financeira de 2008, eles seguem em níveis historicamente altos. Apesar dessa recente desaceleração, alguns relatórios mostram que esse “superciclo” dos metais só perdeu força, mas não acabou, dado que a China e também os demais países emergentes ainda seguirão demandando grande quantidade de minerais para a urbanização de suas cidades, o que ainda vai exigir investimentos em infraestrutura urbana e produtiva (The Economist, 2013; DNPM, 2013; World Bank, 2015).

<sup>54</sup> No início de 2015, a China divulgou oficialmente mudanças na estratégia de desenvolvimento econômico do país, desacelerando o crescimento econômico a “um novo normal”, ou seja, um patamar de crescimento limitado (como previsto para 2015, em 7%, o menor dos últimos 25 anos).

**Gráfico 8 - PIB global e produção mineral - 1992 a 2012**



**Fonte:** ICMM, “The role of mining in national economies (2nd edition)” (O papel da mineração nas economias nacionais – 2ª edição, em tradução livre para o português)

Em contraste com essa relação entre o crescimento do setor de metais e o PIB global, alguns teóricos analisam que as “commodities” em geral (mineração, agricultura e pesca) vem perdendo importância econômica ao longo do tempo em relação aos demais setores (manufatura e serviços) (Kleijn *apud* Radetzki, 2008). Segundo análise de Kleijn (2012), sobretudo em economias mais avançadas, cada vez mais “o valor adicionado à economia é consequência de conhecimento, inovação e serviços relacionados, em vez de ‘coisas’”. Entretanto, embora a fatia das “commodities” no PIB global seja relativamente pequena comparada aos demais setores, é inegável, segundo análise de Kleijn, que a produção material desses bens seja “a base fundamental da pirâmide econômica”, não existindo produtos e serviços sem a existência de materiais. Diante dessa importância e tendo em vista a complexidade e os desafios que a produção dessas “commodities” impõe, inclusive por conta da crescente demanda (especificamente por metais), que será analisada na seção 3.6, é interessante repensar a maneira como o fluxo desses materiais transita na economia rumo a uma maior circularidade.

### 3.6. O desafio de demanda e oferta dos metais na Economia Linear

Olhando para o futuro, algumas tendências socioeconômicas demonstram que a demanda por metais na economia global seguirá crescente ao passo que os riscos relacionados à oferta seguem ganhando notoriedade. Pelo lado da demanda, as tendências comumente destacadas pela literatura são a crescente urbanização, sobretudo nos países emergentes, o crescimento do poder aquisitivo nesses países adentrando o modelo de sociedade de consumo e, com isso, o aumento pelo consumo de bens e, ainda, o desenvolvimento das futuras tecnologias sustentáveis<sup>55</sup>, que vem sendo trabalhadas cada vez com mais afinco globalmente como forma

<sup>55</sup> O termo futuras tecnologias sustentáveis não tem definição oficial, mas foi utilizado pelo relatório feito por pesquisadores do Öko-Institute e UNEP, “Criticalmetals for future sustainable technologies and their recycling potential” (Metais críticos para as futuras tecnologias sustentáveis e seus potenciais de reciclagem, em tradução livre para o português) para definir as tecnologias que, segundo o relatório, substituirão tecnologias atuais obsoletas reduzindo impactos ambientais, promoverão redução das emissões, permitirão uso eficiente de energia durante os ciclos de produção e consumo e poderão ser usadas para monitoramento de comportamentos políticos e sociais que causem impactos ambientais negativos (Buchert, Schüler, & Bleher, 2009). Outros termos também vêm sendo aplicados por diferentes estudos para tratar de novas tecnologias que promoverão uma economia menos intensiva em carbono, como o termo “tecnologias verdes” e outros (McKinsey&Company, 2011; Kleijn, Voet, Kramer,

de promover uma economia de baixo carbono<sup>56</sup> e que demandarão uma grande gama e volume de metais (McKinsey&Company, 2011; Voet, Salminen, Eckelman, Mudd, Norgate, & Hischer, 2013; WEF, 2014; Buchert, Schüler, & Bleher, 2009). Pelo lado da oferta, o tema da escassez de reservas naturais de metais voltou a ser tratado globalmente após a crise de 2008 com intensidade não vista desde a década de 1970 (Kleijn, 2012) e, além disso, a discussão acerca dos impactos ambientais da produção de metais, sobretudo em termos do uso de energia e água, mas também mais especificamente dos impactos locais da atividade de mineração, nos ecossistemas e paisagens pela poluição de solos, água e ar, também seguem com grande importância no debate sobre o uso desses materiais na economia (Voet, Salminen, Eckelman, Mudd, Norgate, & Hischer, 2013). Esta seção explora o debate do desafio imposto pela oferta e demanda futuras dos metais, com olhar específico sobre a indústria de mineração, e como a economia circular pode endereçar essas questões e promover uma maior sustentabilidade no uso de metais na economia.

Embora o “superciclo” dos metais de início do século XXI venha dando sinais de desaceleração, como visto na seção anterior, ainda é notável o cenário de previsões futuras de demanda por metais, dada a forte presença desses materiais nas diversas cadeias produtivas em que se preveem expansão para as próximas décadas. O tema da urbanização é de especial importância nesse debate já que, de acordo com prospectos das Nações Unidas, a população mundial, que já é majoritariamente urbana desde 2010 e, em 2014, significava 54%, tende a se urbanizar ainda mais nas próximas décadas, chegando a 66% da população vivendo em áreas urbanas em 2050 (United Nations, 2014), intensificando a demanda por metais para a construção das novas infraestruturas. O estudo “Resource Revolution: Meeting the world’s energy, materials, food and water needs” (A Revolução dos Recursos: atendendo às necessidades do mundo por energia, materiais, alimento e água, em tradução livre para o português), desenvolvido pela McKinsey & Company, faz uma análise sobre o aço, liga formada sobretudo pelo ferro e de alta importância na economia por estar presente em praticamente todas as infraestruturas urbanas e industriais, prevendo crescimento da 80% da demanda entre 2010 e 2030 em decorrência do processo de urbanização e de expansão da indústria (McKinsey&Company, 2011). O relatório “Environmental Risks and Challenges of Anthropogenic Metals Flows and Cycles” (Riscos e desafios ambientais dos ciclos e fluxos antropogênicos dos metais, em tradução livre para o português), desenvolvido pelo Painel de Recursos do PNUMA, além de reforçar a crescente demanda por aço decorrente da urbanização, mostra também um cenário de forte demanda por metais como o cobre, por conta da constante eletrificação dos países emergentes, o alumínio, o magnésio e o titânio, pela crescente aplicação nos transportes e em embalagens, no atendimento às necessidades dessa crescente população urbana (Voet, Salminen, Eckelman, Mudd, Norgate, & Hischer, 2013).

Somam-se a isso previsões de crescimento da classe média global, intensificando o consumo de bens e, portanto, a demanda por metais— segundo dados, entre 2,5 e três bilhões de consumidores adicionais são esperados para integrar a classe média em 2030 (100% de

---

Oers, & Giesen, 2011). Esse conceito é aplicado nesta pesquisa como uma maneira de resumir diversas tecnologias que vem sendo preconizadas por setores do desenvolvimento e dos negócios como tendências futuras para promover uma transição para novos padrões mais sustentáveis de produção e consumo e que demandarão alto uso de metais.

<sup>56</sup> Nesse sentido, cabe mencionar que o documento resultante da Conferência das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável no Rio de Janeiro, em 2012, chamado “O futuro que queremos”, determina em compromisso entre os membros participantes que importantes esforços para o desenvolvimento sustentável devem ser aplicados nas tecnologias de energias renováveis, edifícios e equipamentos eficientes em uso de recursos e de energia, sistemas de transporte público de baixo carbono, infraestrutura para os veículos eficientes em termos de combustível e de energia limpa, e instalações eficientes de gestão de resíduos e reciclagem. Todos esses dependem fortemente de metais, reforçando a demanda para as futuras tecnologias sustentáveis.

crescimento em relação a 2013) (Kharas, 2010; McKinsey&Company, 2011; Preston, 2012), no mais veloz crescimento de renda da história, sendo considerado pelo Banco Mundial um momento de “potencial bomba-relógio” no consumo de recursos, colocando em foco a questão da insustentabilidade do modelo de consumo linear que vem sendo praticado. Essa demanda por metais para atender ao crescente consumo da sociedade é significativa tanto em volume quanto em diversidade de metais, dado que esses bens de consumo são cada vez mais complexos em sua composição, como mostra o estudo de Kleijn (2012), que destaca os bens elétricos e eletrônicos, expoentes no consumo atual, como responsáveis por um grande aumento do número de metais utilizados na economia, já que, segundo o estudo, “o número de elementos da tabela periódica utilizado na produção de um microchip aumentou de doze em 1980, para dezesseis, em 1990 e para mais de sessenta na década de 2000”.

Outro importante aspecto sobre a demanda de metais recai sobre o debate das mudanças climáticas, que, segundo estudos do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, da sigla em inglês), vai exigir uma redução de cerca de 50% a 80% das emissões de gases de efeito estufa global em relação aos níveis atuais, tornando imperativa a transição para uma economia baseada em energia de baixo carbono, com medidas que aumentem a eficiência energética e também pela mudança para matrizes não fósseis e renováveis (Metz, Davidson, Bosch, Dave, & Meyer, 2007) – o que vai em linha com os princípios da economia circular, como visto no Capítulo II. Dado que cerca de 40% das emissões de gases de efeito estufa são resultantes da produção de energia, o desenvolvimento de novas tecnologias de geração e também de uso eficiente dessas novas energias não fósseis ou fósseis demandará grandes volumes e diferentes tipos de metais para construir a infraestrutura necessária para essa transição, como turbinas eólicas, painéis solares, baterias para armazenamento de energia, produção a partir de diferentes biomassas agrícolas, catalisadores, veículos elétricos dentre outras. Metais necessários para o desenvolvimento dessas novas tecnologias são níquel, cobre, alumínio, lítio, cobalto, telúrio, gálio, germânio, índio, dentre outros (Kleijn, Voet, Kramer, Oers, & Giesen, 2011; Voet, Salminen, Eckelman, Mudd, Norgate, & Hischier, 2013).

Pelo lado da oferta de metais, em contraste com essa crescente demanda, uma série de restrições são tratadas pela literatura ao constante e crescente suprimento de metais à economia no modelo “business as usual”, ou seja, com formas de produção e consumo que seguem a lógica linear de “extração-transformação-descarte”, afirmando a necessidade de uma transição para um modelo de economia circular que possa, ao mesmo tempo, atender às demandas mencionadas nos parágrafos anteriores ao passo que reduz a pressão sobre os recursos naturais virgens e o ambiente. No início desse modelo linear, ou seja, na etapa de extração, está a indústria da mineração, que impõe significativos impactos locais ao ambiente e às comunidades que devem ser endereçados e minimizados; a demanda por energia (dominada por fontes fósseis) e conseqüentemente as emissões sobretudo das etapas de extração e refino dos metais é de extrema importância para o consumo global de energia e, portanto para as emissões de gases de efeito estufa que se devem minimizar; o desperdício de metais durante essas etapas de produção e, principalmente, no fim do ciclo de vida representa uma perda material inconsistente com as altas demandas por metais; por fim, o tema da escassez de reservas na natureza, que implicam tanto em redução forçada da atividade mineradora como em crescentes esforços para alcançar novas reservas de difícil acesso e cara exploração completam a gama de desafios pertinentes ao uso de metais na economia e que vem sendo tratados pela literatura (McKinsey&Company, 2011; Voet, Salminen, Eckelman, Mudd, Norgate, & Hischier, 2013; WEF, 2014).

Ponto inicial da cadeia de produção linear dos metais, a indústria da mineração é responsável por inúmeros impactos negativos ao ambiente e à saúde nas comunidades próximas às localidades minerárias, como amplamente mostrado na literatura. Impactos socioambientais comumente associados às atividades mineradoras são a contaminação de solos e águas por

vazamento de substâncias tóxicas, degradação dos ecossistemas, poluição atmosférica e sonora, graves acidentes de trabalho, remoções de populações de suas áreas tradicionais, impacto cultural em regiões afastadas, além de alteração radical da paisagem e do terreno (Graedel, et al., 2011; Voet, Salminen, Eckelman, Mudd, Norgate, & Hirschier, 2013; Coelho, 2014).

Além dos impactos locais, em escala global, a produção primária de metais, considerando a etapa de extração e refino, é responsável por 7 a 8% do uso total de energia e portanto das emissões de gases de efeito estufa relativas à energia, sendo a produção de aço e alumínio as mais significantes em decorrência do volume que representam na economia (UNEP, 2013; Voet, Salminen, Eckelman, Mudd, Norgate, & Hirschier, 2013). Com a demanda crescente por metais, essas emissões tendem também a crescer, ainda que atenuadas por avanços em eficiência energética e de produção na mineração e refino. Entretanto, dado que a escassez das reservas de diversos metais é iminente, como será visto adiante, a demanda por energia para explorar reservas com cada vez menos qualidade segue crescendo aumentando o uso de energia por unidade de metal extraído e, portanto as emissões. De acordo com relatório do Painel de Recursos, do PNUMA, “atualmente, dependendo do tipo de metal, cerca de três vezes mais materiais precisam ser movidos para a extração do mesmo minério em relação a um século atrás, com aumentos concomitantes de perturbação do solo, implicações em águas subterrâneas e uso de energia” (Fischer-Kowalski, et al., 2011).

Também associado ao modelo linear de extração e uso dos metais está a grande perda de metais ao longo do processo produtivo e, sobretudo, no fim do ciclo de vida, acentuando o tema da escassez de reservas naturais a serem exploradas. Durante o processo de mineração e refino, uma série de etapas geram perdas minerais que deflagram ineficiências no processo, embora muitas empresas mineradoras já estejam aumentando sua eficiência produtiva com novas tecnologias. Entretanto, as maiores perdas de metais estão no fim do ciclo de vida útil dos produtos, quando se tornam sucatas em verdadeiras “minas sobre o chão” ou “minas urbanas”, termo que passou a ser amplamente aplicado nos estudos voltados para a circularidade dos metais na economia, como em Preston (2012) e em Graedel, et al (2011).

Na seção a seguir, será aprofundado o tema dos metais na economia circular como uma forma de endereçar os desafios de oferta e demanda por esses materiais fundamentais à economia. Um olhar sobre a capacidade de reduzir a necessidade de extração de recursos primários das reservas da natureza priorizando a extração secundária, ou seja, aquela sobre reservas que já foram extraídas e que, em um modelo linear, são vistas como perdas ou descarte.

### **3.7. Transição dos metais para a economia circular e o conceito de “mineração urbana”**

Diante dos desafios de oferta e demanda de metais em um modelo linear, conforme abordado na seção 3.6, pensar uma transição do fluxo dos metais para um modelo circular torna-se um imperativo para a economia atual de modo a permitir que a demanda seja atendida ao passo que os riscos da oferta sejam superados. Nesta seção, será aprofundada a visão sobre a transição dos metais, considerando toda a sua cadeia produtiva, desde a mineração, com base na bibliografia existente até o presente momento no mundo sobre este tema.

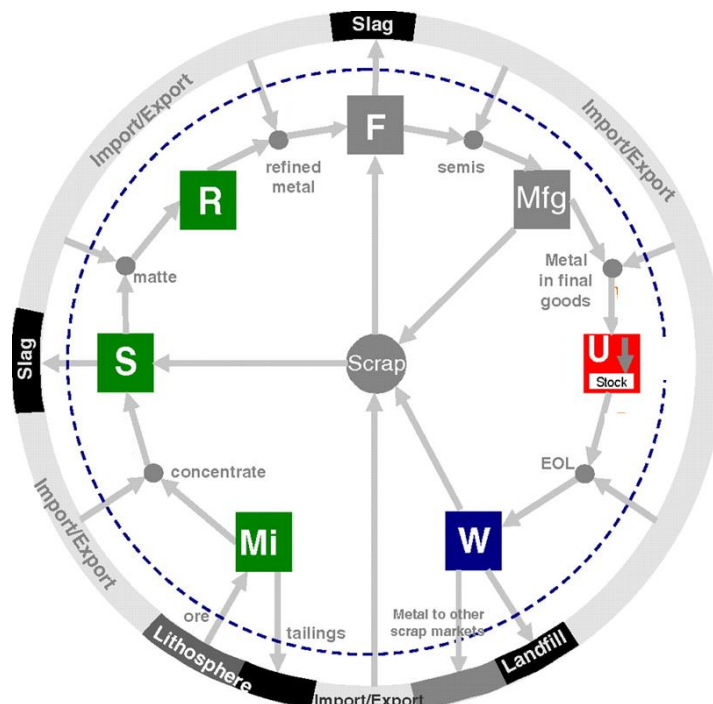
Como visto em Brunner (2011), metais são a espinha dorsal da economia, mesmo naquelas sociedades mais avançadas que se baseiam em grande parte na economia de serviços. Tendo em vista que os metais são grande parte da base dos nutrientes técnicos (para mais detalhes sobre nutrientes técnicos, ver Figura 2, da seção 2.6) que adentram a economia, transitar a atual economia industrial linear para uma economia circular depende de novos modelos de negócios que permitam minimizar a extração de recursos naturais virgens mantendo produtivos os estoques de metais já extraídos da natureza nos ciclos de produção e consumo. Segundo Stahel (2013), a noção de gestão de estoques, em detrimento da visão de insumos de rendimento linear, é uma mudança crucial para a economia circular e que se aplica bem aos metais, como será



visto a seguir. Segundo estudos analisados para este Capítulo, a noção de recuperação e reciclagem de metais perdidos durante o processo produtivo ou em fim de vida útil para aplicação em novos ciclos é a maneira mais eficiente de se promover circularidade nas cadeias de metais, mantendo produtivos os estoques já extraídos das reservas da natureza e minimizando a extração de novos estoques em reservas naturais (Fischer-Kowalski, et al., 2011; UNEP, 2013).

O grande aumento do uso de metais ao longo do século XX e início do XXI, como visto na seção 3.5, fez com que houvesse uma substancial transferência de estoques de metais desde o subsolo até a superfície em diversas aplicações na sociedade (Graedel, et al., 2011) o que, segundo Preston (2012), poderia gerar uma economia para gerir esses depósitos de alta qualidade de metais através do processo de reciclagem, ou seja, de recolocação de metais secundários na economia em substituição aos metais primários extraídos da natureza pela atividade de mineração. Em um mundo em que explorar novas reservas minerais virgens se torna mais desafiador a cada dia, como ressalta Fischer-Kowalski, et al. (2011), isso permitiria tanto lidar com o tema da escassez de reservas minerais como reduzir a pressão dos impactos da atividade mineradora, como ressalta Graedel em prefácio ao estudo “Metal Recycling – Opportunities, Limits, Infrastructure”, do PNUMA (Reciclagem de Metais – Oportunidades, Limites e Infraestrutura, em tradução livre para o português) (UNEP, 2013).

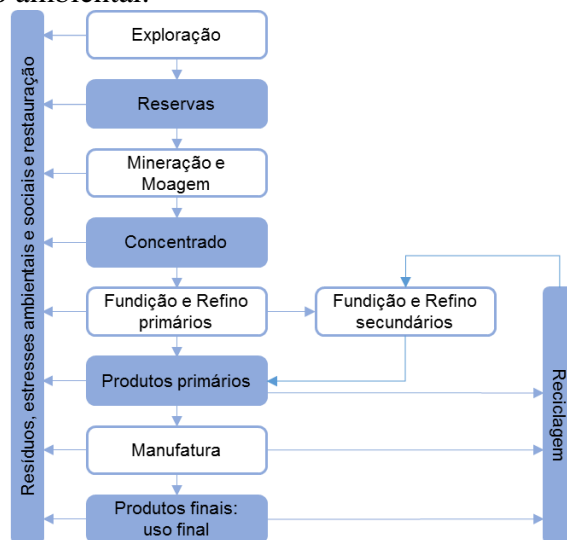
A Figura 7 abaixo, desenvolvida por Graedel & Cao (2010) como metodologia de análise de fluxo de materiais, evidencia os pontos onde ocorrem as perdas de estoque ao longo do ciclo dos metais, representado na figura por quatro principais processos: (i) produção (consiste nas etapas de mineração e moagem [Mi], fundição [S] e refino [R]), (ii) fabricação (F) e produção (Mfg), (iii) uso e estoque (U) e (iv) gestão e reciclagem de resíduos (W). Na figura, todos os pontos de perdas nos processos produtivos estão sinalizados como “slag” (escória) e as perdas de metais beneficiados e de alta qualidade em fim de vida útil são marcadas como “scrap” (sucata).



Fonte: T. E. Graedel, and J. Cao. Metal spectra as indicators of development. PNAS 2010;107:20905-20910

Figura 4- O diagrama genérico circular para o ciclo tecnológico de um metal

Outra representação desse ciclo de metais e dos pontos de perda produtiva está na Figura 8, abaixo, com elaboração do ICMM que mostra também que, além de perdas materiais ao longo da cadeia produtiva dos metais, cada uma das etapas dessa cadeia, no modelo linear atual, tem também como resultantes estresses ambientais e sociais e situações que demandam restauração ambiental.



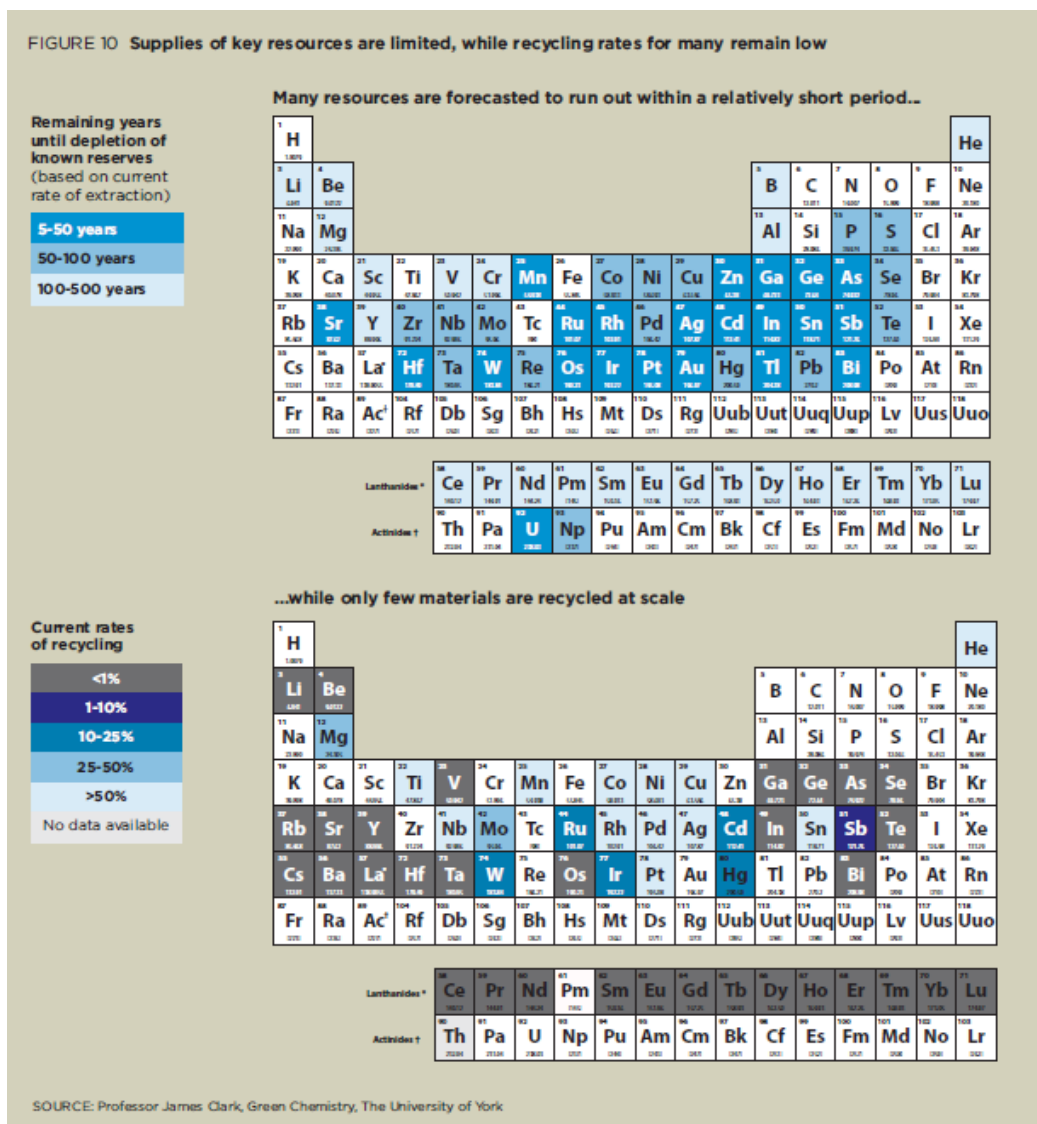
**Fonte:** ICMM, “The role of mining in national economies (2nd edition)” (O papel da mineração nas economias nacionais – 2a edição, em tradução livre para o português)  
**Figura 5– O ciclo de vida mineral**

Fica evidente na literatura estudada que vislumbrar a economia circular na cadeia produtiva dos metais depende tanto de uma visão de eficiência do uso de materiais nos processos produtivos, através da recuperação de materiais atualmente perdidos como “escória” de produção (ver Figura 4), mas também, e, sobretudo, daqueles que se tornam “sucata” resultante do fim vida útil dos produtos dos quais são componentes (como por exemplo em produtos eletroeletrônicos e outros com componentes metálicos), por serem metais de alta qualidade e já beneficiados (Stahel, 2013; UNEP, 2013). Do ponto de vista do aumento de eficiência dos materiais nos processos produtivos uma oportunidade de aumentar a circularidade está nos fatores observados no Capítulo II para os níveis micro e meso (ver seção 2.7).

Apesar da clara necessidade demonstrada na literatura de que é preciso reduzir o estresse e as perdas da produção de metais típicas de um modelo linear através da adoção de modelos de circularidade – endereçando os desafios abordados na seção 3.6 – atualmente, as taxas de recuperação e reciclagem de metais ao longo da cadeia de produção e consumo são ainda incipientes ante à oportunidade potencial. Estudo do Painel de Recursos, do PNUMA (2011) analisou as taxas de reciclagem após o fim do ciclo de vida (pós consumo) de 60 metais da tabela periódica e concluiu que grande parte dos metais não atinge nem 1% de reciclagem, enquanto outros metais de alto valor, como ferro (na forma de aço), ouro, alumínio, cobre, magnésio, níquel, prata, manganês, zinco, dentre outros, passam de 25% e até de 50% de reciclagem pós-consumo.

Um outro estudo, apresentado pelo Professor James Clark, da Universidade de York, no Reino Unido (Clark, 2013), relaciona essas baixas taxas de reciclagem às previsões de esgotamento de reservas desses metais na natureza, evidenciando que há forte pressão nesses recursos no modelo linear da economia, dada a incapacidade da economia atual de manter os estoques existentes de metais, ou seja, aqueles já extraídos da natureza e em uso de diversas formas, com qualidade nos ciclos produtivos, de maneira a reduzir a necessidade de contínua extração desses recursos finitos da natureza. De acordo com esse estudo, alguns metais importantes para a economia, como ouro, prata, tungstênio e outros tem suas reservas naturais

conhecidas previstas para esgotar entre cinco e cinquenta anos, enfatizando o tema da escassez de recursos como um direcionador para a economia circular. A Figura 6, abaixo, editada e publicada em estudo da Fundação Ellen MacArthur e do Fórum Econômico Mundial, mostra em imagens de duas tabelas periódicas as previsões de esgotamento de reservas naturais conhecidas de cada elemento versus as taxas de reciclagem, mostrando uma oportunidade importante para a economia circular no que tange os metais (Ellen MacArthur Foundation; WEF, 2013).



Fonte: Professor James Clark, Green Chemistry, The University of York, em “Towards the Circular Economy – Accelerating the Scale-up through Global Supply Chains”, Fundação Ellen MacArthur e Fórum Econômico Mundial, 2013.

Figura 6 - Oferta de recursos chave é limitada, enquanto taxas de reciclagem são baixas

A restrita capacidade de recuperar metais a partir de fins de ciclo de vida útil demonstrada nos estudos do PNUMA e do Professor James Clark resulta, segundo estudo do Painel de Recursos do PNUMA (UNEP, 2013), de uma crescente complexidade do uso dos metais e outros materiais nos produtos finais e da também complexa interação dos sistemas de reciclagem. O estudo atribui as relativamente altas taxas de reciclagem de metais mais comuns, como cobre, aço e magnésio ao fato de que são majoritariamente utilizados em produtos com pouca complexidade de materiais, ou seja, poucos componentes formam os produtos (como fios

de eletricidade, estruturas metálicas, entre outros), enquanto outros metais têm menores taxas de reciclagem porque são em geral usados em produtos que contém muitos tipos de materiais, como os eletroeletrônicos, que chegam a utilizar mais de quarenta tipos de metais e outros materiais. Para lidar com essa complexidade, o estudo propõe que uma gestão sustentável dos estoques de metais deve não ser centrada na reciclagem de materiais, mas sim de produtos, o que depende de toda uma reformulação das cadeias de valor, desde os operadores da produção dos metais primários e dos produtos que contém metais até o consumidor e as cadeias reversas de coleta e, para garantir a correta valoração desses estoques.

Atualmente, como enfatizado no estudo do PNUMA (UNEP, 2013) e em iniciativas que analisam o tema da reciclagem de produtos eletroeletrônicos, o mercado de recuperação desses produtos mais complexos é incipiente e bastante permeado de informalidade e ilegalidade e, conseqüentemente, de danos sociais e ambientais. É o que ocorre nas cadeias globais de reciclagem de resíduos eletrônicos, como mencionado no Capítulo II, em que, dada a pouca estruturação dessas cadeias como mercados que poderiam recuperar grandes volumes de metais para adentrarem novos ciclos produtivos, acabam resultando em perdas e danos ao ambiente e à saúde de pessoas pelo manejo inadequado e, muitas vezes, ilegal desses produtos (ver seção 2.7) (Basel Convention, 1989; StEP Initiative, 2009; Bilitewski, 2012).

Uma importante linha de pensamento nesse sentido que emerge na literatura é a visão de que as cidades são verdadeiras “minas urbanas”, já que, como visto nas seções 3.5 e 3.6, a urbanização é um dos principais fatores de aumento do consumo de metais na economia e, portanto, representariam um grande potencial de suprir a demanda por metais secundários a partir da estruturação de processos eficientes de recuperação desses metais. O termo “mineração urbana” ganha então espaço na literatura que trata da circularidade dos metais e, segundo Brunner (2011), embora ainda não tenha uma definição única entre pesquisadores, denota a reutilização sistemática de materiais antropogênicos de áreas urbanas, dado o fato de que há grandes estoques nessas regiões, sobretudo em edifícios e outras estruturas, que significam potenciais reservas de recursos secundários, mas também dos demais produtos mais complexos, como os eletroeletrônicos, cujos maiores estoques no mundo se encontram em cidades, que se tornarão disponíveis para uso ao final de vida útil dos produtos.

Para Brunner, para que a “mineração urbana” possa de fato se tornar um mercado significativo no atendimento da demanda global por metais e, portanto, para se gerar circularidade nos metais, é preciso alavancar a geração de informações sobre os fluxos e estoques de materiais e substâncias ao longo do ciclo de vida dos produtos dos quais são componentes, formando um “banco de dados de recursos secundários” para que se possa desenvolver o mercado de ciclo reverso adequadamente, bem como tecnologias de recuperação dos metais. Segundo o autor, essas informações seriam cruciais para que o atual cenário de recuperação de metais saísse do patamar de reciclagem para um patamar de “mineração urbana”, em que de fato a demanda pela extração de metais de reservas naturais fosse minimizada em decorrência de uma maior circularidade na produção e consumo de metais.

Cabe notar que, dado que a demanda global por metais é crescente e os estoques nem sempre se disponibilizam para a recuperação de materiais secundários, como observam alguns autores, mesmo com a ampliação da circularidade nos metais, segue havendo a necessidade de extração primária nos estoques naturais, embora seja minimizada a etapa de mineração em uma escala global. O conceito de “mineração urbana”, embora ainda não tão estritamente definido, segue sendo um campo para futura exploração e potencial de ser um importante fator para se ampliar a transição para uma economia circular nos metais, dada a permeabilidade desses recursos na economia como um todo e, notadamente, em decorrência do modelo de intensa urbanização com que a sociedade se desenvolveu desde o início da economia industrial.

### **3.8. Conclusões**

Metais são a base da pirâmide material da economia, estando o consumo desses materiais historicamente atrelados ao crescimento econômico global. A análise do uso de alguns metais na economia mostra as características dos diferentes momentos do desenvolvimento da economia industrial e das tecnologias que acompanharam o progresso econômico global.

Historicamente, nos séculos XX e XXI a sociedade viveu uma grande dependência sobretudo do ferro, que compôs grande parte das estruturas que se desenvolveram no estabelecimento da própria sociedade industrial que rumou quase sempre aos caminhos da urbanização como principal indicador de desenvolvimento. O crescimento econômico, medido pelo PIB, e o crescimento da população urbana, como métricas de desenvolvimento, sempre foram acompanhados pelo crescimento do uso dos metais. Inicialmente com predominância do ferro, depois com a evolução do cobre e do alumínio, e então de outros metais, ampliando significativamente a gama de metais aplicada na economia global.

Metais são materiais chave para as infraestruturas urbanas, os bens de consumo duráveis ou não, os transportes e todas as tecnologias disruptivas que mudaram por diversas vezes os rumos da economia global. São até mesmo a base para economias mais dependentes de serviços, o que evidencia que mesmo aquelas formas mais imateriais do fazer econômico dependem intrinsecamente do uso de metais. E, apesar de serem recursos finitos em reservas da natureza, deles depende inclusive a transição da atual economia global intensiva em carbono para uma economia baseada em energias renováveis, rumo que já se diz inevitável à economia ante à grave crise climática instalada.

Fica então o desafio a ser lidado entre a crescente demanda por metais e a crescente necessidade de se pensar novas formas de obter os metais necessários para suprir a demanda global sem, no entanto, seguir impondo pressão nos recursos naturais. A atividade mineradora, responsável por colocar nas cadeias de produção e consumo os metais primários extraídos das reservas da natureza, modelo típico de uma economia linear, é frequentemente deparada com desafios como o da escassez de recursos naturais e do questionamento aos graves impactos ambientais e sociais que dela decorrem.

Nesse sentido, é crucial pensar a transição dos metais para a economia circular, reduzindo a dependência da economia global da extração das reservas virgens finitas. A noção de gestão de fluxos e estoques, preconizada por diversos autores, tem como objetivo alcançar a recuperação de metais que já foram extraídos da natureza, seja eliminando as perdas nos processos produtivos, ainda abundantes, seja aproveitando estoques que estão na superfície, ou as “minas urbanas”, formada por produtos em fim de vida útil, como forma de obter metais secundários para satisfazer a demanda por esses recursos na economia global.

O conceito de “mineração urbana” emerge como uma evolução à noção de reciclagem e vem sendo explorado e aprofundado como uma forma importante de circularidade na produção e consumo de metais. Análises sobre informações de estoques e fluxos de metais na economia, bem como uma mudança de foco da noção de reciclagem de metais para a visão centrada em produtos nos quais metais são componentes são algumas das visões que se vem abordando na literatura para promover uma maior capacidade de manter produtivos em ciclos de produção e consumo os metais já extraídos da natureza, reduzindo a necessidade de explorar novas reservas naturais e, portanto, aumentando a capacidade dos metais transitarem para a economia circular.

## CONCLUSÃO GERAL

O modelo econômico linear praticado predominantemente na era industrial, caracterizado pela intensa exploração de recursos naturais finitos e intensas perdas materiais na forma de resíduos dá sinais de fragilidade e, dentre intensos debates ao redor de novas alternativas ao modelo, a economia circular é uma linha de pensamento que surgiu a inícios do século XXI e vem ganhando projeção internacional. Embora ainda seja um conceito em plena construção e, portanto, cuja bibliografia e experimentação esteja evoluindo, trata-se de uma noção que não é inteiramente inédita, tendo incorporado conceitos de diversas escolas de pensamento na definição de um novo modelo que requer uma mudança sistêmica da forma como são pensados os fluxos de materiais e energia na economia.

Muitos esforços recentes de instituições ligadas ao setor dos negócios, a governos e à academia estão evoluindo e expandindo a noção de economia circular, sendo hoje bastante evidente em discussões globais, como as discussões climáticas e pelo desenvolvimento sustentável, como sendo uma alternativa que se mostra aderente à noção de progresso e crescimento econômico e também ao aumento de resiliência e sustentabilidade da economia ante os limites ecológicos do planeta. No cerne dessa combinação está a ideia de promover uma economia que se baseia em mecanismos de geração de valor econômico dissociado do uso de recursos naturais finitos.

Alguns princípios norteadores são trabalhados na economia circular, como a ideia de preservar capital natural na economia, controlando os estoques finitos e equilibrando o fluxo de recursos renováveis; otimizar reservas e estoques de recursos circulando produtos, componentes e materiais em uso sempre em sua máxima capacidade, eliminando perdas materiais do sistema da economia; promover efetividade sistêmica excluindo desde o princípio as externalidades negativas, como aquelas que resultam em degradação da saúde ambiental e humana. Diversas iniciativas começam a experimentar aspectos práticos desses princípios, como por exemplo, através de práticas de compartilhamento e extensão de vida útil de produtos, modelos de negócios de serviços que maximizam o valor econômico gerado pelas mesmas unidades materiais e também iniciativas que priorizem o uso de materiais de base biológica, que são integralmente reabsorvidos na biosfera para reconstrução de capital natural, em substituição a materiais técnicos, reduzindo a necessidade de extração de recursos finitos.

Nesse sentido, olhar para o mundo dos metais é uma tarefa interessante e importante em um mundo em plena urbanização que deles depende intrinsecamente, formando parte significativa da base material da economia. A crescente demanda por metais, tanto em volume quanto em tipos, esteve historicamente atrelada à trajetória de crescimento econômico global, tendo na primeira década do século XXI se intensificado, sobretudo, pelo momento de crescimento econômico, expansão industrial e urbanização de países em pleno desenvolvimento, com destaque para a China. Essa trajetória, já na segunda década do século XXI, embora tenha dado sinais de desaceleração, ainda é acentuada e se prevê crescente por algumas décadas devido ao processo de urbanização e crescimento econômico de países que ainda estão avançando em desenvolvimento. Além disso, olhando para o futuro, ainda há outro importante fator que determinará grande demanda por metais na economia, que é o direcionamento que se tem dado a uma economia de baixo carbono, cuja viabilidade necessita do desenvolvimento de tecnologias que dependem intrinsecamente do uso de metais, como aquelas ligadas ao uso, transformação e conservação de energias renováveis.

Esse cenário ocorre ao mesmo tempo em que extrair tais recursos das reservas virgens da natureza se torna cada vez mais desafiador, seja pela crescente preocupação em torno dos impactos socioambientais das atividades extrativas e industriais de transformação dos minérios em metais, seja pela crescente dificuldade de se viabilizar a exploração mineral tanto por escassez de reservas de fácil acesso e baixo custo, como pela volatilidade dos preços das

commodities, que alteraram o cenário que permitiu, ao longo da história industrial e urbana, uma economia intensamente dependente desses recursos finitos.

Diferentemente de outros materiais técnicos, como os plásticos, por exemplo, os metais têm alta capacidade de manter suas propriedades e seu considerável valor econômico por um longo ciclo de vida. A intensa transferência desses materiais desde o subsolo até a superfície durante a história industrial, formando um estoque de alta qualidade, representa um potencial atualmente subaproveitado de gerir esses estoques de maneira a maximizar o uso contínuo e, conseqüentemente, reduzir a necessidade de extração mineral da natureza. A noção de recuperação e reciclagem de metais perdidos durante o processo produtivo ou em fim de vida útil para aplicação em novos ciclos – os metais secundários – é a maneira mais eficiente de se promover circularidade nas cadeias de metais.

Algumas barreiras e oportunidades vêm sendo estudadas para viabilizar a melhor gestão dos estoques de minerais e metais já extraídos da natureza, como a identificação de pontos de perda produtiva e em fim de vida útil de produtos dos quais são componentes, o entendimento de que a complexidade do uso de materiais nos produtos significa uma barreira à sua recuperação para um novo ciclo, bem como a necessidade de se reestruturar as cadeias de valor dos metais para garantir a viabilidade da produção reversa de metais secundários. A ideia de que cidades são verdadeiras “minas urbanas”, capazes de fornecer estoques de metais para a economia através do aumento da capacidade de recuperação de metais, mas também de novos modelos de negócio que viabilizem maximizar a utilização dos metais nos ciclos de produção e consumo emerge como uma releitura do conceito de mineração para uma economia circular.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Accenture. (2013). *Caracterización del Sector Informal del Reciclaje en América Latina y Caribe*. Iniciativa Regional para el Reciclaje Inclusivo.
- Accenture. (2014). *Circular Advantage – Innovative business models and technologies to create value in a world without limits to growth*. Acesso em 14 de November de 2014, disponível em Accenture.com: <http://www.accenture.com/circularadvantage>
- Accenture. (2014). *Circular Economy Innovation - Solving the business growth and resource use dilemma*.
- Accenture. (2014). *Racing Toward a Complete Digital Lifestyle: Digital Consumers Crave More*. Accenture Digital Consumer Tech Survey.
- Acsegrad, H. (2010). *Ambientalização das lutas sociais – o caso do movimento por justiça ambiental*. Estudos Avançados USP, 101-119.
- Altvater, E. (2010). *O fim do capitalismo como o conhecemos*. Rio de Janeiro: Editora Civilização Brasileira.
- Andersen, M. S. (2007). *An introductory note on the environmental economics of the circular economy*. Sustainability Science, pp. 133-140.
- Araújo, G. C., Bueno, M. P., Sousa, A. A., & Mendonça, P. S. (2006). *Sustentabilidade Empresarial: Conceito e Indicadores*. III CONVIBRA.
- Basel Convention. (1989). *Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their Disposal*. Basel: UNEP.
- Benyus, J. (1997). *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. New York: HarperCollins Publishers Inc.
- Bilitewski, B. (2012). *The Circular Economy and its Risks*. Waste Management, 1-2.
- BNDES. (2014). *Minério de ferro*. Insumos Básicos - BNDES Setorial 39, 197-234.
- Botsman, R., & Rogers, R. (2011). *O que é meu é seu - Como o consumo colaborativo vai mudar o nosso mundo*. Bookman.
- Boulding, K. E. (1966). *The economics of the coming spaceship Earth: resources for the future*. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press.
- Brasil PNUMA. (2013/2014). *Crimes ambientais crescem no planeta*. Informativo do Comitê Brasileiro do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, p. 134.
- Braungart, M., McDonough, W., & Bollinger, A. (2007). *Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions – a strategy for eco-effective product and system design*. Journal of Cleaner Production, 1337-1348.
- Bristol Post. (2014). *Poo powered bus takes to the streets of Bristol*. Acesso em 31 de Janeiro de 2015, disponível em Bristol Post: <http://www.bristolpost.co.uk/Poo-powered-bus-takes-streets-Bristol/story-24560685-detail/story.html>
- Brunner, P. H. (2011). *Urban Mining - A Contribution to Reindustrializing the City*. Journal of Industrial Ecology, pp. 339-341.
- Buchert, M., Schüler, D., & Bleher, D. (2009). *Critical Metals for Future Sustainable Technologies and their Recycling Potential*. Öko-Institut e.V.



C2CCertified. (2014). *Cradle to Cradle Products Innovation Institute - Resources*. Acesso em 14 de Janeiro de 2015, disponível em C2CCertified: <http://www.c2ccertified.org/>

California State Polytechnic University. (2006). *History of the Lyle Center*. Acesso em 14 de Janeiro de 2015, disponível em Lyle Center for Regenerative Studies: <http://www.cpp.edu/~crs/history.html>

CCICED. (2005). *Report on Circular Economy*. Acesso em Janeiro de 2015, disponível em China Council of International Cooperation on Environment and Development: [http://www.cciced.net/enciced/policyresearch/report/201205/t20120529\\_230487.html](http://www.cciced.net/enciced/policyresearch/report/201205/t20120529_230487.html)

Center for Ecoliteracy. (2015). *Center for Ecoliteracy*. Acesso em Fevereiro de 2015, disponível em Ecoliteracy: <http://www.ecoliteracy.org/>

Charonis, G. K. (2012). *Degrowth, steady state economics and the circular economy: three distinct yet increasingly converging alternative discourses to economic growth for achieving environmental sustainability and social equity*. World Economics Association (WEA), Conferences, 2012, Sustainability – Missing Points in the Development Dialogue, n. 2. World Economics Association (WEA).

Chertow, M. R. (2000). *Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy*. Annual Review of Energy and the Environment, 25, pp. 313-337.

Clark, J. (2013). *Element Recovery and Sustainability*. RSC Green Chemistry Series.

Coelho, T. P. (2014). *Projeto Grande Carajás*. Rio de Janeiro: Ibase.

Daly, H. E. (2005). *Economics in a full world*. Scientific American, pp. 100-107.

Daly, H. E. (2007). *Ecological economics and sustainable development: selected essays of Herman Daly*. Cheltenham, UK Northampton, MA, USA: Edward Elgar Publishing.

Dupuy, J.-P. (1980). *Introdução à crítica da ecologia política*. Civilização Brasileira.

Easterlin, R. (1974). *Does economic growth improve human lot? Some empirical evidences*. London: Academic Press.

ECOECO. (s.d.). *O que é a Economia Ecológica*. Acesso em 14 de Janeiro de 2015, disponível em ECOECO: <http://www.ecoeco.org.br/>

Ellen MacArthur Foundation. (2013). *Towards the Circular Economy. Economic and business rationale for an accelerated transition. Volume 1*. Ellen MacArthur Foundation.

Ellen MacArthur Foundation; WEF. (2013). *Towards the Circular Economy. Accelerating the scale-up across global supply chains. Volume 3*. World Economic Forum.

European Commission. (2014). *Questions and answers on the Commission Communication "Towards a Circular Economy" and the Waste Targets Review*. Acesso em Janeiro de 2015, disponível em European Commission: [http://europa.eu/rapid/press-release\\_MEMO-14-450\\_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-14-450_en.htm)

European Commission. (2012). *Evaluation of the Ecodesign Directive (2009/125/EC)*. Acesso em 29 de Janeiro de 2015, disponível em European Commission: [http://ec.europa.eu/enterprise/policies/sustainable-business/ecodesign/review/files/ecodesign\\_evaluation\\_report\\_executive\\_summary\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/enterprise/policies/sustainable-business/ecodesign/review/files/ecodesign_evaluation_report_executive_summary_en.pdf)

European Union. (2013). DECISION No 1386/2013/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 20 November 2013 on a General Union Environment Action Programme to 2020 'Living well, within the limits of our planet'. *Official Journal of the European Union*, 171-200. Fonte: Official Journal of the European Union

- Fischer-Kowalski, M., Swilling, M., von Weizsäcker, E. U., Ren, Y., Moriguchi, Y., Crane, W., . . . Siriban. (2011). *Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth*. UNEP.
- Folke, C., Carpenter, S. R., Walker, B., Scheffer, M., Chapin, T., & Rockström, J. (2010). *Resilience Thinking: Integrating Resilience, Adaptability and Transformability*. Ecology and Society.
- Frosch, R., & Gallopoulos, N. (1989). *Strategies for Manufacturing*. Scientific American, 152.
- Fundação Avina. (2010). *Avina*. Acesso em 14 de Novembro de 2014, disponível em avina.net: <http://www.cataacao.org.br/wp-content/uploads/2010/07/Reciclagem-Sustent%C3%A1vel-e-Solid%C3%A1ria.pdf>
- Gaia Education. (2014). *Gaia Education - at the cutting edge of sustainability education*. Acesso em Fevereiro de 2015, disponível em Gaia Education: <http://www.gaiaeducation.net/index.php/en/>
- Georgescu-Roegen, N. (1971). *The Entropy Law and the Economic Process*. Cambridge: Harvard University Press.
- Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2014). Circular Economy: State of the Art, Promises and Expectations. Dalarna, Dalarna County, Sweden.
- Global Footprint Network. (17 de Junho de 2013). *World Footprint*. Acesso em 2 de Fevereiro de 2014, disponível em Global Footprint Network: [http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/world\\_footprint/](http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/world_footprint/)
- Graedel, T. E. (2012). *The prospects for urban mining*. The Bridge, pp. 43-50.
- Graedel, T. E., & Cao, J. (2010). *Metal spectra as indicators of development*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States, 20905–20910.
- Graedel, T. E., Allwood, J., Birat, J. P., Rack, B. K., Sibley, S. F., Sonnemann, G., . . . Hagelüken, C. (2011). *UNEP International Resource Panel, Recycling Rates of Metals – a status report, A Report of the Working Group on the Global Metals Flow to the International Resource Panel*. UNEP.
- Graedel, T., Dubreuil, A., Gerst, M., Hashimoto, S., Moriguchi, Y., Müller, D., . . . Sonnemann, G. (2010). *Metal Stocks in Society – Scientific Synthesis, A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel*. UNEP.
- Hassan, R., Scholes, R., & Ash, N. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends, Volume 1*. Washington.Covelo.London: Island Press.
- Holling, C. S. (1973). *Resilience and stability of ecological systems*. Annual Review of Ecology and Systematics, 1 to 23.
- ICMM. (2014). *The role of mining in national economies (2nd edition)*. ICMM.
- ICMM. (2015). *About us*. Fonte: ICMM: <http://www.icmm.com/about-us/about-us>
- IISD. (2013). *IISD - Case study*. Acesso em 7 de Fevereiro de 2015, disponível em International Institute for Sustainable Development: <https://www.iisd.org/business/viewcasestudy.aspx?id=77>
- IS4IE. (2015). *Topical Sections of the IS4IE*. Acesso em 16 de Janeiro de 2015, disponível em International Society for Industrial Ecology: <http://www.is4ie.org/>

- ISEE. (s.d.). *The International Society for Ecological Economics*. Fonte: ISECOECO: <http://www.isecoeco.org/>
- Kallis, G. (2010). *In defence of degrowth*. *Ecological Economics*, 873-880.
- Kharas, H. (2010). *The Emerging Middle Class in Developing Countries, Working Paper No. 285*. Paris: OECD Development Centre.
- Kleijn, R. (2012). *Materials and energy: a story of linkages*. Leiden, The Netherlands.
- Kleijn, R., Voet, E. v., Kramer, G. J., Oers, L. v., & Giesen, C. v. (2011). *Metal requirements of low-carbon power generation*. *Energy*, pp. 5640–5648.
- Kuehr, R., Velasquez, G. T., & Williams, E. (2003). *Computers and the Environment: Understanding and Managing Their Impacts*. Kluwer Academic Publishers and United Nations University.
- Li, H., Bao, W., Xiu, C., Zhang, Y., & Xu, H. (2009). *Energy conservation and circular economy in China's process industries*. *Energy* 35, pp. 4273-4281.
- Lutz, C. Z., Pires, D. C., & Moraes, C. A. (2013). *Parques Industriais Ecológicos como instrumento para o desenvolvimento sustentável do estado do Rio Grande do Sul*. *Estudos Tecnológicos em Engenharia*, 9, pp. 37-51.
- Lyle, J. T. (1994). *Regenerative Design for Sustainable Development*. Pomona: Wiley.
- MacNeill, J., Winsemius, P., & Yakushiji, T. (1991). *Beyond Interdependence, the messing of the world's economy and the Earth's ecology*. Oxford: Oxford University Press.
- Malthus, T. R. (1798). *An Essay on the Principle of Population*. Londres, Reino Unido.
- Maluf, R. (2000). *Atribuindo sentido à noção de desenvolvimento*. *Estudos Sociedade e Agricultura*, pp. 36-68.
- Marx, K. (1867). *Capital: Critique of Political Economy*. Londres, Reino Unido.
- Mathews, J. A., & Tan, H. (2011b). *Progress Toward a Circular Economy in China: The Drivers (and Inhibitors) of Eco-industrial Initiative*. *Journal of Industrial Ecology*, 15, 435-457.
- Mathews, J. A., Tang, Y., & Tan, H. (2011a). *China's move to a Circular Economy as a development strategy*. *Asian Business & Management*, 463-484.
- Matus, K. J., Xiao, X., & Zimmerman, J. B. (2012). *Green chemistry and green engineering in China: drivers, policies and barriers to innovation*. *Journal of Cleaner Production*, 32, 193-203.
- McDonough, W., & Braungart, M. (2002). *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. New York: North Point Press.
- McKinsey & Company. (2014). *Moving toward a circular economy*. Acesso em Agosto de 2014, disponível em McKinsey & Company: [http://www.mckinsey.com/insights/manufacturing/moving\\_toward\\_a\\_circular\\_economy](http://www.mckinsey.com/insights/manufacturing/moving_toward_a_circular_economy)
- McKinsey&Company. (2011). *Resource Revolution: Meeting the world's energy, materials, food and water needs*. McKinsey Global Institute and McKinsey Sustainability & Resource Productivity Practice.
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., & Ill, W. W. (1972). *Limits to Growth*. Washington DC: Universe.
- Metz, B., Davidson, O. R., Bosch, P. R., Dave, R., & Meyer, L. A. (2007). *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the*

*Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: IPCC.

Mill, J. S. (1848). Of the Stationary State. In: J. S. Mill, *Principles of Political Economy with some of their Applications to Social Philosophy*. London: London; Longmans, Green and Co.

Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Overview of the Millennium Ecosystem Assessment*. Fonte: Millennium Ecosystem Assessment: <http://www.millenniumassessment.org/en/About.html#1>

OECD. (s.d.). *About the OECD*. Fonte: OECD - Better Policies for Better Lives: <http://www.oecd.org/about/>

ONU. (1992). *Rio Declaration on Environment and Development*. Fonte: United Nations Environment Programme: <http://www.unep.org/Documents.Multilingual/Default.asp?documentid=78&articleid=1163>

ONU. (2012). *Documentos de referência para a Rio+20*. Fonte: Rio+20 Conferência das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável: <http://www.onu.org.br/rio20/documentos/>

Oswald, A., & Reller, I. (2011). *E-Waste: A Story of Trashing, Trading and Valuable Resources*. GAIA – Ecological Perspectives for Science and Society, pp. vol. 20 (1) pp 41-47.

Porter, M. E., & Kramer, M. R. (2011). *Creating Shared Value*. Harvard Business Review 89, 1-2.

Porto-Gonçalves, C. W. (2006). *A globalização da natureza e a natureza da globalização*. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira.

Prendeville, S., Sanders, C., Sherry, J., & Costa, F. (2014). *Circular Economy: Is it Enough?* Acesso em 19 de Janeiro de 2015, disponível em Ecodesign Center of Wales: <http://www.edcw.org/sites/default/files/resources/Circular%20Economy-%20Is%20it%20enough.pdf>

Preston, F. (2012). *A Global Redesign? Shaping the Circular Economy*. Chatam House.

Product-Life Institute. (2013). *The Product-Life Institute - About*. Acesso em 14 de Janeiro de 2015, disponível em The Product-Life Institute: <http://www.product-life.org/en/about>

Rees, W. (2010). Thinking « resilience ». *The post carbon reader: managing the 21st century sustainability crisis*. Post Carbon Institute/Watershed Media, pp. P25-4.

Ricardo, D. (1817). *On the Principles of Political Economy and Taxation*. Londres, Reino Unido.

Rifkin, J. (2014). *The Zero Marginal Cost Society - The Internet of Things, the Collaborative Commons and the eclipse of capitalism*. New York: St. Martin's Press LLC.

Rockström, J. (2009). *A safe operating space for humanity*. Nature, 472-475.

Rockström, J., & Sachs, J. D. (2013). *Sustainable Development and Planetary Boundaries*. Sustainable Development Solutions Network.

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, A., Chapin, F. S., Lambin, E., . . . Hughes, T. (2009). *Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity*. Ecology and Society, p. <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>.

Sachs, I. (1986). *Ecodesenvolvimento: crescer sem destruir*. São Paulo: Vértice.

Sachs, W. (1992). *The Development Dictionary. A Guide to Knowledge as Power*. London and New York: Zed Books .

Scania. (2014). *Scania e Itaipu Binacional apresentam primeiro ônibus do Brasil abastecido com biometano*. Acesso em 31 de Janeiro de 2015, disponível em Scania Brasil - Press Release: [http://www.scania.com.br/a-scania/imprensa/press-releases/2014/press\\_56\\_14.aspx](http://www.scania.com.br/a-scania/imprensa/press-releases/2014/press_56_14.aspx)

Schneider, F., Kallis, G., & Martinez-Alier, J. (2010). *Crisis or opportunity? Economic degrowth for social equity and ecological sustainability: Introduction to this special issue*. *Journal of Cleaner Production*, 511-518.

Schnitzer, H., & Ulgiati, S. (2007). *Less bad is not good enough: approaching zero emissions techniques and systems*. *Journal of Cleaner Production*, 1185-1189.

Schriebl, E., Exner, A., Lauk, C., & Kulterer, K. (2008). *On the Way towards a De-growth Society: A Review of Transformation Scenarios and Desirable Visions of the Future*. *Proceedings of the First International Conference on Economic De-Growth for Ecological Sustainability and Social Equity*, pp. 258-268. Paris: European Society of Ecological Economics.

Schumacher College. (2014). *Schumacher College*. Acesso em Janeiro de 2015, disponível em Schumacher College: <https://www.schumachercollege.org.uk/>

Scotto, G., Carvalho, I. C., & Guimarães, L. B. (2009). *Desenvolvimento Sustentável*. São Paulo: Ed. Vozes.

Sen, A. (1999). *Desenvolvimento como liberdade*. São Paulo: Editora Schwarcz S.A.

Sinkin, C., Wright, C. J., & Burnett, R. D. (2008). *Eco-efficiency and firm value*. *Journal of Accounting and Public Policy*, 167-176.

Smith, A. (1776). *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*. London: W. Strahan and T. Cadell.

Stahel, W. R. (2003). *The Functional Society: the Service Economy*. In: D. Bourg, & S. Erkman, *Perspectives on Industrial Ecology*, p. 384. Greenleaf Publications.

Stahel, W. R. (2013). *The Business Angle of a Circular Economy - Higher Competitiveness, Higher Resource Security and Material Efficiency*. In: E. M. Foundation, *A New Dynamic - Ededective Business in a Circular Economy* (pp. 45-60). Cowes: Ellen MacArthur Foundation Publishing.

Steffen, W., Rockström, J., Cornell, S., Fetzer, I., Biggs, O., Folke, C., & Reyers, B. (2015). *Planetary Boundaries 2.0 – new and improved*. Acesso em 21 de Fevereiro de 2015, disponível em Stockholm Resilience Center: <http://www.stockholmresilience.org/21/research/research-news/1-15-2015-planetary-boundaries-2.0---new-and-improved.html>

StEP Initiative. (2009). *StEP Publications*. Acesso em November de 2014, disponível em StEP Initiative - Solving the E-Waste Problem: <http://www.step-initiative.org/index.php/Publications.html>

Stockholm Resilience Center. (2015). *About Stockholm Resilience Centre*. Fonte: Stockholm Resilience: <http://www.stockholmresilience.org/21/about.html>

Stockholm Resilience Centre. (2015). *What is resilience? An introduction to social-ecological research*. Fonte: Stockholm Resilience: <http://www.stockholmresilience.org/21/research/research-news/2-19-2015-what-is-resilience.html>

Su, B., Heshmati, A., & Geng, Y. (2013). *A Review of the Circular Economy in China: Moving from Rhetoric to Implementation*. *Journal of Cleaner Production* 42, 215-277.

The Biomimicry Institute. (2014). *What is Biomimicry*. Acesso em 14 de Janeiro de 2015, disponível em Biomimicry.org: <http://biomimicry.org/>

The Economist. (2013). *In the pits? Mining and metals firms and the slowing of the supercycle*. The Economist Intelligence Unit Limited .

The Guardian. (2014). *Circular Economy Hub*. Acesso em 30 de Janeiro de 2014, disponível em Guardian Sustainable Business: [http://www.theguardian.com/sustainable-business/business-leaders-circular-economy-mainstream-davos?CMP=new\\_1194&et\\_cid=53283&et\\_rid=6869069&Linkid=http%3a%2f%2fwww.theguardian.com%2fsustainable-business%2fbusiness-leaders-circular-economy-mainstream-davos](http://www.theguardian.com/sustainable-business/business-leaders-circular-economy-mainstream-davos?CMP=new_1194&et_cid=53283&et_rid=6869069&Linkid=http%3a%2f%2fwww.theguardian.com%2fsustainable-business%2fbusiness-leaders-circular-economy-mainstream-davos)

Timmiah, S. (2014). *Where are miners and metals companies in the circular economy?* Guardian Professional.

Turner, K., & Pearce, D. (1989). *Economics of Natural Resources and the Environment*. Baltimore: The John Hopkins University Press.

Turner, K., Pearce, D., & Bateman, I. (1993). *Environmental Economics: An Elementary Introduction*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press.

UNEP. (1972). *Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment*. Fonte: United Nations Environment Programme: <http://www.unep.org/Documents.Multilingual/Default.asp?documentid=97&articleid=1503>

UNEP. (1990). *Resource Efficiency and Cleaner Production*. UNEP.

UNEP. (2013). *Assessing Mineral Resources in Society – Global Metal Flows Working Group*. In: W. G. International Resource Panel, *E-Book: International Resource Panel Work on global Metal Flows*(pp. 1-14). UNEP.

UNEP. (2013). *Metal Recycling - Opportunities, Limits, Infrastructure*. Global Metal Flows Working Group of the International Resource Panel of UNEP.

UNEP. (21 de Junho de 2015). *Sustainable Consumption & Production Branch - Resource Efficient and Cleaner Production*. Fonte: United Nations Environment Programme Division of Technology, Industry, and Economics: <http://www.unep.fr/scp/cp/>

UNEP. (2015). *The Voice of the Environment*. Acesso em 06 de Fevereiro de 2015, disponível em United Nations Environment Programme : <http://www.unep.org/about/>

UNEP. (s.d.). *International Resource Panel*. Fonte: United Nations Environmental Programme : <http://www.unep.org/resourcepanel/Whoweare/Background/tabid/133307/Default.aspx>

UNIDO. (2013). *Benefits of Cleaner Production*. Acesso em 27 de Janeiro de 2015, disponível em United Nations Industrial Development Organization: <http://www.unido.org/en/what-we-do/environment/resource-efficient-and-low-carbon-industrial-production/cp/benefits.html>

UNIDO. (2015). *Who we are*. Acesso em 06 de Fevereiro de 2015, disponível em United Nations Industrial Development Organization: <http://www.unido.org/en/who-we-are/unido-in-brief.html>

United Nations. (2014). *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision*. New York: Department of Economic and Social Affairs, Population Division.

USGS. (2015). *Mineral Commodity Summaries*. Washington: USGS.

- Veiga, J. E. (1991). *A insustentável utopia do desenvolvimento*. In: L. Lavinhas, *Reestruturação do Espaço Urbano e Regional no Brasil*. São Paulo: Hucitec & ANPUR.
- Voet, E. v., Salminen, R., Eckelman, M., Mudd, G., Norgate, T., & Hirschier, R. (2013). *Environmental Risks and Challenges of Anthropogenic Metals Flows and Cycles, A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel*. UNEP.
- Walker, B., & Salt, D. (2006). *Resilience Thinking: Sustaining Ecosystems and People in a Changing World*. Washington DC: Island Press.
- WBCSD. (1991). *Changing Course: A global business perspective on development and the environment*. WBCSD.
- WBCSD. (s.d.). *About WBCSD*. Fonte: World Business Council for Sustainable Development: <http://www.wbcsd.org/about.aspx>
- WCED. (1987). *Nosso Futuro Comum*. Oxford University Press .
- Webster, K. (2015). *The decline of the linear economy and the rise of the circular - A story about frameworks and systems*. In: A. B. Lovins, M. Braungarten, W. R. Stahel, J. Birkeland, S. Groerner, D. Spicer, . . . C. Sempels, *A New Dynamic - Effective Business in a Circular Economy* (pp. 8-18). Isle of Wight: Ellen MacArthur Foundation.
- WEF. (2014). *Scoping Paper: Mining and Metals in a Sustainable World*. World Economic Forum .
- World Bank. (2014). *Global Economic Prospects: Commodity Markets Outlook - October 2014*. Washington D.C.: World Bank.
- World Bank. (2015). *About*. Fonte: The World Bank: <http://www.worldbank.org/>
- World Bank. (2015). *Commodity Markets Outlook*. Washington D.C.: World Bank Group.
- World Bank. (2015). *Global Economic Prospects: Commodity Markets Outlook - Janeiro*. Washington D.C.: World Bank Group.
- World Economic Forum. (2014). *Towards the Circular Economy: Accelerating the scale-up across global supply chains*. Geneva: World Economic Forum.
- Yong, R. (2007). The Circular Economy in China. *Journal of Material Cycles Waste Management* 9, 121-129.
- Yuan, Z., Bi, J., & Moriguchi, Y. (2006). *The Circular Economy: A New development Strategy in China*. *Journal of Industrial Ecology*, pp. 4-8.
- Zhijun, F., & Nailing, Y. (12 de Janeiro de 2007). *Putting a circular economy into practice in China*. *Sustain Sci*, pp. 95-101.

