

Dez razões para apoiar e incentivar a indústria mineira: globalmente, na UE e em Portugal

António Mateus^{1,2*}, Luís Martins³

¹Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Ed. C6, Piso 4, Campo Grande, 1749-016 Lisboa, Portugal, amateus@fc.ul.pt

²Instituto Dom Luiz (IDL), Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Ed. C1, Piso 0, Campo Grande, 1749-016 Lisboa, Portugal

³ASSIMAGRA, Rua Aristides de Sousa Mendes n.º 3B, 1600-412 Lisboa, Portugal, lmartins@assimagra.pt

*Autor correspondente: amateus@fc.ul.pt

Resumo

Todos os roteiros orientados para economias eco-eficientes de baixa intensidade carbónica estimulam a dependência de largo número de metais cuja procura não poderá ser totalmente satisfeita com base em práticas de reutilização, reciclagem e/ou substituição. Tecnologias digitais massificadas, enfoque na gestão “big data” e disponibilização de tecnologias disruptivas, reforçam tendências para instituir “metal-intensive economies”. Adicionalmente, as taxas de crescimento expectáveis para a demografia e rendimentos brutos per capita impulsionarão incrementos de consumo em matérias-primas convencionais também impossíveis de assegurar no seu todo via fontes secundárias. Assim, os recursos minerais primários representarão sempre uma parte crítica dos fluxos materiais subjacentes a modelos de desenvolvimento optimizados onde a componente primária é provida com parcimónia através de actividade industrial responsável e tecnologicamente evoluída. A indústria mineira tem demonstrado capacidade e vitalidade para responder positivamente aos novos desafios e paradigmas emergentes, especialmente importantes neste período de transição que vigorará algumas décadas.

Palavras-chave: Recursos minerais; Indústria mineira; Fluxos materiais; Evolução tecnológica; Desenvolvimento socio-económico.

Abstract

All the roadmaps to eco-efficient and low-C intensity economies stimulate the reliance on a large number of metals whose demand cannot fully met on the basis of reuse, recycling and/or substitution practices. Digital technologies of massive use, emphasis on big data management and availability of disruptive technologies, reinforce tendencies to the establishment of metal-intensive economies. In addition, the expected growth rates for demography and gross per capita incomes will boost spreads in consumption of conventional raw materials that are also impossible to ensure through secondary sources. Thus, primary resources will always represent a critical part of the material flows supporting optimized development models where the primary component is sparingly provided by responsible and technologically advanced industrial activity. The mining industry has demonstrated the capacity and vitality to respond positively to the new challenges and emerging paradigms, especially important in this transition period that will last for decades.

Keywords: Mineral resources; Mining industry; Material flows; Technological evolution; Socio-economic development.

1. Introdução

A indústria mineira, em todas as suas vertentes (prospecção e pesquisa, exploração, transformação/beneficiação e comercialização), tem vindo a

evidenciar forte resiliência e fazendo os possíveis para contrariar e superar os impactos resultantes de juízos especulativos sobre a sua viabilidade futura (Petrie, 2007; Krausmann *et al.*, 2009; Mason *et al.*, 2011; Lusty & Gunn, 2014; Martín *et al.*, 2014;

Moran *et al.*, 2014; Owen & Kemp, 2014; Patiño-Douce, 2016; Dobra *et al.*, 2018; Katz & Pietrobelli, 2018; Armstrong *et al.*, 2018; Mercer-Mapstone *et al.*, 2019). Muitos destes juízos de valor acabam por determinar circuitos de opinião frequentemente firmados em relações causa-efeito simplistas que, de forma consciente ou não, concorrem para dificuldades crescentes de aceitação pública das actividades de prospecção e mineração, não raras vezes condicionando também a decisão política e a adopção de melhores estratégias de desenvolvimento. Importa, por isso, desmistificar a argumentação que, a título individual ou corporativo, é recorrentemente usada para desacreditar os contributos da indústria mineira, suscitando dúvidas acerca da sua relevância (presente e futura) e capacidade/vitalidade para responder aos novos desafios e paradigmas emergentes.

Os argumentos vulgarmente invocados para desconsiderar a necessidade futura da indústria mineira referem: (i) que a procura global de matéria-prima primária se encontra basicamente estagnada; (ii) que a reputação das actividades de mineração é negativa, impactando desfavoravelmente as comunidades locais e os ecossistemas; (iii) que a escassez física é incontornável, sendo urgente travar os avanços das explorações; (iv) que a depressão generalizada dos preços das matérias-primas minerais é inevitável no futuro, não havendo possibilidade de compensações através de cortes nos custos de operação; (v) que a única forma de evitar o definhamento gradual imposto pelas “leis de mercado” consiste na introdução rápida de medidas de “excelência operacional”, incluindo tecnologias disruptivas, algo impossível de fazer no sector mineiro mercê de alguma inércia para integrar tecnologias de ponta e resistência à inovação; (vi) que os investidores estão cada vez mais prudentes, levantando dúvidas sobre os motivos que podem, na realidade, justificar investimentos consideráveis a longo prazo em projectos classificados como “conservadores” à luz da (r)evolução tecnológica que vivemos; (vii) que a análise de risco está também em franca mutação, esperando-se constrições fortes associadas à implementação generalizada de tecnologias disruptivas promissoras (e.g. automação) e, por isso, significativas apreensões quanto à viabilidade futura dos empreendimentos mineiros; e que (viii) rapidamente, os produtos convencionais de transferência de risco deixarão de compensar os passivos ambientais, acelerando a cessação da actividade.

Muitas das questões e conjecturas acima expostas são legítimas tomando como referência práticas

históricas e/ou posturas renitentes à mudança que, diga-se em abono da verdade, não são exclusivas da indústria mineira. Contudo, por ignorância ou estratégia, os numerosos indicadores que objectivamente contrariam boa parte dos argumentos utilizados nunca são apresentados. Ou, quando tal acontece, acabam por ser desvalorizados com base em raciocínios nem sempre demonstráveis. Procuramos neste trabalho indicar e fundamentar dez razões que, em nossa opinião, justificam o apoio e incentivo à indústria mineira à escala global, na União Europeia e em Portugal. Dez razões que se articulam e complementam, suportando o desenvolvimento de cadeias produtivas de base mineral capazes de envolver sistemas prolíficos a diversas escalas (local, regional, nacional, transnacional) e, assim, intensificar fluxos de valor sócio-económico acrescentado. Dez razões que orientam dinâmicas enriquecedoras de elevada relevância na planificação e monitorização de caminhos futuros que têm como desiderato maior o Desenvolvimento Sustentável.

I. Propiciar ganhos de consciência e fundamentações objectivas sobre capitais naturais, eco-serviços e impactes resultantes da actividade industrial

O acesso e usufruto de matérias-primas minerais e seus derivados foram, são e continuarão a ser determinantes ao progresso da civilização humana, qualquer que seja o modelo de desenvolvimento considerado (Fig. 1). Na verdade, as matérias-primas minerais são parte indissociável do *Capital Natural* de que dependemos enquanto componentes da biosfera. Por isso, o seu usufruto tem de ser considerado em paridade com todos os outros recursos naturais e eco-serviços (Fig. 2). Este é o ponto de partida para uma gestão harmonizada (multi-escala e integrada no tempo) de todas as formas de aprovisionamento disponibilizadas pelos sistemas terrestres (UNEP, 2010a, 2011, 2013, 2014a, 2014b, 2016a, 2016c, 2017a). Para melhor gerir tais provimentos importa conhecê-los e compreender: (i) que a natureza finita de muitos deles só o é à escala humana; (ii) que a exploração mineral é sempre temporária, muitas vezes condicionada por factores de natureza económica e não de escassez física do recurso; (iii) que o usufruto (corrente e) futuro de recursos minerais exige a adopção de medidas de salvaguarda adequadas às suas características base; (iv) que os impactes decorrentes desta fruição atingirão níveis preocupantes se, prolongados no tempo e cumulativamente,

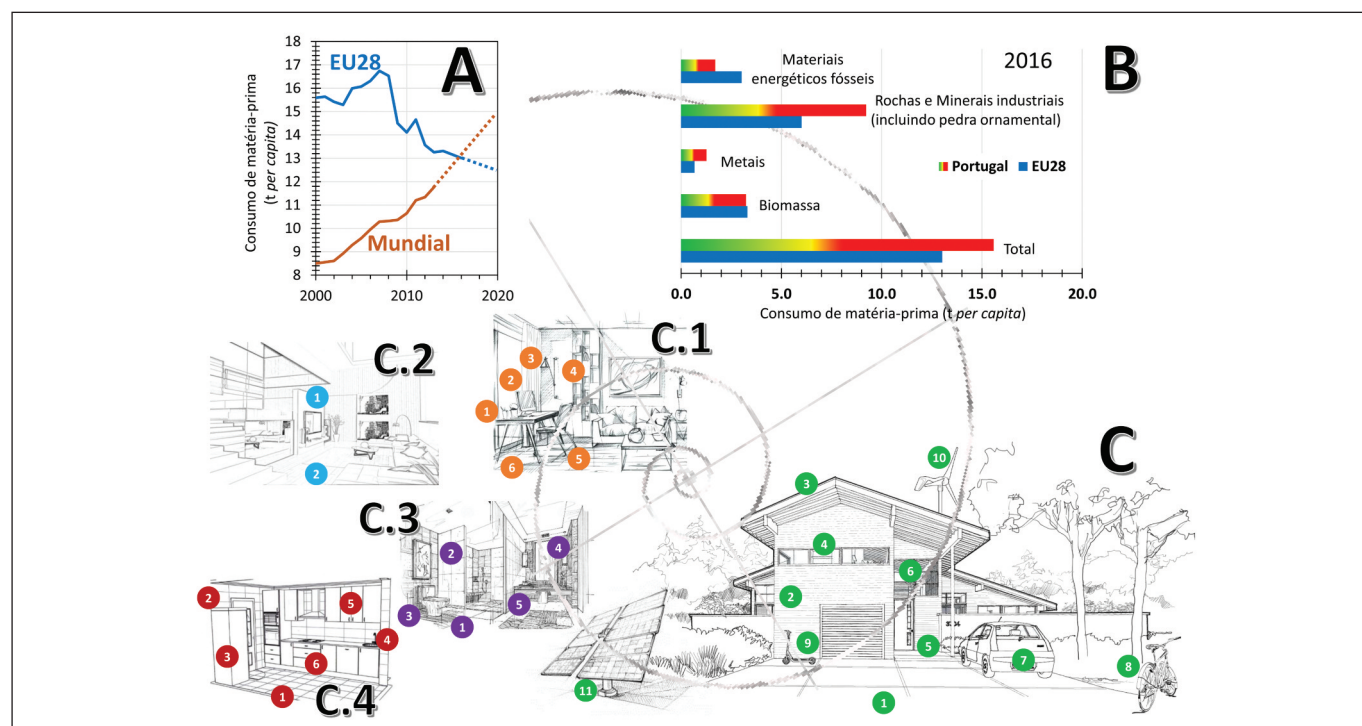


Figure 1 – (A) Recent evolution of the raw-materials consumption per capita in the EU28 and in the world (data source in <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>). Consolidated values between 2000 and 2016 for the EU28 and between 2000 and 2013 for the global scale; dashed lines represent possible forecasts until 2020. (B) Raw-materials consumption per capita in the EU28 (average value) and in Portugal during 2016 distributed by the main four categories: fossil energy materials, industrial minerals and rocks (including ornamental stones), metal ores and biomass. In 2016, the average value obtained by Eurostat for the EU28 was of 13 t per capita (despite the indication of 14.2 t per capita in some documents). In the same year, the consumption in Portugal was of 15.6 t per capita, matching the amount in Germany, and being circa of 2.28× above the total of Italy (7 t per capita) and 0.47× the consumption recorded in Finland (33 t per capita). The plot considers the data available in <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>. (C) Combined sketches of space and common goods that elucidate the growing dependency relationships between modern living standards and mineral products or their derivatives (images gathered from <https://fandiv-recs.com>, <http://homesifery.info/top/>, <http://clipgoo.com/>, <https://www.pinterest.pt>, <https://www.vectorstock.com>, <https://paintingvalley.com> and <https://www.victoria.ac.nz>). These dependency relationships co-vary with technological advancements (in quantity and diversity), showing that mineral products were, are and will continue to be indispensable to the consolidation of forthcoming progresses. The safe supply of these products does not exempt mining because, as easily understandable, what does not grow (in a biological sense) has to be obtained through (socially and environmentally responsible) mineral exploitation. Let's look at some examples in the simplest possible way: 1 – Foundations, impermeable layers and other underground utilities (steel, cement, aggregates, bitumen); 2 – Walls and slabs (bricks or direct substitutes, cement, sand, gravel, steel, gypsum, clay minerals, insulation materials, paints and/or coverings with ornamental stone); 3 – Roof (roof tiles or alternatives, bitumen); 4 – Windows (frames and glass); 5 – Plumbing – mostly PVC; 6 – Electric system (cooper and plastic); 7 – Car (many different metallic components, along with several types of plastic and rubber); 8 – bike (light steel and/or titanium and/or aluminium and/or carbon fibre, rubber and plastics, to which a battery can be added if we are dealing with an e-bike, ; 9 – scooter (similar to bike); 10 – wind mill (besides the support infrastructure, involving light steels and aluminium, the turbines use permanent magnets of different composition, the most current incorporating Fe, B, Nd and Dy); 11 – photovoltaic panel (besides de support infrastructure, involving light steels and aluminium, a wide range of technological solutions are available for the solar cells using Si, Cd, Cu, Co, Ga, Ag, In, Te, Ge and Se). (C1) A small office at home includes a large variety of materials and tools, being usual the existence of: 1 – pencil (whose composition incorporates graphite, clay minerals and mineral pigments); 2 – Computer and other electronic devices, such as mobile phone, tablet and/or sound systems (besides various types of plastic, all these appliances include significant amounts of Au, Ag, Si, Ni, Al, Zn, Fe and circa of 30 other metals among those stand out several Rare Earth Elements, Sn, Cr, Ta, B, Be, Li, Co, Cd); 3 – Lighting (different materials for the physical support, lamp or LEDs, depending on the technological solution implemented); 4 – Paper (whose manufacture includes clay minerals and products derived from limestone); 5 – Chair (often, in modern times, stainless steel and plastics); 6 – Carpet (according to the chosen option, it could incorporate oil and limestone derivatives, besides selenium). (C2) In a living room, we may add a TV (1) to other electronic devices of composition similar to that indicated in C1; this room may also have a ceramic or an ornamental stone pavement (2) in addition to all the lighting appliances and/or air conditioning. (C3) In a normal bath room, the number of products whose manufacture depends of minerals is incredibly high, such as: 1 – pavement (in stone or ceramic material of variable composition and finishing); 2 – wall coverings (tiles); 3 – sanitary ware; 4 – mirror (glass and additives); 5 – wash basin and all the metallic application (taps, towel rails, etc.). To all these we may add everyday consumables such as: abrasive cleansers (the most common including silica or calcite), tooth pastes (that comprise F, Ba and calcite), shampoos (whose composition may contain coal tar, clay minerals and selenium), deodorants (involving aluminium), lipstick and make up products (comprising clay minerals, mica, talc, limestone and hydrocarbon derivatives), in most of the cases distributed in plastic containers. (C4) Something similar happens in a common kitchen that may include: 1 – pavement (in stone or ceramic material of variable composition and finishing); 2 – wall coverings (tiles); 3 – various electric appliances (comprising different metal alloys, plastic and rubber in their composition); 4 – sink (in stone or stainless steel); 5 – many ceramic and glass tools; as well as 6 – numerous metallic utensils (mostly in stainless steel). To all these applications it should be added the large amounts of minerals that are needed to build the basic infrastructure that supports all the sectors of society, involving a wide variety of economic activities (agricultural, industrial and commercial), mobility (by road, rail, sea/river or air), and services (health, education, trade, communication). The manufacture of components non-exhaustively listed above involves different mineral raw materials, many of which requiring extensive industrial processing before become available in the market, thus feeding a quite varied number of production lines. Some major examples can be quoted, as follows. Steel: iron and different metals according to the application. Cement: limestone, marls and sands (or alternative sources of alumina and silica, such as pozzolanic clays). Aggregates: sands and variable types of gravels, mostly limestone-derived. Bricks: red clays. Ceramic materials: several types of clays, quartz, feldspar, dolomite, wollastonite, borate, talc, mineral pigments and metallic additives (e.g. Cu, Zn, Cr). Insulation: glass wool, quartz, feldspar. Paints: kaolin, talc, titanium oxide and other mineral pigments, limestone. Roof tiles: red clays or alternative ceramic products. Window frames: aluminium. Glass: quartz, sodium carbonate, limestone (it could also include other metallic additives). PVC and other plastics: hydrocarbon derivatives. Fundamental metals in car assemblage (besides iron and aluminium): Cu, Zn, Ni, Cr, Pt, W and Pb to which several Rare Earth Elements and/or Li, Co and Cd can be added if dealing with hybrid or electric models. Fundamental metals in wind turbines (besides iron and aluminium): B and various REE (mostly Nd and Dy). Fundamental metals in photovoltaics: depending on the technological solution, Si, Cd, Cu, Co, Ga, Ag, In, Te, Ge and Se. Fundamental metals in computers and other electronic devices (besides many other already mentioned above in high-tech applications): Ta, Au, Be. Main metal sources (P – primary/ores; R – % of current recycling potential): Fe (oxides, largely magnetite and hematite; >50%); Al (bauxite = hydroxides, essentially gibbsite; >50%); Cu (copper sulphides, oxides and carbonates, mostly chalcopyrite, cuprite and malakite; >50%); Zn (zinc sulphides or (hydr)oxides, mainly sphalerite and zincite; >50%); Ni (nickel sulphides and silicates, chiefly pentlandite and garnierite; >50%); Cr (oxides, exclusively chromite; >50%); Pt (several sulphides, arsenides, and natural alloys; >50%); W (tungstates, largely wolframite and scheelite; >10–25%); Pb (sulphide = galena; >50%); REE (many different phosphates, F-carbonates and oxides, although the main economic phases are monazite and bastnaesite; <1%); Li (Li-salts, some silicates, such as spodumene, petalite and lepidolite, and phosphates, such as amblygonite and montmorillite; <1%); Co (sulphides, mostly cobaltite, although usually obtained as by-product; >25–50%); Cd (sulphides, being greenockite the most common; >10–25%); Ti (oxides, mostly rutile and ilmenite; >50%); B (natural borates; >1%); Ga (mostly obtained as by-product; <1%); Ag (sulphides and natural alloys; >50%); In (mostly obtained as by-product; <1%); Te (sulphosalts, commonly obtained as by-product; <1%); Ge (mainly a by-product; <1%); Se (sulphosalts, usually obtained as by-product; <1%); Ta (oxides, mostly tantalite; <1%); Au (natural alloys; >50%); Be (mostly beryl; <1%). The growing demand for these and several other metals also reveals that (relatively circumstantial?) discontinuities may occur in the next century for the supply of Li, B, Mg, P, Sc, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Se, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Pd, Cd, Sn, Sb, La, W, Re, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Pr e Sm. The availability will be lower and supply disruptions may be lengthy for Ru, Rh, Os, Ir, Pt, Eu, Th, Dy e U. At present, the main supply threats in the next century appear to converge to He, Zn, Ga, Ge, Ag, In, Te, Hf e Nd. The spiral that connect all the graphical elements represents the infinite succession of integers known as the Fibonacci sequence: $F_n = F_{n-1} + F_{n-2}$, having F_{n+1}/F_n as the progression rate. This spiral seeks to illustrate the continuous increase in consumption of raw materials over time, following the successive stages of development that have marked the persistent technological evolution. It should be noted that this sequence has been used in the study of economic cycles, as well as in forecasting of inflection points in the commodity market (the relation between peaks and valleys of stock market fluctuations tend to follow numerical ratios close to those determined by consecutive numbers of the Fibonacci sequence).

modificarem os fluxos biogeoquímicos e biogeofísicos estabelecidos entre os vários reservatórios naturais, acelerando ou determinando alterações aos percursos evolutivos subsequentes. Lamentavelmente, o público em geral desconhece estas premissas base e deixa-se conduzir por espirais de sensações governadas por eventos históricos, impressões superficiais, perplexidades circunstanciais e/ou modas ditadas por fazedores de opinião nem sempre preparados para o efeito. Como resultado criam-se níveis generalizados de desconfiança e descrédito difíceis de contradizer porque exigem outros argumentos que não técnicos. Este clima de suspeição conduz com frequência à rejeição de muitas actividades industriais necessárias ao crescimento económico e, bem assim, à distribuição de riqueza e fomento de bem-estar social, respeitando as características naturais e culturais das regiões, e criando as condições adequadas à promoção da tão necessária equidade intra- e intergeracional.

De forma breve: (i) a sociedade procura cada vez mais produtos cuja manufactura exige maiores quantidades de matéria-prima mineral de onde se obtêm derivados em número crescente e, para numerosas aplicações tecnológicas, de elevado grau de pureza; (ii) consome esses produtos a taxas cada vez mais altas (por vezes inusitadamente excessivas, conforme determinado por práticas de *marketing*

agressivo e/ou ciclos programados de obsolescência); mas (iii) não aprecia a forma como esses produtos são produzidos nem as actividades industriais implicadas nessa produção. Como resolver então este paradoxo? Urge iniciar uma mudança cultural que faça a diferença; construtivamente. Essa mudança cultural tem de envolver os *players* industriais e todos os organismos que, directa ou indirectamente, tutelam o acesso aos recursos, procurando assegurar posições quanto a caminhos que desmistifiquem preconceitos e assegurem quer a transição para novos modelos de desenvolvimento, quer a monitorização de soluções alternativas. A visão *NIMBY* (*Not In My Back Yard*) teve (e tem) como consequência a deslocalização de actividades industriais para regiões desfavorecidas e geralmente desprovidas de regulamentação exigente quanto ao funcionamento e financiamento, condições de trabalho, salários dignos, padrões ambientais recomendáveis, etc. A tendência crescente no sentido do *BANANAismo* (*Build Absolutely Nothing Anywhere Near Anything*) pode ser fatal para o desenvolvimento e estabilidade futura de muitas regiões, incluindo a europeia, até porque não se conhecem quaisquer respostas concretas sobre como será possível atingir patamares sustentáveis de crescimento económico se as actividades de prospecção/exploração/transformação de minerais forem cada vez mais escassas ou

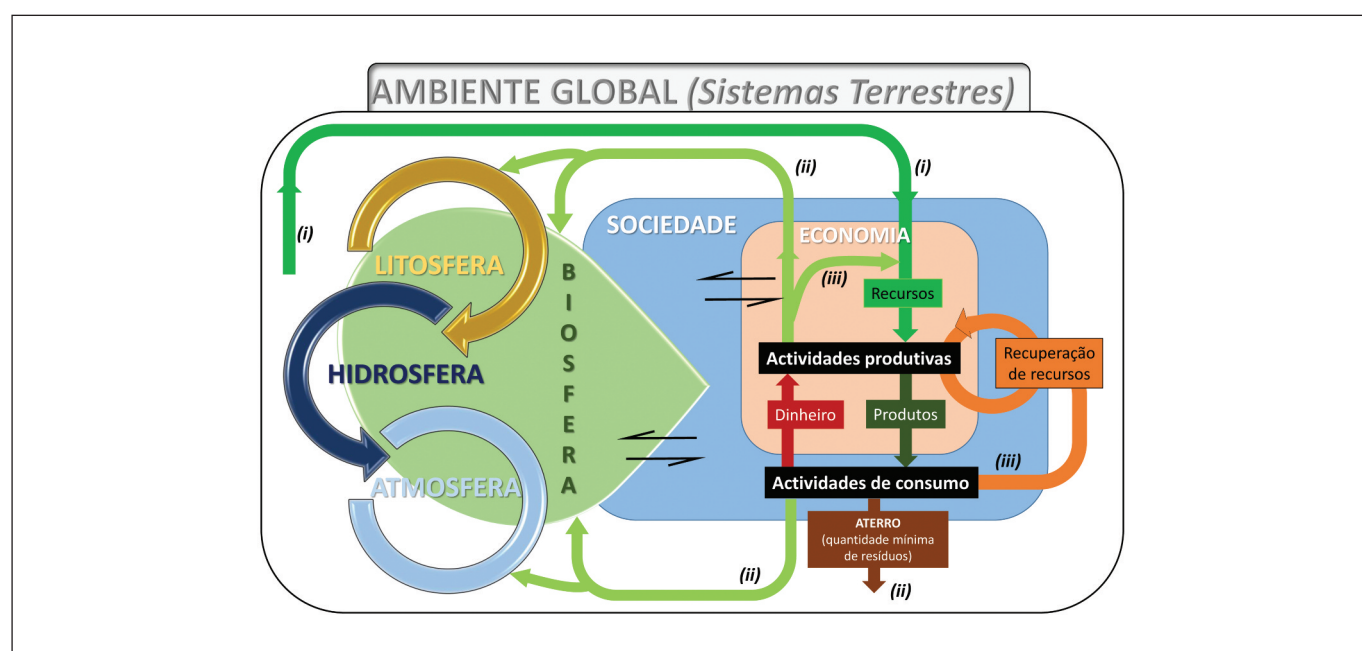


Figura 2 – Representação esquemática das principais interações entre os Sistemas Terrestres (Ambiente Global), que hospedam a totalidade do Capital Natural, e o Sistema Antropogénico, materializado de forma simplista pelos subsistemas “Sociedade” e “Economia”. Os fluxos (i) representam o suporte fundamental do Sistema Antropogénico.

Os fluxos (ii) traduzem os impactos desencadeados pela actividade humana, os quais podem ser mitigados via incremento dos fluxos (iii). Note-se que as escalas de tempo envolvidas nas diferentes interações são muito diversas, contrastando fortemente com as que naturalmente se estabelecem entre a Litosfera, Hidrosfera, Biosfera e Atmosfera.

Figure 2 – Schematic representation of the main interactions between the Earth Systems (Global Environment), that host all the Natural Capitals, and the Anthropogenic System, simplistically indicated by the sub-systems “Society” and “Economy”. The flows (i) are the fundamental support of the Anthropogenic System. The flows (ii) denote the impacts triggered by the human activity, which can be mitigated through increasing of flows (iii). Note that the time scales involved in all these interactions are quite variable, strongly contrasting with those naturally established between Lithosphere, Hydrosphere, Biosphere and Atmosphere.

(incompreensivelmente) banidas de certos territórios. Acresce referir que a ideia de uma indústria tecnologicamente antiquada, em grande parte desnecessária e ambientalmente agressiva, não é correcta e muito menos generalizável, não obstante se reconhecer o muito que subsiste por fazer no sentido de mitigar passivos históricos (embora Portugal tenha vários casos exemplares de reabilitação destes passivos) e de alterar práticas ainda longe de atingir níveis elevados de eco-eficiência. Tal é válido a nível global, bem como na UE e em Portugal. E, uma vez mais, não é apanágio exclusivo da indústria mineira.

Deste modo, importa explorar perspectivas inovadoras (Fig. 3) e perceber como:

(i) Comunicar com a sociedade e preparar as próximas gerações para a importância dos minerais e metais nos modelos de desenvolvimento futuro (desejavelmente de baixa intensidade carbónica, assentando em tecnologias eco-eficientes e em fluxos otimizados de consumo material e energético – Cowell *et al.*, 1999; Johnson *et al.*, 2007; Kleijn *et*

al., 2011; Vidal *et al.*, 2013, 2017; Henckens *et al.*, 2014; Frenzel *et al.*, 2015; Graedel *et al.*, 2015a; Blagoeva *et al.*, 2016; Fortier *et al.*, 2018; Brown, 2018; Karakaya & Nuur, 2018; Lacey *et al.*, 2019);

(ii) Convencer o público em geral e as autoridades sobre a necessidade de intensificar as actividades de prospecção e exploração de minerais e salvaguardar adequadamente o acesso a recursos minerais relevantes (Kemp, 2010; Giurco *et al.*, 2014; Häggquist & Söderholm, 2015; Allington *et al.*, 2016; Mateus *et al.*, 2017; Karakaya & Nuur, 2018; Zhang *et al.*, 2018; Lopes *et al.*, 2018; Carvalho *et al.*, 2018);

(iii) Avaliar e superar novos riscos (operacionais, de reputação e regulatórios/políticos) que podem afectar os fluxos de caixa ou a licença da empresa para operar, reduzindo a sua disposição para investir em novos projectos e na procura ou implementação de soluções inovadoras (Nelsen, 2006; Jenkins & Yakovleva, 2006; Joyce & Thomson, 2010; Prno & Slocombe, 2012; Owen & Kemp, 2013; Hall *et al.*, 2015; Bice *et al.*, 2017; Brueckner & Eabrasu, 2018);

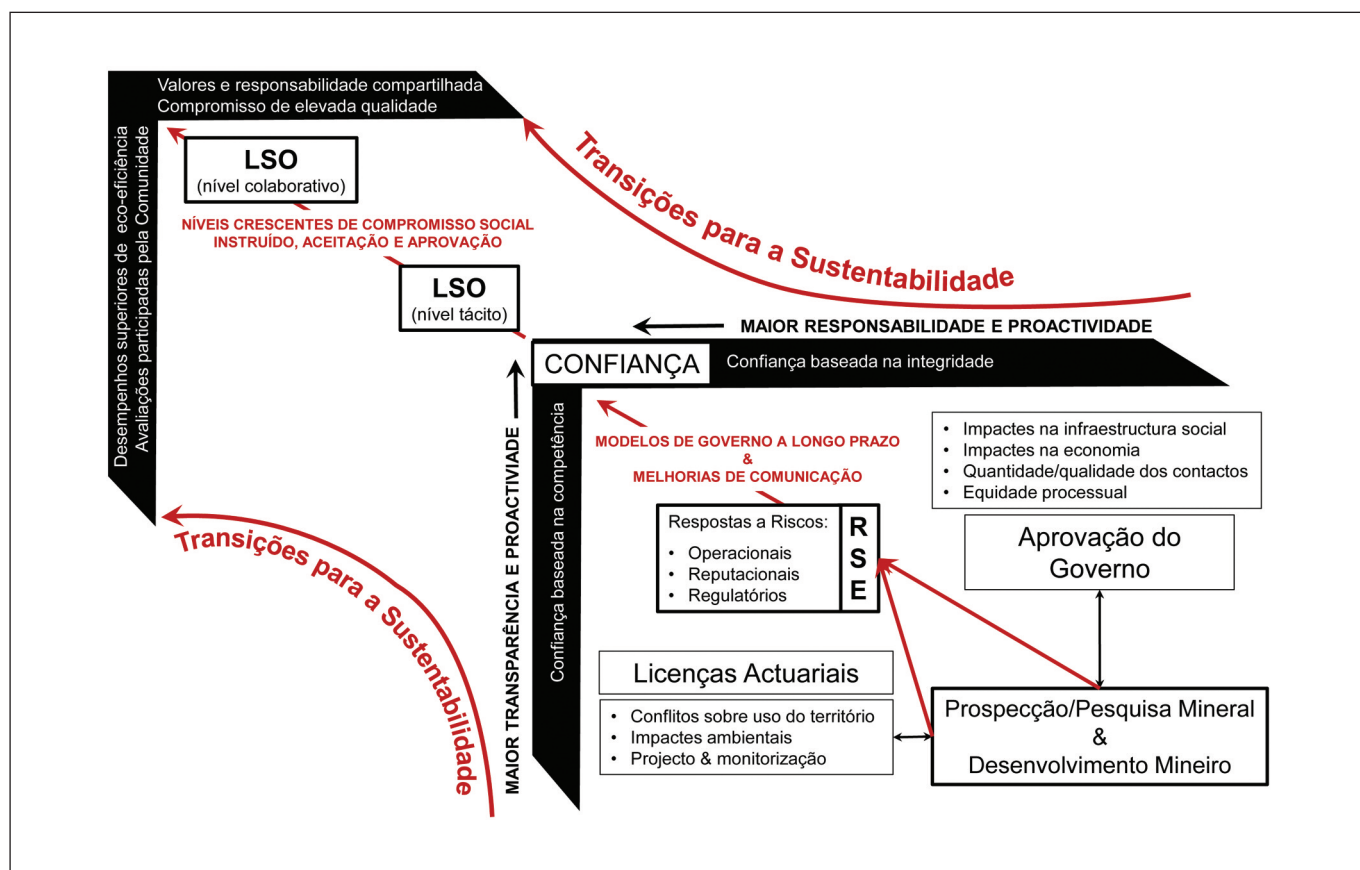


Figura 3 – Quadro conceptual que expressa as novas perspectivas subjacentes à comunicação com a sociedade e ao escrutínio por esta realizado sobre as actividades relacionadas com a indústria mineira. Para além das exigências impostas pelo quadro legal, importa cada vez mais cuidar de outros requisitos que extravasam o âmbito estrito da Responsabilidade Social das Empresas (SER) e podem consubstanciar diferentes riscos de natureza operacional, atingindo a reputação dos agentes económicos. Tais requisitos, globalmente incluídos na denominada Licença Social para Operar (LSO), são ainda mal compreendidos por todas as partes envolvidas no processo de licenciamento, carecendo de análise cuidada no sentido de criar condições adequadas ao estabelecimento de patamares de confiança mútua e responsabilidade compartilhada.

Figure 3 – Conceptual framework that expresses the new perspective underlying the communication with society and the scrutiny it carries out on activities related to the mining industry. In addition to the requirements imposed by the legal framework, it is increasingly important to consider other issues that go beyond the strict scope of Corporate Social Responsibility (CSR) and may involve different operational risks, threaten also the reputation of economic players. These issues, broadly included in the so-called Social Licence to Operate (SLO), are still poorly understood by all parties involved in the licensing process, requiring careful analysis to create suitable conditions for the establishment of levels of mutual trust and shared responsibility.

(iv) Demonstrar que a melhor maneira de promover desenvolvimentos socio-económicos sustentáveis é manter/expandir os investimentos em exploração mineral e operações mineiras responsáveis à escala nacional, reduzindo ao máximo a dependência de importações e de acordos de comércio internacional (muitas vezes favorecendo a produção em países/empresas não tão receptivos a códigos e práticas sociais e ambientais exigentes – Goodland, 2002; Hilson & Basu, 2003; Bloodworth & Gunn, 2012; UNEP, 2015a; Jasinski et al., 2018; Kim et al., 2019);

(v) Lidar de forma proactiva com um escrutínio público cada vez mais decisivo no que respeita à Responsabilidade Social das Empresas, transformando as relações convencionais com *stakeholders* e comunidades (Hilson, 2002; Boutilier, 2007; Frederiksen, 2018); e

(vi) Evoluir da aceitação/aprovação social tácita para uma colaboração eficaz, construindo uma cultura de valor e responsabilidade compartilhada nos caminhos futuros de progresso e bem-estar, porque assente em quadros de confiança mútua (Moffat & Zhang, 2014; Mancini & Sala, 2018).

2. Promover e consolidar modelos sustentáveis de desenvolvimento

Existem várias formas de interpretar o conceito de Desenvolvimento Sustentável, embora sejam cada vez em maior número as vozes que o encaram como um processo multifacetado de mudança que visa assegurar balanços críticos entre as dimensões base Economia, Sociedade e Ecologia. Processo de mudança através do qual a exploração dos recursos naturais, a orientação do desenvolvimento tecnológico, o encaminhamento dos investimentos e a evolução das instituições (públicas e privadas) se vão harmonizando com a constituição, organização e dinâmica dos sistemas naturais de forma a garantir as possibilidades de satisfação das necessidades sentidas e aspirações expressas pelas gerações actual e vindouras. Processo multifacetado que necessita de ser optimizado e ajustado caso a caso, já que configura um sistema complexo alicerçado nas três dimensões base acima referidas e nas diversas interações que, dinamicamente, se estabelecem entre elas. Em termos práticos, convergir para os objectivos do Desenvolvimento Sustentável significa procurar o balanço entre imperativos económicos, ambientais e sociais, implicando a adopção de políticas/medidas que fixem como prioridade atitudes/estratégias preventivas e concorram para: (i) incrementos de eco-eficiência (material e energética); (ii) redução de resíduos (*i.e.* fazendo uso de tecnologias de produção mais limpa); (iii) alargamento do ciclo de vida de bens e produtos; (iv) diminuição generalizada do consumo, eliminando tanto quanto possível o desperdício; (v) aumento da reutilização e da reciclagem; (vi) melhoramentos em *eco-design*; e (vii) procura de substitutos mais vantajosos e viáveis em termos económicos e ambientais (OECD, 2014, 2016, 2018; UNEP, 2015b). Neste âmbito será então possível promover práticas de gestão eco-eficiente atendendo à visão tripartida económica (produção de bens competitivos e criação de mais riqueza), social (satisfação de necessidades e melhoria dos padrões de qualidade de vida) e ambiental (minimização dos impactos ambientais, utilizando materiais, energia e água com a devida parcimónia, e melhorando a produtividade). Desta teia de conceitos retira-se também que não será possível convergir para os objectivos do Desenvolvimento Sustentável sem criação de riqueza, a qual dependerá sempre de uma economia robusta e suficientemente estável no tempo, tendo como principal esteio os sectores industriais pesados, onde a actividade

mineira se insere naturalmente. E tanto assim é que o sector mineiro figura como um dos contribuintes chave para muitos dos *Objectivos para a Sustentabilidade* inscritos na Agenda 2030, recentemente definidos pela ONU (UNDP, 2016; <https://sustainabledevelopment.un.org/sdgs>).

O progresso registado nas duas últimas décadas pela indústria mineira no sentido de melhorar o seu desempenho económico, social e ambiental é assinalável (Humphreys, 2001; Graedel & Klee, 2002; Giurco & Cooper, 2012). Existem assimetrias (dependentes, por exemplo, do tipo de exploração, tecnologias de tratamento/beneficiação e localização territorial) que importa debelar com recurso a metodologias testadas e validadas. Soluções tecnológicas complementares visando incrementos de eco-eficiência industrial têm também vindo a ser ensaiadas com relativo sucesso, mas estão longe de poderem ser utilizadas universalmente, carecendo de maior investimento. Contudo, como bem demonstram numerosos estudos (UNEP, 2010a, 2011, 2013; Giljum et al., 2014; Garbarino et al., 2018; Manhart et al., 2018; EU, 2018a; OECD, 2019a): (i) a redução e acondicionamento adequado de resíduos é um dado adquirido na larga maioria dos empreendimentos mineiros, nomeadamente quando não existem passivos históricos acumulados; (ii) os consumos de água e energia baixaram de forma considerável, havendo ainda espaço para melhoramentos nomeadamente quanto à quantidade de energia usada por unidade de produção; (iii) os níveis de emissões de particulados atmosféricos foram reduzidos de forma dramática; (iv) os processos de requalificação ambiental são um dado adquirido em todos os projectos mineiros modernos (e quando existem passivos históricos, especial cuidado tem sido dado à sua gestão, envolvendo investimentos de grande porte, conforme tem vindo a ser feito em Portugal); (v) as condições de segurança no trabalho têm vindo a melhorar vertiginosamente; e (vi) as boas práticas inerentes à “Licença Social para Operar” e à “Responsabilidade Social das Empresas” passaram a ser naturalmente assumidas em todas as fases do processo. O caminho que tem vindo a ser percorrido é irreversível, sem prejuízo de reconhecer as dificuldades sentidas para operacionalizar muitas soluções em empreendimentos com largas décadas de existência e/ou de obtenção dos fundos necessários para colocar em prática os desejáveis programas de reabilitação.

A este propósito, importa referir que os sectores industriais relacionados com as matérias-primas são líderes no “reporte da sustentabilidade” (transpa-

rência / responsabilidade social / redução de riscos); e, nos últimos 5 anos, cerca de 24% dos reportes globais foram da iniciativa de empresas sediadas na EU (EU, 2018a). Em diversos aspectos dos códigos de boas práticas, o que tem sido feito em Portugal é reconhecido internacionalmente como muito positivo e/ou inovador, não apenas no desenvolvimento registado ao nível da regulamentação, mas também na forma como os vários normativos têm vindo a ser interiorizados e implementados no terreno (DGE, 2010). Também no domínio da reabilitação ambiental de centros mineiros históricos, volta a salientar-se que o registo nacional se destaca positivamente do que tem sido realizado em outros territórios (EDM, 2011). Importa que este progresso não seja descontinuado pois muito subsiste por fazer.

3. Providenciar o abastecimento seguro e responsável de matérias-primas minerais

Tal como aconteceu em numerosas situações no passado, a dinâmica actual e futura da sociedade depende do acesso a energia e matérias-primas, estas últimas incluindo necessariamente todas as rochas e minerais industriais, concentrados minerais e seus produtos derivados (Govett & Govett, 1972; Moriguchi, 2007; Achzet & Helbig, 2013; Sverdrup & Ragnadóttir, 2014; Arndt et al., 2017; Vidal et al., 2017; Løvik et al., 2018; McCarthy & Börkey, 2018; OECD, 2019b; Humphreys, 2019; Mitra, 2019; Mateus & Martins, 2019). Na realidade, a indústria mineira é ponto de partida da cadeia de valor fundamental, onde todas as restantes (tão apreciadas no mundo ocidental) enraízam, sendo as últimas ramificações ocupadas pelos “serviços” (bem longe da origem mas muito dependente e, em alguns casos, revelando elevada vulnerabilidade à sucessão de fluxos materiais que se estabelecem a montante). Nem sempre, porém, esta realidade é devidamente considerada (Humphreys, 2013; De Villers, 2017). E se as opiniões dos oponentes à mineração prevalecerem em definitivo, a escassez gradual de matéria-prima no mercado determinará preços incontroláveis para os sectores económicos a jusante, inviabilizando a manufactura de bens e produtos por todos requeridos (Humphreys, 1995; Tilton, 2003; 2018; Gleich et al., 2013; Turner, 2008; 2014; Crowson, 2011; Tilton & Guzmán, 2016; Helbig et al., 2016; Henckens et al., 2016; Fernandez, 2018; Lilfort et al., 2018; Tilton et al., 2018). Nessa altura, fazendo jus ao imediatismo alimentado por curta memória, a sociedade terá dificuldade em perceber como foi

possível “chegar a esse ponto”!... Claro que outros produtos e outras soluções tecnológicas existirão no futuro, mas a totalidade das necessidades dificilmente será suprida por alternativas geradas via *eco-design* ou outras exclusivamente dependentes dos presumíveis ganhos de eficiência ao nível da reutilização, reciclagem ou substituição (Syverson, 2004; Graedel et al., 2011; Graedel & Erdmann, 2012; Reck & Graedel, 2012; UNEP, 2010b; 2013; Singh & Ordoñez, 2016; Iacovidov et al., 2017; Pavel et al., 2017; Katz & Pietrobelli, 2018; OECD, 2019b; Ciacchi et al., 2019). Importa, por isso, entender melhor o que está em causa.

Enfrentamos hoje um conjunto impressionante de desafios maioritariamente relacionados com a delineação de políticas e medidas que pretendem suportar, expectavelmente, modelos de crescimento económico sustentável (UNEP, 2015b; Geissdoerfer et al., 2017; OECD, 2018, 2019b; EU, 2018a, b). Em grande medida, temos vindo a viver desde há vários anos um período de transição que deverá estender-se por mais algum tempo. No decurso deste período de transição, mudanças significativas deverão ocorrer, alterando as infraestruturas tradicionais (pesadas e tendencialmente agrupadas), bem como as mentalidades e as formas convencionais de governo/administração. Concomitantemente, se os principais incentivos políticos e económicos do presente persistirem, e as grandes tendências tecnológicas que hoje se antecipam como prováveis se confirmarem, a dependência de uma larga variedade de metais e minerais industriais alargar-se-á, aumentando os riscos de descontinuidade do abastecimento ou de disrupções severas. Sejam claros: a descarbonização da economia e a massificação das tecnologias digitais (nas suas imensas aplicações) conduzem inevitavelmente a uma economia caracterizada pelo uso intensivo de metais, na sua maioria provenientes de fontes primárias (muitos deles pouco abundantes e exigindo maior processamento – Fig. 4). A curto-médio prazo encontram-se nesta situação: (i) a expansão dos sistemas tecnologicamente sustentáveis de energia (eólico e fotovoltaico, em particular); (ii) os mecanismos de captura e sequestro de dióxido de carbono ou de outros gases de efeito de estufa (GHG) com elevados tempos de residência na troposfera; (iii) o desenvolvimento e instalação generalizada de centrais eléctricas supercríticas; (iv) a massificação de transportes híbridos e eléctricos; (v) o armazenamento (centralizado ou distribuído) de energia obtida com recurso a fontes de maior intermitência; (vi) os sistemas de iluminação eficiente

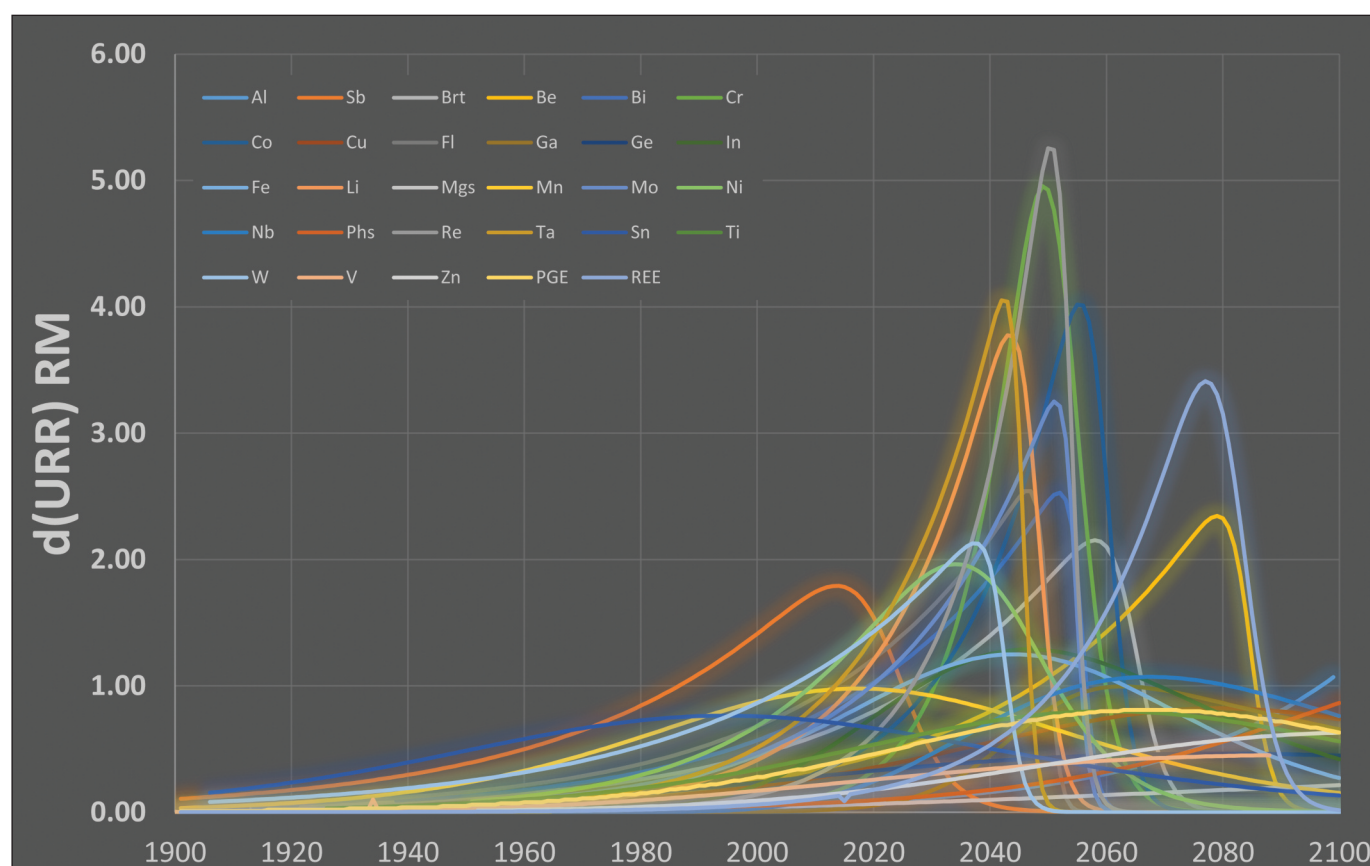


Figura 4 – Evolução das taxas de depleção ($d_{URR,t}$) dos recursos hoje conhecidos para cada matéria-prima mineral (URR_t) até 2100, fazendo uso da expressão $d_{URR,t} = \frac{q(t)}{URR_t} \times 100$, onde $q(t)$ representa a produção anual.

As estimativas realizadas numericamente tomaram como referência os valores URR_{2015} apresentados pelo USGS e o modelo de crescimento logístico geral de Richards, i.e., $Q(t) = URR_t \times [1 + b \times e^{(-k(t-t_m))}]^{-1/b}$, onde $Q(t)$ representa a produção acumulada e os parâmetros b e k são determinados pelo ajustamento da função aos dados de produção histórica recorrendo ao método dos mínimos quadrados. Esta é, seguramente, uma forma simplista de abordar o problema, uma vez que não se consideram numerosos factores com implicações na gestão futura dos recursos, nomeadamente: (1) contextos de mercado (que afectarão os balanços entre a oferta e a procura, bem como os preços); (2) desenvolvimentos tecnológicos (que influenciarão a eficiência da extração e do processamento); (3) resultados de prospecção e pesquisa mineral (que poderão determinar alterações consideráveis nos valores de URR); e (4) progressos nos processos de reciclagem e viabilidade económica de substitutos (que retirarão pressão à mineração primária). Ainda assim, é notória a forte agregação dos picos de depleção entre 2030 e 2060 para um elevado número de metais, traduzindo máximos de produção anual, seguidos de quedas relativamente acentuadas. Esta tendência generalizada não deve ser entendida como um “sinal de colapso iminente”, mas sim como um alerta para a necessidade de intensificar os esforços de prospecção e pesquisa mineral, para além da procura de “mixings” adequados de fontes secundárias de matéria-prima (informações complementares a este respeito podem ser obtidas em Mateus & Martins, 2019).

Figure 4 – Evolution of the depletion rates ($d_{URR,t}$) for resources currently known of each raw material (URR_t) until 2100, making use of the equation $d_{URR,t} = \frac{q(t)}{URR_t} \times 100$, where $q(t)$ stands for the annual production. The numerical estimations took as reference the URR_{2015} values reported by USGS and the general logistic growth model of Richards, i.e., $Q(t) = URR_t \times [1 + b \times e^{(-k(t-t_m))}]^{-1/b}$, where $Q(t)$

represents the accumulated production and the parameters b e k are determined by the function adjustment to the historical data on production using the minimum squares method. This is surely a simplistic way of approaching the problem, since numerous factors with implications in the future management of resources are not considered, namely: (1) market contexts (which will affect the supply/demand balance and prices); (2) technological developments (which will influence the efficiency of extraction and processing); (3) mineral exploration results (which may determine significant changes in URR values); and (4) progress in recycling and economic viability of substitutes (which will remove pressure on primary resources mining). Even so, it is noteworthy the strong clustering of depletion peaks between 2030 and 2060 for a high number of metals, reflecting annual production maxima, followed by relatively steep falls. This generalized trend should not be understood as an “imminent sign of collapse” but rather as an alert to the need of intensify efforts on mineral exploration together with research seeking for suitable mixings of secondary sources of raw materials (additional information on this issue can be found in Mateus & Martins, 2019).

(redes públicas e domésticas); (vii) a difusão das redes inteligentes e dos novos sistemas de comunicação digital; e (viii) os progressos da automação (Kushnir & Sandén, 2012; Moss et al., 2013; Massari & Ruberti, 2013; Goe & Gaustad, 2014; Widmer et al., 2015; Kavlak et al., 2015; Habib & Wenzel, 2016; UNEP, 2016b, 2017b; Öko-Institut, 2018; Deetman et al., 2018; Song et al., 2019; Meshram et al., 2019). Os riscos de descontinuidade/disrupção do abastecimento não se confinam aos denominados “metais críticos” caracterizados por reciclagem (ainda bastante) limitada, conhecimento deficiente dos seus recursos/reservas (com frequência explorados como subprodutos) e habitualmente produzidos em reduzido número de países e/ou por escassas empresas (Fizaine, 2013; Mudd et al., 2013; De Boer & Lammertsma, 2013; Roelich et al., 2014; Coulomb et al., 2015; Nassar et al., 2015; BIO by Deloitte, 2015; Graedel et al., 2015b; Lovik et al., 2016; Frenzel et al., 2016; Henckens et al., 2016, 2018; Goodenough et al., 2017; Ku et al., 2018; EU, 2018a, b; Griffin et al., 2019). Pelo contrário, eles tenderão a estender-se a outros metais estratégicos, como metais base e alguns minerais industriais implicados na manufactura de muitos outros produtos (diferentes tipos de vidros e cimentos, aços especiais, ligas metálicas específicas, etc.), cujos recursos/reservas relativamente elevadas e de alto teor estão decaindo; estas matérias-primas não têm substitutos conhecidos e, embora o seu potencial de reciclagem a longo prazo seja elevado, tal terá impactos assinaláveis nos consumos de energia e nas quantidades de emissões GHG (Mudd et al., 2012, 2017; Vidal et al., 2017; Mudd & Jowitt, 2018; Mateus & Martins, 2019). Vejamos alguns números, tomando como referência as projecções recentemente realizadas pela OCDE:

(i) Entre 2011 e 2060, a população crescerá 1,5x e o rendimento médio *per capita* 2,7x; no mesmo período, o uso de materiais aumentará 2,1x correspondendo a um incremento diário *per capita* de 33 kg para 45 kg (i.e. de ~12 t/ano para ~16 t/ano *per capita*).

(ii) Para o mesmo intervalo de tempo, antecipam-se taxas de crescimento de 1,8x, 2,6x, 3,2x, 3,3x, 3,7x e 2,6x para a agricultura, construção e bens de uso comum, indústria, serviços, reciclagem e mineração, respectivamente. Neste contexto, importa sublinhar que a quota global da reciclagem é 10x inferior à da mineração, pelo que será impossível substituir integralmente os contributos da segunda pela primeira, mesmo crescendo a taxa superior (3,7x em vez de 2,6x).

(iii) O quadro de desenvolvimento projectado implicará ainda incrementos globais de consumo de metais de 8 Gt (2011) para 20 Gt (2060) e de rochas e minerais industriais de 37 Gt (2011) para 86 Gt (2060). O aumento da procura global nas próximas décadas será liderado por regiões em desenvolvimento, nomeadamente asiáticas, sem prejuízo de registar subidas significativas em regiões desenvolvidas (e, portanto, mais aptas para receber produtos tecnológicos avançados cuja manufactura requer grande diversidade de metais).

Acrescem aos indicadores referidos os problemas decorrentes das medidas restritivas de exportação usadas por países produtores hegemónicos; nos últimos anos estas restrições abrangeram cerca de 20 tipos diferentes de matérias-primas minerais ou seus derivados, cativando mais de 50% da produção global para cada uma delas. Nestas circunstâncias, a implementação de medidas adequadas à gestão multi-escala (regional a global) dos recursos minerais afigura-se crítica à satisfação do balanço (sustentável) a longo prazo entre o aumento antecipado da procura e o abastecimento/produção de metais e minerais/rochas industriais (Gordon et al., 2006; Rosenau-Tornow et al., 2009; Prior et al., 2012; Ali et al., 2017; Henckens et al., 2018; Northey et al., 2018). Significa isto que será necessário manter activos mineiros por muito tempo e continuar a investir em prospecção e pesquisa mineral para que novas descobertas possam ser identificadas e caracterizadas. A este propósito importa deixar claro que, do ponto de vista geológico, há espaço para que novas descobertas ocorram (tipicamente a maiores profundidades), nomeadamente em Portugal e na Europa, como bem comprovam os numerosos registos históricos e recentes (Mateus & Martins, 2019); se a sua exploração será, ou não, viável, é outro problema que tem de ser apreciado em função de diversos factores condicionantes, nomeadamente do ponto de vista económico e ambiental. Portanto, o problema que se coloca não é o da escassez física, mas sim saber se os grandes investimentos necessários para este tipo de empreendimentos terão, ou não, retorno em tempo útil (e.g. Yaksic & Tilton, 2009; Söderholm & Tilton, 2012; Calvo et al., 2017; Tilton et al., 2018). E, neste âmbito, a estabilidade das políticas fiscais, assim como as que regulam a actividade mineira, reveste-se de especial importância. Para além deste aspecto, há um outro de enorme relevância que se prende com as políticas de ordenamento do território e o seu papel decisivo na salvaguarda do acesso corrente e futuro a recursos

minerais suficientemente conhecidos, garantindo assim a possibilidade de usufruto desses provimentos naturais pelas próximas gerações (Owens, 1997; Worrall et al., 2009; Wrighton et al., 2014; Allington et al., 2016; Mateus et al., 2017).

A economia da UE requer uma larga gama de matérias-primas (EU Commission 2010, 2014, 2015; BIO by Deloitte, 2015; Deloitte Sustainability et al., 2017; EU 2018a, b; OECD, 2019b). Sendo ainda o 3º produtor mundial de agregados e outros materiais de construção, a sua dependência externa neste particular é relativamente baixa, não obstante o decaimento acentuado da quota europeia no mercado global registado nos últimos anos. Pelo contrário, a UE está cada vez mais longe de ser auto-suficiente para um número crescente de metais e minérios metálicos, dependendo fortemente da importação (designadamente da China). A importação de vários metais considerados críticos para a economia da UE permanece próxima de 100%; uma outra fracção é processada na EU recorrendo sobretudo a matéria-prima importada, envolvendo componentes primárias (concentrados minerais) e secundárias (sucatas, maioritariamente). Na realidade, a EU processa e refina mais do que extrai e os riscos inerentes à segurança do abastecimento têm vindo a aumentar de forma preocupante, ameaçando sectores económicos e tecnológicos críticos à consolidação do Projecto Europeu, mas também ao cumprimento de numerosos programas políticos em curso sobre mobilidade eléctrica, expansão de parques eólicos e/ou fotovoltaicos, armazenamento de energia, etc. Com efeito, neste tipo de questões, não basta ter a tecnologia e tratados comerciais que procuram mitigar os riscos inerentes ao aprovisionamento de matéria-prima. É fundamental garantir segurança de abastecimento a longo-prazo dos metais que se revelam limitadores à expansão/massificação das soluções tecnológicas; estes sim podem dificultar e/ou inviabilizar na prática os objectivos traçados (como é o caso de algumas das terras raras, cobalto, índio, prata, tântalo, nióbio, lítio, etc.).

A produção europeia de matéria-prima mineral tem vindo a decair acentuadamente ao longo das últimas décadas (EU, 2018a, b). Simultaneamente, graças à implementação de políticas estáveis a longo prazo, registam-se aumentos de produção em muitos outros territórios que se tornaram gradualmente hegemónicos (na Ásia, por exemplo, para todos os metais e grupos minerais estratégicos). A produção europeia terá assim de aumentar, providenciando pelo menos parte do abastecimento (realista e seguro)

para muitas das indústrias a jusante (ver adiante). Desde a crise de 2008, a produção doméstica de materiais de construção e minerais industriais regista decréscimo. A produção de metais recuperou ligeiramente nos anos mais recentes, especialmente à custa do desempenho das fundições ainda existentes na "Europa Central", usando concentrados minerais maioritariamente importados, para além de sucatas (recolhidas na UE e também importadas). A auto-suficiência da UE em todas as matérias-primas minerais é impossível, mas muito poderá ser realizado através da procura do "mixing" de fontes primárias e secundárias, para além de desenvolvimento de soluções alternativas (que passam por negociações políticas e comerciais específicas com países produtores) que concorram efectivamente para a redução de riscos. Voltaremos a este assunto adiante.

A simples consulta dos dados oficiais disponibilizados pela DGEG na sua página *web* mostra que, nos últimos 45 anos, a indústria mineira portuguesa registou evolução notável (Fig. 5). No entanto, muito do potencial do país permanece inexplorado, como já demonstrado ou inferido com base no conhecimento geológico existente. O território português hospeda vários depósitos de minério de classe mundial (Cu, Zn, Fe, W, Sn), e Portugal é um dos principais produtores da UE de Cu, W, Li e rochas ornamentais. O peso global das receitas provenientes da produção destas matérias-primas minerais tem sido bastante estável e em torno de 0,5-0,6% do PIB desde 1994. Contudo, o sector tem, definitivamente, espaço para crescer e subir não apenas na produção, mas sobretudo na cadeia de valor: a produção de rochas e minerais industriais, para além da rocha ornamental, deverá aumentar no futuro próximo, bem como a produção de mineração metálica, se os projectos mais promissores forem colocados em operação e novas minas iniciarem a sua actividade. A receita das exportações relacionada com estas actividades também aumentou significativamente nos últimos 15 anos, evidenciando desempenho muito favorável. Entre 2003 e 2007, os investimentos em mineração em Portugal aumentaram cerca de sete vezes. Os indicadores sociais e ambientais são também positivos, reflectindo incrementos sustentados das actividades de mineração responsáveis. O quadro regulamentar existente é favoravelmente apreciado a nível internacional, não obstante existirem várias arestas por limar no plano da fiscalidade, da continuidade dos projectos, da morosidade (e/ou indefinição) administrativa quanto à atribuição de concessões, etc. Foram também dados



Figura 5 – Evolução dos totais de produção, exportação e importação (em toneladas e valor económico) para minerais não energéticos (i.e. concentrados de minerais metálicos e minerais industriais e de construção, incluindo nestes últimos as rochas ornamentais) em Portugal, entre 1973 e 2013. Evolução comparativa do peso relativo dos “minerais não energéticos exportados e importados” sobre o total (nacional) de exportações e importações durante o período 1995-2012; a proporção do total das exportações e importações em relação ao PIB é também projectada como referência. Adaptado de Mateus et al. (2015).

Figure 5 – Evolution of production, export and import totals (in tonnes and economic value) for non-energy minerals (i.e. metallic mineral concentrates and industrial and construction minerals, including ornamental stones) in Portugal between 1973 and 2013. Comparative evolution of the relative weight of “non-energy minerals exported and imported” over the (national) total of exports and imports over the period 1995-2012; the proportion of total exports and imports in relation to GDP is also plotted as reference. Adapted from Mateus et al. (2015).

passos fundamentais no que respeita à integração das especificidades mineiras nos planos de ordenamento do território. Mas há ainda um longo caminho a percorrer, sobretudo na desburocratização dos processos de licenciamento, diminuindo significativamente o tempo da respectiva decisão. Acrescem os estudos que permitam identificar das matérias-primas críticas à economia nacional (especialmente se a mesma não pretender ficar refém do turismo) e quantificar os fluxos materiais que podem ser valorizados nos circuitos complementares de reutilização e reciclagem (Fig. 6). Estas são componentes vitais do “*mixing*” material que Portugal deverá definir para o futuro, sem comprometer investimentos que concorram para o aumento da produção primária e subsequente subida na cadeia de valor; ao fazê-lo, estará também a contribuir para a redução de riscos de abastecimento futuros na UE em um número apreciável de matérias-primas minerais.

4. Estimular a generalização de rotinas industriais eco-eficientes

Conforme referido acima, os progressos registados pela indústria mineira no sentido da eco-eficiência têm sido bastante expressivos. Tal não significa que tudo esteja bem; pelo contrário, muito subsiste por fazer. Mas é inegável o esforço realizado, o qual se traduz à escala global por largos milhares de milhões de \$US em investimento tecnológico, procurando sobretudo melhorar os níveis de desempenho em todas as fases do processo industrial e, simultaneamente, reduzir os custos energéticos (e de emissões), para além dos volumes de água utilizados e dos resíduos gerados (Figueiredo & Piana, 2018; Pietrobelli et al., 2018a, b; Molina, 2018; Garbarino et al., 2018; Ghassim & Foss, 2018). A taxa de implementação de várias soluções tecnológicas poderá não ser tão elevada quanto muitos desejariam, mas importa recordar que as especificidades inerentes às actividades (de exploração, tratamento, beneficiação e transformação) impedem, com frequência, alterações bruscas/rápidas de procedimentos sob pena: (i) de comprometer os níveis de segurança estabelecidos para as operações de mineração; (ii) de aumentar a exposição ao risco de financiamento, uma vez que os investimentos requeridos são sempre muito elevados; e (iii) de instabilizar a produção por períodos perigosamente longos. Ainda assim são cada vez mais numerosos os casos (a nível global, na UE e em Portugal) onde, para além da reengenharia dos processos (procurando a sua optimização), se têm

adoptado metodologias: (i) de diminuição e contenção de resíduos; (ii) de implementação de circuitos de água tão confinados quanto possível ao meio industrial; (iii) de tratamento efectivo de águas residuais; e (iv) de instalação de sistemas energéticos alternativos que permitam reduzir a dependência dos combustíveis fósseis.

Existem várias formas de estimular e acelerar a generalização de rotinas eco-eficientes na indústria mineira, considerando as características próprias de cada um dos seus sectores de actividade. As de maior sucesso têm envolvido incentivos fiscais (ou outros) que permitam baixar (de forma controlada) a produção e, simultaneamente, libertar a curto prazo os fundos necessários ao investimento em novas tecnologias e/ou alteração de processos. A implementação destas medidas, e respectiva monitorização, estará então sujeita a um plano previamente acordado entre todas as partes interessadas, garantindo cumprimento integral dos objectivos em tempo útil.

5. Coadunar crescimento industrial e salvaguarda ambiental

As necessidades dos sectores económicos a jusante da indústria mineira estão evoluindo, em alguns casos muito rapidamente, requerendo materiais que são menos abundantes e exigem maior processamento, conduzindo assim a aumentos do consumo de energia e água, e gerando maiores quantidades de resíduos (veja-se, por exemplo, a extensa e bem documentada lista de exemplos reportados em Garbarino et al., 2018). O crescimento industrial não é incompatível com a salvaguarda ambiental, mas o cumprimento de normativos exigentes quanto aos fluxos de massa e energia gerados na dependência das actividades industriais, nomeadamente mineiras, requer: (i) implementação de medidas concretas de ordenamento do território que as prevejam, considerando a localização (determinada por factores naturais) dos recursos minerais identificados; (ii) modernização de infraestruturas, dotando-as de meios tecnológicos capazes de proporcionar desempenhos eco-eficientes; (iii) planos de lavra parcimoniosos complementados por programas de monitorização e requalificação ambiental credíveis; e (iv) mão-de-obra qualificada. Estes factores têm vindo a ser gradualmente interiorizados pelas empresas mineiras, apesar de subsistirem casos preocupantes quando as actividades se desenrolam em países dotados de quadros regulamentares pouco exigentes a nível ambiental e social; daí a urgência em promulgar normas inter-

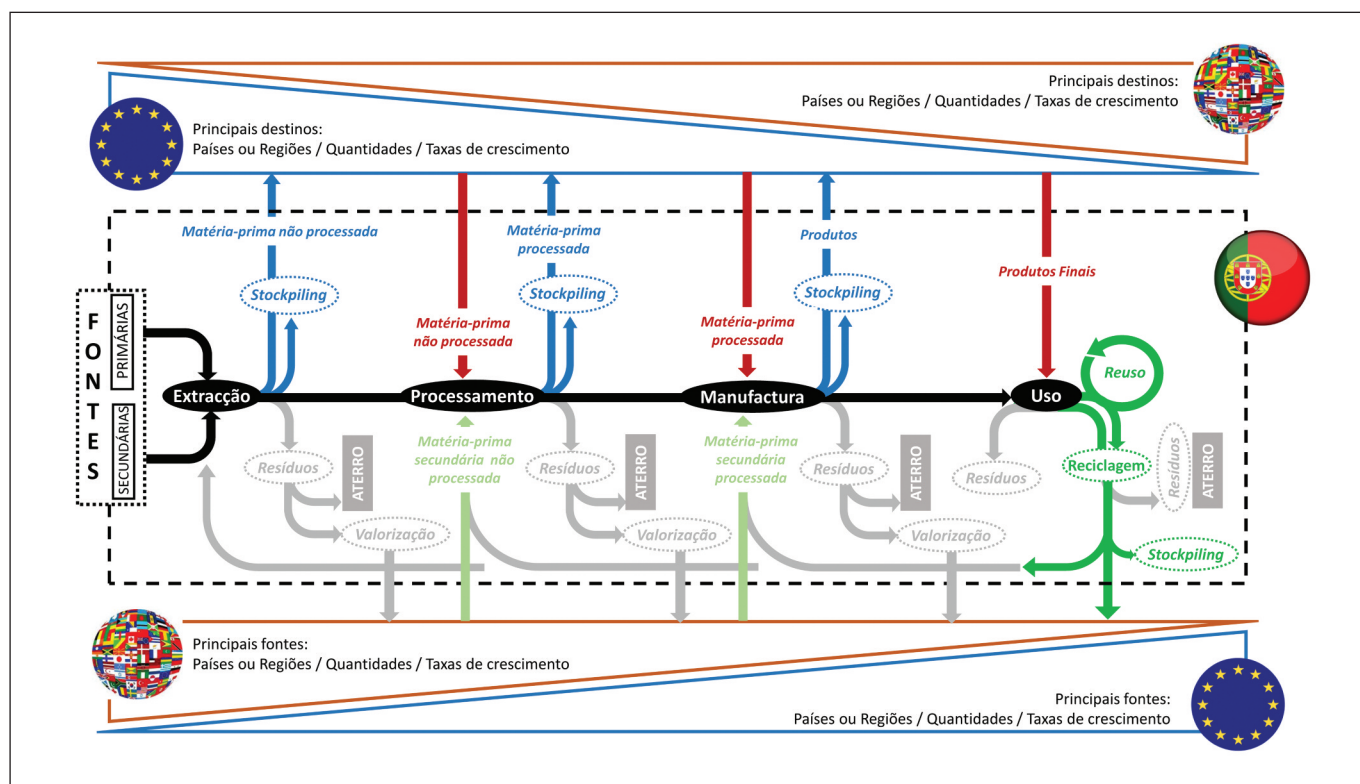


Figura 6 – Ilustração sintética da matriz que deverá orientar a análise de fluxos materiais na economia portuguesa, relevando os factores que podem potenciar ou mitigar eventuais políticas de re-industrialização do país. Este mapeamento urgente permitirá compreender qual o nível de dependência que a economia portuguesa tem (e terá) das matérias-primas minerais. Quais as matérias-primas minerais de maior relevo (estratégicas/críticas) para a economia nacional e quais as que revelam maior vulnerabilidade às opções políticas de desenvolvimento a médio e longo prazo? Quais fluxos de matéria (conhecidos, incipientemente conhecidos, ou desconhecidos) cruciais à monitorização de caminhos orientados para o Desenvolvimento Sustentável (desde logo os inscritos no Roteiro para a Neutralidade Carbónica – 2050)?

Que papel tem (e poderá ter) Portugal no quadro da UE quanto à produção mineral requerida pela segurança do abastecimento de matérias-primas minerais consideradas críticas para a economia europeia?

Figure 6 – Schematic illustration of the matrix that should guide the material flow analysis in the Portuguese economy, highlighting the factors that may potentiate or mitigate the implementation of possible re-industrialization policies in the country. This urgent mapping will allow the understanding of the level of dependence that the Portuguese economy has (and will have) on mineral raw materials. Which are the most important (strategic/critical) mineral raw materials for the national economy and which are the most vulnerable to medium and long-term development policy options? What material flows (known, incipiently known, or unknown) are crucial to the monitoring of Sustainable Development-oriented paths (at present, e.g., those implicated in the Roadmap for Carbon Neutrality – 2050)? What role has (and can have) Portugal in the EU framework regarding the mineral production required for the security of supply of mineral raw materials considered critical for the European economy?

nacionais sobre “abastecimento responsável” (Henckens et al., 2016; Wall et al., 2017), limitando ou impedindo importações de matéria-prima mineral quando a mesma é obtida em condições de franca violação das condições de trabalho, adulteração e/ou falta de transparência dos mecanismos comerciais, e/ou de evidente transgressão dos códigos de boas práticas ambientais. Contudo, excluindo estas situações extremas, a evolução registada nas últimas décadas tem sido particularmente positiva, sendo importante distinguir os impactos ambientais relacionados com empreendimentos industriais modernos dos que,

em funcionamento contínuo e/ou intermitente, herdaram passivos ambientais de difícil resolução.

Em termos gerais, os impactos relacionados com empreendimentos industriais modernos são mitigáveis com relativa facilidade se todas as condições base acima referidas forem satisfeitas, apesar do balanço ainda ser bastante penalizante quanto ao total de emissões GHG. Com efeito, registam-se enormes quebras: (i) nos volumes acumulados à superfície de resíduos/rejeitados mineiros, não obstante o acentuado decréscimo dos teores de corte (denunciando aumento considerável de soluções “backfilling” com

recurso a rejeitados e/ou sua canalização para outras aplicações); (ii) nas quantidades emitidas de particulados atmosféricos; e (iii) nos volumes utilizados de água, com assinaláveis diminuições nos totais de águas residuais. Pelo contrário, as emissões GHG têm vindo a aumentar, nomeadamente em alguns dos subsectores relacionados com a construção civil (produção de cimentos, em particular) e com a fundição de metais (incluindo linhas de reprocessamento alicerçadas na reciclagem de sucata e de produtos electrónicos em fim de vida).

Mais de metade das emissões globais GHG relaciona-se com actividades de alguma forma ligadas à obtenção e transformação de matéria-prima; se o cenário anteriormente referido para o crescimento de procura se confirmar, as emissões globais GHG aumentarão »50 Gton CO₂ eq. em 2060 (OECD, 2019b). Não é possível hoje precisar quanto destas emissões poderá ser reduzido em curto intervalo de tempo, embora seja certo que alterações significativas às tendências projectadas apenas ocorrerão se a fracção de emissões implicada na produção de cimentos/betão e processos pirometalúrgicos baixar consideravelmente. Fazendo uso das projecções da OCDE a este propósito, a quota de emissões GHG afecta à produção de metais decrescerá ~2% até 2060 (de 9% para 7% do total de emissões associado à indústria de matérias-primas em geral), mas a implicada na produção de cimentos aumentará ~3% no mesmo período (de 9% para 12% do valor global). No que à UE diz respeito, as emissões de GHG relacionadas com o sector de matérias-primas têm vindo a diminuir de forma consistente desde 1970; esta redução relaciona-se com o decréscimo da actividade extractiva, mas também traduz melhorias de eficiência de muitas das fundições activas (EU, 2018b).

Quanto aos passivos ambientais históricos, as dificuldades são de outra índole, exigindo a adopção de metodologias adequadas caso-a-caso visando a regeneração e requalificação de áreas degradadas sem perturbar os mecanismos de atenuação natural potencialmente activos. Estas abordagens não devem ainda esquecer ou impedir eventuais avaliações de recursos ainda existentes, incluindo substâncias minerais não apreciadas anteriormente, bem como a possível retoma da exploração.

Em suma, conciliar crescimento industrial (relacionado com matérias-primas) e salvaguarda ambiental exigirá esforços concertados no tempo entre entidades de governo (central, regional, local) e empresas com o propósito de: (i) fomentar a exploração responsável de recursos primários e

procura de fontes alternativas de materiais (ver abaixo); (ii) desenvolver e implementar processos mais eco-eficientes (incluindo mecanismos biotecnológicos), integrados e de aplicação abrangente para a extração e valorização do desempenho de produtos e materiais alternativos; (iii) valorizar energeticamente resíduos não valorizáveis por outras vias; (iv) promover sinergias industriais para aproveitamento dos materiais, água e energia residuais, tendo em conta aspectos tecnológicos, económicos, culturais, jurídicos, de governação e ambientais; (v) mapear os fluxos de minerais estratégicos na economia; e (vi) diminuir a produção de rejeitados/resíduos, recorrendo a estudos de aproveitamento integral dos recursos. Todas estas linhas de acção concorrem para ganhos apreciáveis de eficiência quanto ao usufruto de recursos, concorrendo para dissociações efectivas entre crescimento económico, impactes ambientais e intensidade material/energética (Halad et al., 2008; UNEP, 2011, 2014a, 2017c; EU, 2018a), conforme ilustrado esquematicamente na Figura 7.

6. Incentivar práticas que robusteçam abordagens económicas circulares abertas

O crescimento demográfico, a urbanização e o desenvolvimento tecnológico são, desde há muito, os principais impulsionadores do consumo de energia e matérias-primas. Mais recentemente, o lançamento generalizado de programas visando uma economia digital de baixa intensidade carbónica tem vindo a aumentar a pressão sobre os produtores de matéria-prima (em geral, e mineral, em particular), concorrendo para alterações muito significativas das quotas de distribuição dessa matéria-prima pelos múltiplos subsectores económicos posicionados a jusante. Como lidar com este problema?

Nas próximas décadas, o aumento da população com maior poder de compra induzirá forte incremento da procura global por produtos e serviços. De acordo com a OCDE, entre 2011 e 2060 o produto interno bruto deverá quadruplicar e, em 2060, o valor médio global de renda *per capita* atingirá o nível corrente da OCDE, i.e. ~40.000,00 \$US. A produção e o consumo crescerão a maior ritmo em economias emergentes e em desenvolvimento, as quais se caracterizam por maior intensidade material. A quota crescente de serviços na economia reduzirá o uso crescente de materiais uma vez que o sector é menos intensivo nestes do que a indústria ou a agricultura. Adicionalmente, desenvolvimentos tecnológicos ajudarão ao crescimento dissociado dos

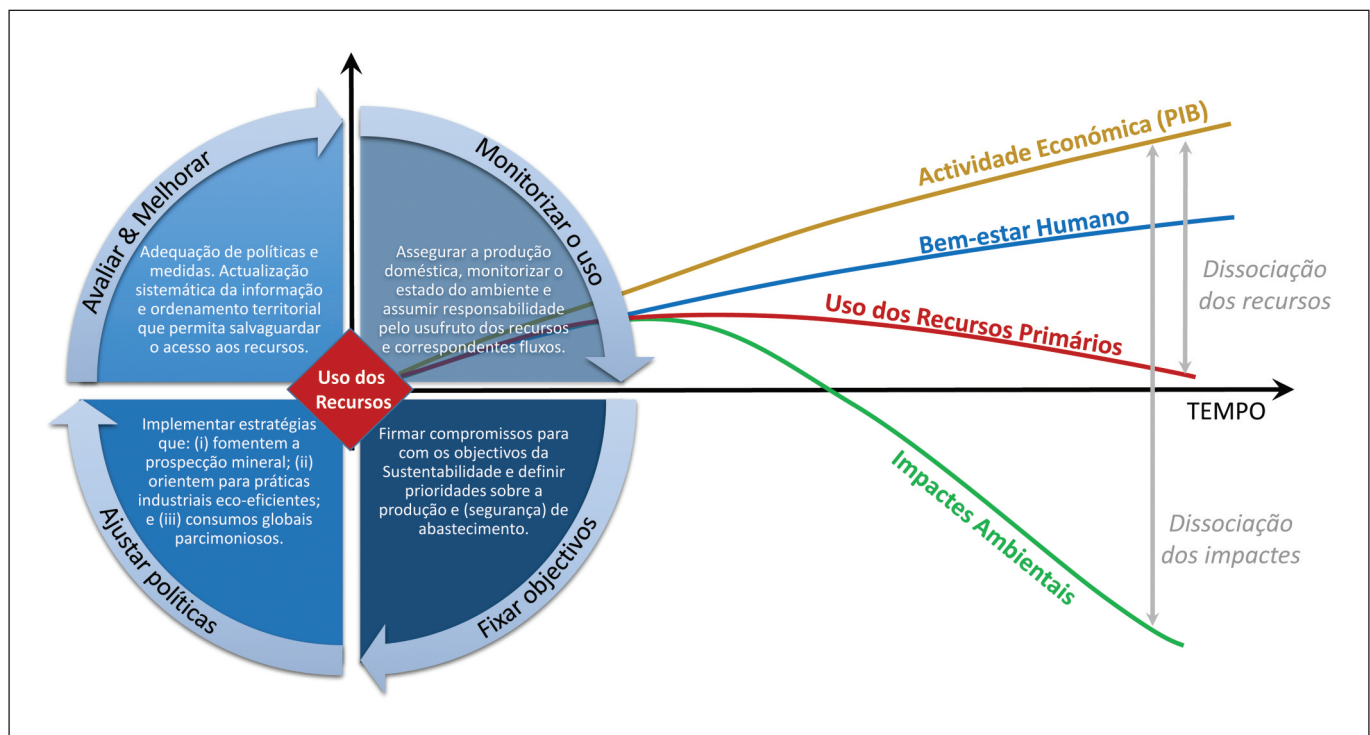


Figura 7 – Principais linhas de ação que concorrem para ganhos apreciáveis de eficiência quanto ao usufruto dos recursos minerais, concorrendo para dissociações efectivas entre crescimento económico, impactes ambientais e intensidade material/energética. Representação gráfica inspirada nos diagramas conceptuais apresentados nos relatórios globais da UNEP (2011, 2014a, 2017c).

Figure 7 – Main lines of action that contribute to significant gains in efficiency regarding the use of mineral resources and providing also the means to effective decoupling between economic growth, environmental impacts and material/energy intensity. Graphical representation inspired by the conceptual diagrams presented in the UNEP global reports (2011, 2014a, 2017c).

níveis de produção e dos *inputs* materiais que alimentarão essa produção; ou seja, a intensidade material tenderá a decrescer cerca de 1,3% entre 2017 e 2060 (mais do que no período 1980-2017, durante o qual se cifrou em -1,1%). Contudo, o uso global de materiais passará de 79 Gt em 2011 para 167 Gt em 2060, mais de metade destes valores correspondendo a rochas e minerais industriais (muitos deles usados em construção). Por outras palavras, o uso global de materiais aumentará mas não tão rapidamente quanto o valor médio global de rendimento *per capita* e os avanços tecnológicos tornarão a reciclagem progressivamente mais competitiva. Tal permitirá satisfazer o forte aumento da procura através de “*mixings*” adequados entre componentes originados via exploração de recursos primários e secundários (Fig. 8). Demonstra-se assim, uma vez mais: (i) que a indústria mineira continuará a ser um “*player*” incontornável nos modelos de desenvolvimento futuro; e (ii) que as componentes primárias serão parte fundamental

dos fluxos de matéria-prima suporte ao crescimento económico e prosperidade social, pelo menos nas próximas décadas, por muito optimizados que sejam os processos de recolha e reprocessamento de resíduos valorizáveis e materiais em fim de vida (George et al., 2015; Ghisellini et al., 2016; Glisellini et al., 2016; Ritzén & Sandström, 2017; Cooper et al., 2017; Drielsma et al., 2016; Kirchher et al., 2017; Yamaguchi, 2018; McCarthy et al., 2018; EU, 2018b; OECD, 2019a). De forma simples: contribuir para o sucesso futuro da denominada “economia circular”, tomando como desiderato maior os desafios da Sustentabilidade, requer a adopção de visões abertas quanto ao provimento de energia e matéria-prima, necessariamente considerando os contributos de uma indústria mineira responsável, estimulada pela procura incessante de soluções conducentes a desempenhos de maior eco-eficiência (Singh & Ordoñez, 2016; Hobson & Lynch, 2016; Zink & Geyer, 2017; Prieto-Sandoval et al., 2018; Korhonen et al., 2018).

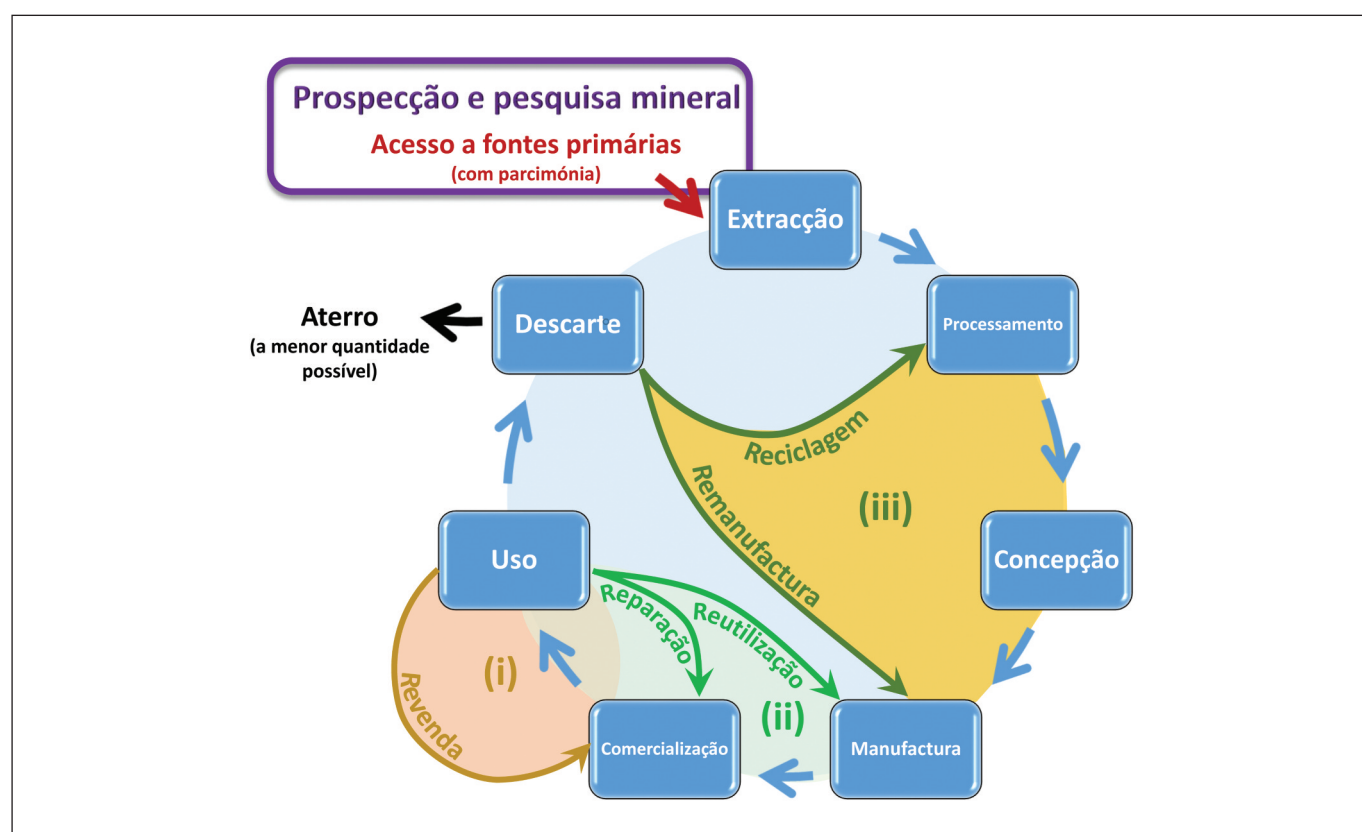


Figura 8 – Ilustração sinóptica do ciclo de matéria-prima mineral numa perspectiva aberta de soluções que preconizam “mixings” entre fontes primárias e secundárias. O subciclo (i), aliado à redução de consumo e alargamento dos ciclos de obsolescência de bens e produtos, é o mais vantajoso em termos materiais e energéticos. Segue-se o subciclo (ii) que, em boa medida, se articula com o subciclo anterior, apresentando proveitos equivalentes. Por fim, o subciclo (iii), de maior notoriedade porque relacionado com cadeias de negócio volumosas, menos proveitoso quanto a custos energéticos, totais de emissões GHG e dificuldades de implementação (generalizada e eficiente) dos sistemas de recolha e separação.

Figure 8 – Schematic illustration of the mineral raw material cycle considering a wide perspective of solutions that recommend mixings between primary and secondary sources. The sub-cycle (i), together with reduction of consumption and the extension of obsolescence cycles of goods and products, is the most advantageous in material and energy terms. It follows the sub-cycle (ii), which articulates with the previous sub-cycle to a large extent, yielding equivalent incomes. Finally, the sub-cycle (iii), the most renowned due to its association with large business chains, although less beneficial in energy costs, total GHG emissions and difficulties in accomplish (generalized and efficient) collecting and separation systems.

7. Proporcionar a geração de riqueza, ganhos de prosperidade e criação de trabalho

À escala global e nos últimos tempos, a indústria mineira tem movimentado anualmente ≈ 1 trilhão \$US, gerando um efeito multiplicativo médio de 3 a 4 $\times$ em sectores económicos proximais, i.e. directamente relacionados ou posicionados imediatamente a jusante da sua actividade. Muitos países (≈ 70) necessitam da mineração não apenas para prosperar, mas também para subsistir; são numerosos os casos em que a mineração representa 60 a 90% do investimento directo estrangeiro (UNEP, 2016a; OECD, 2019b). Na EU, a indústria directamente implicada na produção e transformação de

matéria-prima mineral gerou cerca de 206 € biliões de valor acrescentado e mais de 3,4 milhões de postos de trabalho em 2014 (EU, 2018a; OECD, 2019b). Acrescem $\approx 24,6$ milhões de postos de trabalho em sectores industriais a jusante (nomeadamente metal fabricado, maquinaria e equipamento), os quais dependem fortemente do abastecimento seguro de matéria-prima. Sectores como a reparação e recuperação de maquinaria têm vindo a crescer (2,2 milhões de postos de trabalho), mas continuarão a representar uma fracção menor na criação de riqueza por longo período de tempo (EU, 2018a). Os indicadores disponíveis para Portugal seguem estas tendências, conforme documentado pelos dados oficiais do INE.

Em todas as actividades relacionadas com a indústria mineira, a segurança no trabalho tem registado melhorias muito significativas, reflectindo evoluções tecnológicas, mas também a adopção de códigos de boas práticas (EU, 2018a; Nicholas et al., 2019). Portugal não é excepção, pelo contrário.

Para muitas regiões da EU, a indústria mineira representa um importante factor de coesão territorial e de desenvolvimento local, sendo por vezes o único agente económico que verdadeiramente contribui para ganhos efectivos de prosperidade (EU, 2018a). Neste âmbito, a recente revisão da regulamentação portuguesa sobre “*royalties*” tem impacto significativo directo na gestão/administração regional/municipal, reforçando o investimento público dirigido às regiões que hospedam actividades de exploração, tratamento/beneficiação e transformação de matéria-prima mineral.

A riqueza potencialmente gerada em Portugal como resultado da actividade de mineração poderá crescer significativamente se forem criadas condições (estáveis a longo prazo) propícias a investimentos que suportem evidentes subidas na cadeia de valor.

8. Desenvolver competências profissionais de elevada qualificação e exigência

A (r)evolução tecnológica em curso, as necessidades prementes e antecipadas para todos os domínios de actividade da indústria mineira, bem como a obrigação de cumprir critérios de exigência progressivamente crescentes, obrigará ao recrutamento de mão-de-obra altamente qualificada (EU, 2018a). Esta será uma transformação gradual (mas decisiva) do sector, alargando substantivamente o que tem vindo a acontecer nos últimos 25 anos e tornando-se especialmente crítica se forem criadas condições para subidas assinaláveis nas cadeias de valor. O exemplo português é particularmente elucidativo do que tem acontecido desde os anos 70, consubstanciando um percurso de crescimento consolidado que importa não interromper.

Os dados históricos revelam haver forte diminuição do número total de minas e pedreiras activas em Portugal, acompanhada por redução substancial da força de trabalho directa; em 2011, por exemplo, tomando a globalidade das actividades relacionadas com matéria-prima mineral, o total de indivíduos empregados cifrava-se em 33260 ($\approx 0,6\%$ da força de trabalho registada oficialmente, i.e. 5,587 milhões). Pelo contrário, as mes-

mas séries temporais de dados mostram que a produção nacional aumentou exponencialmente. Deste modo, os ganhos de produtividade alcançados reflectem em grande parte avanços tecnológicos e implementação de procedimentos visando aumentos de eficiência. No entanto, esses desenvolvimentos não teriam sido possíveis sem aumentar a qualificação profissional da força de trabalho, para além da introdução de melhorias significativas nas condições de trabalho e de valorizações salariais, disseminando níveis adequados de motivação e compromisso.

9. Incrementar a competitividade e inovação

À escala global, muitas foram as mudanças organizacionais e inovações tecnológicas introduzidas na indústria mineira nas duas últimas décadas, alterando consideravelmente as relações de força entre os principais países produtores de matéria-prima bruta ou transformada, assim como entre as empresas envolvidas na prospecção e pesquisa, exploração, tratamento/beneficiação e transformação. Para um apreciável número de matérias-primas cotadas em bolsa (*commodities*), boa parte das mudanças organizacionais concretizadas teve como principal propósito a consolidação de posições hegemónicas no mercado. As inovações tecnológicas adoptadas visaram sobretudo ganhos de eco-eficiência e de produtividade, conseguidos fundamentalmente à custa de novas técnicas e modernos equipamentos e/ou melhoria de desempenhos em sistemas conhecidos e utilizados quer em perfuração e escavação, quer nas etapas subsequentes do tratamento, beneficiação e transformação da matéria-prima mineral bruta.

Na UE, o desenvolvimento de novos produtos e serviços tem assumido especial protagonismo no aumento de competitividade da economia europeia e criação de postos de trabalho (EU, 2018a). Neste âmbito, as fundições e/ou empresas de transformação de matéria-prima têm vindo a aumentar o investimento em I&D, apesar do número de patentes e aplicações ter decrescido entre 2006 e 2016. Pelo contrário, as inovações metodológicas e tecnológicas aplicadas à mineração e processamento mineral cresceram. Como resultado deste balanço cerca de 30% das patentes registadas em 2013 a nível global tiveram origem na UE (antes atingia $\approx 75\%$). A UE ainda mantém a liderança mundial de exportação de equipamentos de mineração ($\approx \frac{1}{4}$ do total de exportações à escala global), embora a sua quota de mercado tenha decrescido substancialmente na última

década (juntamente com o Japão e EUA), acompanhando o crescimento da exportação líquida dos equipamentos “*made in China*”.

O progresso registado pela indústria mineira em Portugal tem revelado ímpeto suficiente para desencadear muitas outras iniciativas relevantes em termos sociais e económicos a diferentes escalas. Local e regionalmente, vários *spin-offs* emergiram envolvendo desde serviços gerais até ao suporte de alta tecnologia. Adicionalmente, vários avanços foram conseguidos na exploração otimizada e nos métodos de processamento, aumentando a produção e os níveis de segurança nos locais de trabalho. Novos produtos e aplicações foram igualmente desenvolvidos, gerando subidas claras na cadeia de valor e, em diversos casos, contribuindo ainda para reduções consideráveis dos impactes ambientais. Salientam-se, neste âmbito, alguns exemplos: (i) os equipamentos inovadores desenvolvidos e fabricados em Portugal para optimização da exploração e processamento de rocha ornamental (com evidentes ganhos de eficiência energética, menor quantidade de resíduos, menor consumo de água e maior rapidez de operação); (ii) a internacionalização da marca “*Natural Stone Pt*” — este *cluster* de Pedra Natural inclui 2500 empresas que empregam 17000 pessoas e exportam para 116 países (325 M € em 2012, 45% fora da Europa; tal posiciona Portugal na 7ª posição mundial das regiões exportadoras de rocha ornamental, o 2º se o valor exportado *per capita* for considerado); (iii) a automação/robótica aplicada à mineração; (iv) os sistemas de alerta para estabilização geotécnica fazendo uso de actividade sísmica e microsísmica; (v) os aperfeiçoamentos de tecnologias de moagem e métodos de processamento químico de minérios sulfuretados; (vi) o acondicionamento subaéreo de pastas de rejeitados ricos em sulfuretos.

As articulações entre matéria-prima mineral primária e os fluxos que se estabelecem a jusante (envolvendo processos de reciclagem e substituição) também não têm sido negligenciadas em Portugal, muito delas tendo a indústria mineira como principal impulsionador. No que respeita à reciclagem, as fontes fundamentais de matérias-primas, compreendendo as habitualmente classificadas como mineração urbana, são: (i) resíduos metalúrgicos; (ii) produtos em fim de vida (contendo metais); (iii) lamas/finos ricos em metais provenientes de actividades industriais distintas; e (iv) resíduos não metálicos inorgânicos, ou seja, lamas e finos de corte/serragem e polimento de pedras naturais, lamas geradas em operações de filtração/limpeza de

água potável, *cullet* de vidro, incineração de resíduos sólidos municipais (MSWI) e cinzas de combustão de biomassa; resíduos de construção e demolição (CDW). No país existem competências científicas e tecnológicas para lidar com esses materiais e a sua reciclagem, incluindo *know-how* e instalações para caracterização de resíduos, processamento físico-químico e hidrometalurgia. O longo historial de transferência de tecnologia entre a academia e a indústria tem sido também positivo, levando a avanços consideráveis em alguns sectores industriais através da melhoria dos produtos existentes [clinker e cimento (Secil), argamassa e betão (APFAC, Weber-Saint Gobain, RCD), cerâmicas (ADM / Felmica), agregados leves (Leca-Saint Gobain), vidros (Vidrociclo) e sucata de ferro na indústria siderúrgica / alto-forno (CVR – Centro de Recuperação de Resíduos) ou desenvolvimento de novos produtos [geopolímeros e pigmentos inorgânicos (Esmalglass-Itaca)]. Não obstante esses avanços, as informações sobre o volume produzido anualmente, bem como a composição / distribuição de metais na mineração e outros resíduos industriais, são claramente insuficientes para qualquer agenda consequente sobre o assunto. Deste modo, o desafio fundamental para os próximos anos consiste na inventariação e caracterização sistemática dos resíduos de mineração, metalurgia e outros materiais (principalmente no que diz respeito à identificação de metais raros / estratégicos), bem como matrizes complexas resultantes da combinação de diferentes materiais (Fig. 9).

A substituição é uma área RI&D emergente e bastante competitiva, especialmente no que diz respeito à busca de substitutos adequados de elementos críticos em materiais para tecnologias de energia verde e dispositivos eletrónicos. A experiência portuguesa em questões de substituição não é longa, mas regista já alguns registos positivos sobre: (i) desenvolvimento de fósforos para fotónica verde, envolvendo híbridos orgânicos-inorgânicos e inorgânicos baseados em terras raras e híbridos sem centros ativadores de metal; (ii) materiais magnéticos e aplicações correspondentes; e (iii) síntese e caracterização de semicondutores de grande abertura (por exemplo, ZnO).

10. Fomentar a investigação, o desenvolvimento tecnológico e o conhecimento

Tomando as diferentes dimensões da indústria mineira como um todo, poderemos dizer que as actividades económicas nelas implicadas se caracte-

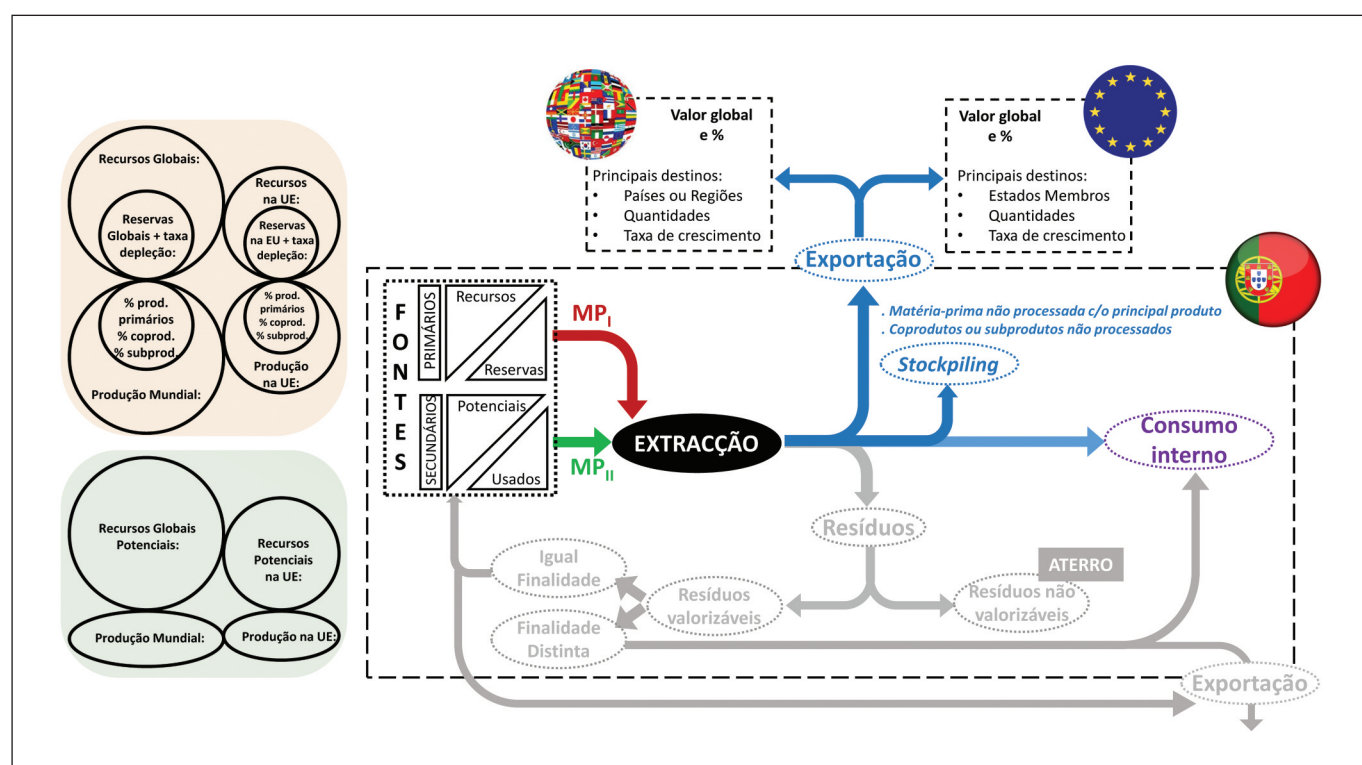


Figura 9 – Detalhe da matriz apresentada na Figura 6 procurando discriminar os contributos dos fluxos associados aos resíduos de mineração, metalurgia e outros materiais no subsistema "Extração".

Figure 9 – Detail of the matrix presented in Figure 6, seeking to discriminate the contributions of flows associated to wastes from mining, metallurgy and other materials in "Extraction" subsystem.

rizam por comportamento inelástico, elevada intensidade de capital, tecnologia e conhecimento científico. Efectivamente, muitas das realizações bem-sucedidas no sentido de otimizar os processos de produção, tornando-os mais eco-eficientes, assentam em acções continuadas de investigação e desenvolvimento tecnológico suportadas por grandes fluxos de investimento persistente. Mas estas acções representam apenas uma pequena parte do montante global que é necessário investir, suportando actividades de exploração, tratamento e transformação de matéria-prima em locais cuja delimitação foi previamente assegurada. Assim, à parcela "mais visível" dos investimentos (por que incide em empreendimentos industriais concretos) há que adicionar uma outra de maiores dimensões e de risco bem mais elevado relacionada com a identificação e caracterização dos recursos passíveis de exploração económica, nem sempre devidamente equacionada nas avaliações dos fluxos materiais e dos ciclos de vida dos produtos que sustentam a dinâmica das sociedades modernas. Por outras palavras e de forma simples: não há mineração e transformação de matéria-prima sem investimentos consolidados e contínuos em pros-

pecção e pesquisa mineral traduzidos na criação de novo Conhecimento sobre os recursos existentes, o qual exige meios humanos, materiais e financeiros adequados à promoção de investigação geocientífica inovadora e elevada qualidade apoiada em metodologias específicas e tecnologias cada vez mais sofisticadas. Muito deste capital de alto risco não é perceptível aos "olhos do cidadão comum" e, diga-se em abono da verdade, tende a ser subestimado pelos decisores políticos de países que depreciam o valor intrínseco da indústria mineira. Ainda assim, os capitais investidos anualmente neste contexto são enormes, atingindo com facilidade magnitudes da ordem de dezenas de milhões \$US por projecto.

O retorno dos investimentos na prospecção/pesquisa mineral e mineração começa a fazer-se sentir depois de um período relativamente longo de depreciação. Esta tendência ocorre como resposta à retoma económica já sentida em várias regiões do mundo, mas também aos indicadores futuros previamente apresentados. Na UE, porém, o investimento em prospecção e pesquisa mineral permanece demasiadamente baixo e cada vez mais longe dos níveis praticados em muitas outras regiões do

mundo (caso da Austrália e Canadá, por exemplo); a Suécia e Finlândia consubstanciam os maiores desvios a esta “desaceleração politicamente incentivada” no seio da UE. Dito de outra forma: os índices de percepção na EU têm melhorado globalmente mas estão longe de ser aceitáveis.

A indústria mineira em Portugal é um contribuinte líquido para o progresso socio-económico regional e nacional. O país possui recursos minerais valiosos (em quantidade e diversidade), uma indústria de mineração relevante e uma longa experiência em atividades de exploração e mineração. Dado o potencial demonstrado ou inferido com base no conhecimento geológico existente, a possibilidade de expandir essa contribuição é bastante significativa, com impactes notáveis no aumento da riqueza e na criação de emprego, particularmente vitais em regiões deprimidas do país atingidas por taxas excessivas de despovoamento. No entanto, essa visão de crescimento requer concertação de estratégias públicas e privadas (estáveis no tempo), procurando (Fig. 10):

(i) Expandir significativamente os investimentos em investigação científica e tecnológica, bem como em formação avançada específica, fornecendo à indústria novo Conhecimento e *expertise* ao longo de toda a cadeia de valor. No país ainda existe proficiência científica e tecnológica para enfrentar adequadamente os próximos desafios. Essa capacidade pode, no entanto, desaparecer definitivamente se nada acontecer na próxima década para derrubar a forte tendência de “drenagem” de recursos humanos competentes e experientes. Portugal precisa, efectivamente, de investir em prospecção e pesquisa mineral para melhor conhecer os seus recursos; sem este conhecimento não é possível garantir uma gestão adequada dos mesmos, nem tomar decisões fundamentadas quanto à sua exploração responsável e/ou salvaguarda.

(ii) Melhorar as redes de infraestrutura existentes e desenvolver formas inovadoras de cooperar a nível nacional e internacional. Uma rede portuguesa abrangente e altamente qualificada, fortemente ligada a associações da UE e abrangendo toda a cadeia

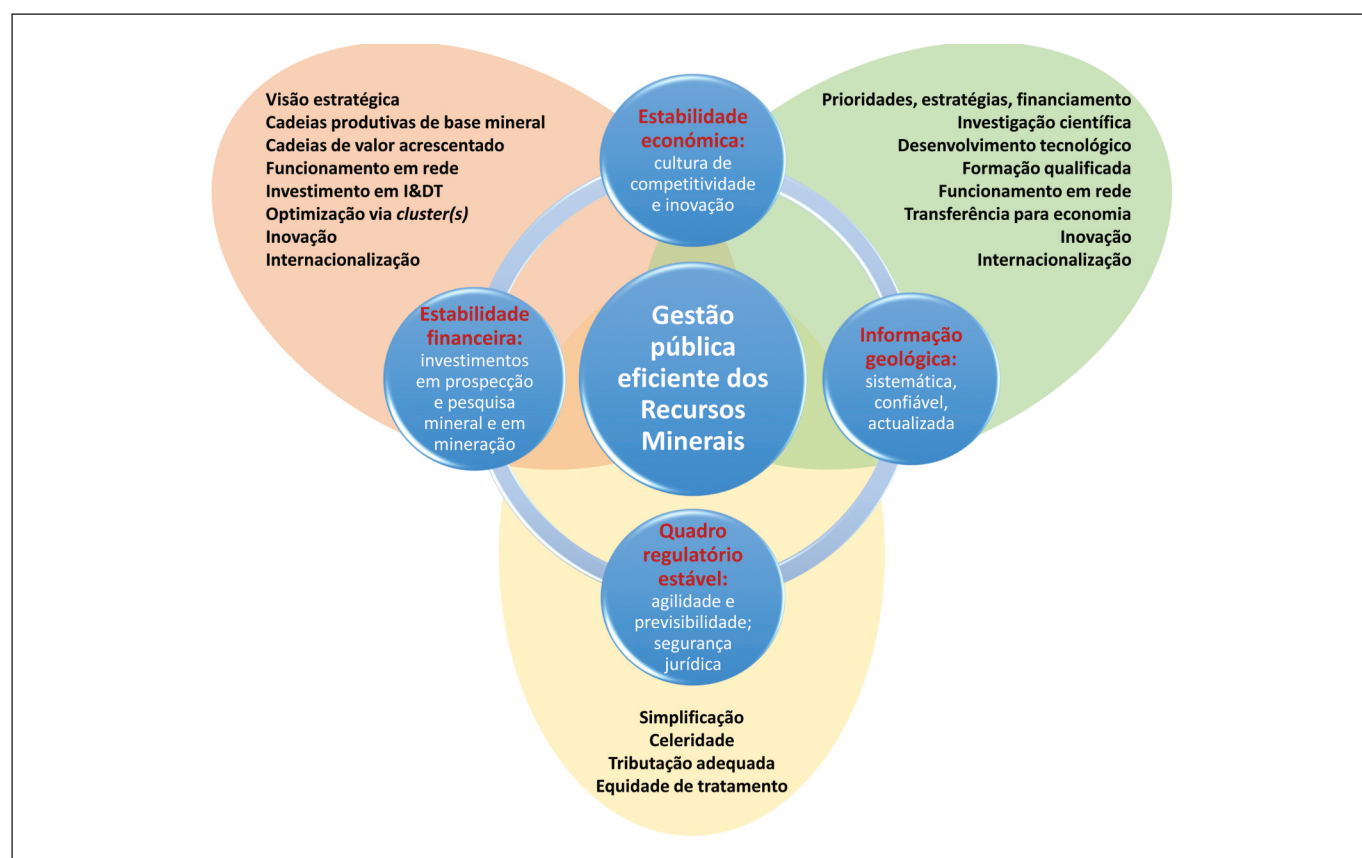


Figura 10 – Sinergias relevantes para uma gestão pública eficiente dos recursos minerais, estimulando investimentos em actividades que concorram para o seu conhecimento sistemático e proporcionem avanços nas cadeias produtivas de base mineral.

Figure 10 – Relevant synergies for an efficient management of mineral resources, stimulating investments in activities directed to their systematic knowledge and to evident advances in mineral-based production chains.

de valor de matérias-primas, é bastante importante, mas a cooperação existente nas áreas geográficas da CPLP e CYTED deve ser considerada como prioridade de primeira ordem. O reforço desta última cooperação oferecerá excelentes oportunidades de crescimento e internacionalização da indústria mineira portuguesa, permitindo a transferência de *know-how* e acesso a novos mercados e/ou recursos minerais.

(iii) Reforçar a colaboração entre sectores industriais, garantindo o acesso a mercados de fornecimento de energia mais competitivos no sentido de reduzir os custos operacionais actuais e aumentar a competitividade das actividades de mineração em Portugal.

(iv) Simplificar os processos administrativos de concessão. Muitas vezes, os caminhos são inusitadamente tortuosos (envolvendo várias fases, múltiplas apelações e diversas entidades), a morosidade é alta e a previsibilidade é baixa, atrasando o lançamento de novos projetos de mineração e prejudicando/inibindo investimentos adicionais (de alto risco). A simplificação destes processos não implica diminuição dos níveis de exigência e cumprimento; pelo contrário, o supervisionamento das actividades deve ser melhorado, procurando patamares de maior qualidade e abrangência.

(v) Desenvolver uma base de regulamentação tributária adequada e estável, tornando Portugal um destino atraente para investimentos mineiros a longo prazo.

II. Conclusões

A indústria mineira sempre foi, é e continuará a ser um “*player*” fundamental na sustentação do desenvolvimento económico e social, figurando como ponto de partida da cadeia de valor fundamental, onde todas as restantes enraízam. A sua relevância (presente e futura) nem sempre é devidamente entendida, acabando muitas vezes por ser desconsiderada e, mais gravemente, a sua credibilidade ameaçada. Na verdade, a desconfiança com que as actividades mineiras são percebidas em diversas sociedades, concorrem para sintomas de rejeição generalizada que comprometem a concretização de muitos dos programas (anunciados e/ou iniciados) de transição para modelos de crescimento sustentável futuro. Mas se não existem dúvidas quanto à necessidade desta transição, em nome dos nobres valores subjacentes ao que se convencionou denominar Desenvolvimento Sustentável, importa

saber como a operacionalizar, quais os meios necessários para o efeito e quais os factores que podem limitar a sua consecução.

Todos os caminhos orientados para uma economia eco-eficiente e de baixa intensidade carbónica concorrem para aumentar a dependência de um largo número de metais cuja procura global não poderá ser totalmente satisfeita com base em fontes secundárias; *i.e.*, o consumo crescerá a um ritmo muito superior ao do abastecimento proporcionado pela reciclagem e/ou substituição. Veja-se por exemplo a recente comunicação da CE “*A Clean Planet for all. A European strategic long-term vision (2050) for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy*”, onde se refere “*Raw materials are indispensable enablers for carbon-neutral solutions in all sectors of the economy. Given the scale of fast growing material demand, primary raw materials will continue to provide a large part of the demand*”.

A massificação das tecnologias digitais e o enfoque na gestão “*big data*”, em conjunto com a disponibilização de tecnologias disruptivas (acessíveis a um número cada vez maior de cidadãos), reforçam as tendências crescentes no sentido de uma “*metal-intensive economy*”. Adicionalmente, as taxas de crescimento expectáveis para a demografia e rendimentos brutos *per capita* irão necessariamente implicar incrementos de consumo em matérias-primas convencionais que, uma vez mais, não poderão ser totalmente asseguradas por via de fontes secundárias. Deste modo, os recursos minerais primários representarão sempre uma parte crítica do “*mixing*” dos fluxos materiais subjacentes a modelos de desenvolvimento económico que se pretendem viáveis e bem-sucedidos; *i.e.* circuitos abertos onde a componente primária é assegurada com parcimónia através de actividade industrial responsável e tecnologicamente evoluída. A indústria mineira já demonstrou ter capacidade e vitalidade para responder aos novos desafios e paradigmas emergentes, especialmente importantes neste período de transição que vigorará algumas décadas. A edificação/modernização de cadeias produtivas de base mineral aptas para responder aos novos desafios permitirão incrementar fluxos de valor sócio-económico acrescentado, algo que se afigura especialmente relevante para matérias-primas críticas e/ou estratégicas.

Em nossa opinião, são IO as razões que justificam o apoio e incentivo à indústria mineira à escala global, na União Europeia e em Portugal. São elas:

- I) *Propiciar ganhos de consciência e fundamentações objectivas sobre capitais naturais, eco-serviços e impactos resultantes da actividade humana;*

- II) Promover e consolidar modelos sustentáveis de desenvolvimento;
- III) Providenciar o abastecimento seguro e responsável de matérias-primas minerais;
- IV) Estimular a generalização de rotinas industriais eco-eficientes;
- V) Coadunar crescimento industrial e salvaguarda ambiental;
- VI) Incentivar práticas que robusteçam abordagens económicas circulares abertas;
- VII) Proporcionar a geração de riqueza, ganhos de prosperidade e criação de trabalho;
- VIII) Desenvolver competências profissionais de elevada qualificação e exigência;
- X) Incrementar a competitividade e inovação; e Fomentar a investigação, o desenvolvimento tecnológico e o Conhecimento.

Agradecimentos

Ao longo dos últimos anos muitos foram os que contribuíram para a discussão e enriquecimento das ideias expressas ao longo destas páginas. A lista exaustiva de todos eles é difícil de elaborar sob pena de esquecimento de algum nome ou contribuição específica. Não obstante esta dificuldade, os autores manifestam o seu sincero apreço a todos os que se revejam nas linhas de raciocínio apresentadas, partilhando com eles a totalidade dos créditos, mas reclamando para si a total e única responsabilidade por erros ou omissões. A. Mateus agradece o suporte da FCT através do fundo UID/GEO/50019/2019 – Instituto Dom Luiz.

Referências

- Achzet, B. & Helbig, C., 2013. How to evaluate raw material supply risks – an overview. *Resources Policy*, 38: 435-447.
- Ali, S.H., Giurco, D., Arndt, N., Nickless, E., Brown, G., Demetriades, A., Durrheim, R., Enriquez, M.A., Kinnaird, J., Littleboy, A., Meinert, L.D., Oberhänsli, R., Salem, J., Schodde, R., Schneider, G., Vidal, O. & Yakovleva N., 2017. Mineral supply for sustainable development requires resource governance. *Nature*, 543: 367-372.
- Allington, R., Bailey, E. & Demecheleer, P., 2016. Applications of geoscience in land-use and mineral planning: the importance of an integrated approach. *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 18, EGU General Assembly 2016.
- Armstrong, M., Petter, R & Petter, C., 2018. Going viral: how attacks in social media can erode confidence in mining. The Samarco-yellow fever example from Brazil. *Resources Policy*, 59: 340-350.
- Arndt, N.T., Fontboté, L., Hedenquist, J.W., Kesler, S.E., Thompson, J.F.H., Wood, D.G., 2017. Future global mineral resources. *Geochemical Perspectives*, 6: 1-171.
- Bice, S., Brueckner, M. & Pforr, C., 2017. Putting social license to operate on the map: a social, actuarial and political risk and licensing model (SAP Model). *Resources Policy* 53: 46-55.
- BIO by Deloitte, 2015. Study on data for a raw material system analysis: roadmap and test of the fully operational MSA for raw materials. Prep. Eur. Comm. DG GROW, 179 p.
- Blagoeva, D., Aves Dias, P., Marmier, A. & Pavel, C., 2016. Assessment of potential bottlenecks along the materials supply chain for the future deployment of low-carbon energy and transport technologies in the EU. Wind power, photovoltaic and electric vehicles technologies, time frame: 2015-2030. European Commission, DG Joint Research Centre. (No. EUR28192 EN, doi: <http://dx.doi.org/10.2790/08169>).
- Bloodworth, A. & Gunn, G., 2012. The future of the global minerals and metals sector: issues and challenges out to 2050. *Géosciences*, 15: 90-97.
- Boutilier, R., 2007. Social capital in firm-stakeholder networks: a corporate role in community development. *J. Corp. Citizen.*, 26: 121-134.
- Brown, T., 2018. Measurement of mineral supply diversity and its importance in assessing risk and criticality. *Resources Policy*, 58: 202-218.
- Brueckner, M. & Eabrasu, M., 2018. Pinning down the social license to operate (SLO): the problem of normative complexity. *Resources Policy*, 59: 217-226.
- Carvalho, J.M.F., Lopes, C., Mateus, A., Martins, L. & Goulão, M., 2018. Planning the future exploitation of ornamental stones in Portugal using a weighed multi-dimensional approach. *Resources Policy*, 59: 298-317.
- Ciacchi, L., Vassure, I., Cao, Z., Liu, G. & Passarini, F., 2019. Recovering the “new twin”: analysis of secondary neodymium sources and recycling potentials in Europe. *Resources, Conservation & Recycling*, 142: 143-152.
- Cooper, S.J.C., Giesekam, J., Hammond, G.P., Norman, J.B., Owen, A., Rogers, J.R. & Scott, K., 2017. Thermodynamic insights and assessment of the “circular economy”. *Journal of Cleaner Production*, 162: 1356-1367.
- Coulomb, R., Dietz, S., Godunova, M. & Bligaard Nielsen, T., 2015. *Critical minerals today and in 2030*. OECD Environment Working Papers, Organization for Economic Cooperation and Development, Paris, 49 p.

- Cowell, S.J., Wehrmeyer Argust, P.W. & Roberston, G.S., 1999. Sustainability and primary extraction industries: theories and practices. *Resources Policy*, 25: 277-286.
- Crowson, P.C.F., 2011. Mineral reserves and future minerals availability. *Mineral Economics*, 24, 1-6.
- De Boer, M.A. & Lammertsma, K., 2013. Scarcity of rare earth elements. *Chem. Sus. Chem.*, 6: 2045-2055.
- De Villers, J.P.R., 2017. How to sustain mineral resources: beneficiation and mineral engineering opportunities. *Elements*, 13: 307-312.
- Deetman, S., Pauliuk, S., van Vuuren, D.P., van der Voet, E. & Tukker, A., 2018. Scenarios for demand growth of metals in electricity generation technologies, cars, and electronic appliances. *Environmental Science & Technology*, 52: 4950-4959.
- Delloite Sustainability, BGS, BRGM, TNO, 2017. *Study on the review of the list of critical raw materials. Criticality assessments. Final Report prepared for the European Commission*, 93 p.
- Dobra, J., Dobra, M. & Ouedraogo, A., 2018. Does mineral development provide a basis for sustainable economic development? *Resources Policy*, 58: 71-76.
- Drielsma, J.A., Russell-Vaccari, A.J., Drnek, T., Brady, T., Wished, P., Mistry, M. & Simbor, L.P., 2016. Mineral resources in life cycle impact assessment – defining the pathforward. *Int. J. Life Cycle Assess.*, 21: 85-105.
- EDM, 2011. *The legacy of abandoned mines: the context and the action in Portugal*. <http://ec.europa.eu/environment/waste/mining/pdf>
- EU Commission, 2010. *Critical Raw Materials for the EU*. Report of the Ad-hoc Working Group on Defining Critical Raw Materials (Brussels: EU Commission).
- EU Commission, 2014. *Critical Raw Materials for the EU*. Report of the Ad-Hoc Working Group on Defining Critical Raw Materials (Brussels: EU Commission).
- EU Commission, 2015. *Closing the Loop – An EU action plan for the Circular Economy*. COM (2015) 614 Final (Brussels: EU Commission).
- EU Commission, 2018. *Report on Critical Raw Materials and the Circular Economy*. https://ec.europa.eu/commission/publications/report-critical-raw-materials-and-circular-economy_en
- EU Commission, 2018. *Raw Materials Scoreboard*. <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/117c8d9b-e3d3-11e8-b690-01aa75ed71a1>
- Fernandez, V., 2018. Price and income elasticity of demand for mineral commodities. *Resources Policy*, 59:160-183.
- Figueiredo, P.N. & Piana, J., 2018. Innovative capability building and learning linkages in knowledge-intensive service SMEs in Brazil's mining industry. *Resources Policy*, 58: 21-33.
- Fizaine, F., 2013. By product production of minor metals: threat or opportunity for the development of clean technologies? The PV sector as an illustration *Resources Policy*, 38: 373-383.
- Fortier, S.M., Thomas, C.L., McCullough, E.A. & Tolcin, A.C., 2018. Global trends in mineral commodities for advanced technologies. *Natural Resources Research*, 27: 191-200.
- Frederiksen, T., 2018. Corporate social responsibility, risk and development in the mining industry. *Resources Policy*, 59: 495-505.
- Frenzel, M., Tolosana-Delgado, R. & Gutzmer, J., 2015. Assessing the supply potential of high-tech metals – a general method. *Resources Policy*, 46: 45-58.
- Frenzel, M., Ketris, M.P., Seifert, T. & Gutzmer, J., 2016. On the current and future availability of gallium. *Resources Policy*, 47: 38-50.
- Garbarino, E., Orveillon, G., Saveyn, H.G.M., Barthe, P. & Eder, P., 2018. *Best available techniques (BAT) reference document for the management of waste from extractive industries; in accordance with Directive 2006/21/EC*. Joint Research Centre Science for Policy Report, EUR28963, 722 p.
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N.M.P. & Hultink, E.J., 2017. The circular economy – a new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143: 757-768.
- George, D.A.R., Chi-ang, B.L. & Chen Y., 2015. A circular economy model of economic growth. *Environmental Modelling & Software*, 73: 60-63.
- Ghassim, B. & Foss, L., 2018. Understanding the micro-foundations of internal capabilities for open innovation in the minerals industry: a holistic sustainability perspective. *Resources Policy*, <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2018.09.011>
- Ghisellini, P., Cialani, C. & Ulgiati, S., 2016. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114: 11-32.
- Giljum, S., Dittrich, M., Lieber, M. & Lutter, S., 2014. Global patterns of material flows and their socio-economic and environmental implications: a MFA study on all countries world-wide from 1980 to 2009. *Resources*, 3: 319-339.
- Giurco, D. & Cooper, C., 2012. Mining and sustainability: asking the right questions. *Minerals and Engineering*, 29: 3-12.
- Giurco, D., McLellan, B., Franks, D.M., Nansai, K. & Prior, T., 2014. Responsible mineral and energy futures: views at nexus. *Journal of Cleaner Production*, 84: 322-338.
- Gleich, B., Achzet, B., Mayer, H. & Rathgeber, A., 2013. An empirical approach to determine specific weights of driving factors for the price of commodities – a contribution to the measurement of the economic scarcity of minerals and metals. *Resources Policy*, 38: 350-362.

- Goe, M. & Gaustad, G., 2014. Identifying critical materials for photovoltaics in the US: a multi-metric approach. *Applied Energy*, 123: 387-396.
- Goodenough, K.M., Wall, F. & Merriman, D., 2017. The rare earth elements: demand, global resources, and challenges for resourcing future generations. *Natural Resources Research*, 27(2), doi:10.1007/211053-017-9336-5
- Goodland, R., 2002. Responsible mining: the key to profitable resource development. *Sustainability*, 4: 2099-2126.
- Gordon, R.B., Bertram, M. & Graedel, T.E. 2006. Metal stocks and sustainability. *Proceedings of the National Academy USA*, 103 (5), 1209-1214.
- Govett, G.J.S., Govett, M.H., 1972. Mineral resource supplies and the limits of economic growth. *Earth Science Reviews*, 8: 275-290.
- Graedel, T.E., Allwood, J., Birat, J.-P., Buchert, M., Hagelüken, C., Reck, B.K., Sibley, S.F. & Sonnemann, G., 2011. What do we know about metal recycling rates? *J. Ind. Ecol.*, 15: 355-366.
- Graedel, T.E. & Erdmann, L., 2012. Will metal scarcity impede routine industrial use? *MRS Bulletin*, 37: 325-331.
- Graedel, T.E., Harper, E.M., Nassar, N.T. & Reck, B.K., 2015a. On the materials basis of modern society. *Proceedings of the National Academy USA*, 112: 6295-6300.
- Graedel, T.E., Harper, E.M., Nassar, N.T., Nuss, P. & Reck, B.K., 2015b. Criticality of metals and metalloids. *Proceedings of the National Academy USA*, 4257-4262.
- Graedel, T.E. & Klee, R.J., 2002. Getting serious about sustainability. *Environmental Science Technology*, 6(4): 523-529.
- Griffin, G., Gaustad, G. & Badami, K., 2019. A framework for firm-level critical material supply management and mitigation. *Resources Policy*, 60: 262-276.
- Habib, K. & Wenzel, H., 2016. Reviewing resource criticality assessment from a dynamic and technology specific perspective – using the case of direct-drive wind turbines. *Journal of Cleaner Production*, 112: 3852-3863.
- Häggquist, E. & Söderholm, P., 2015. The economic value of geological information: synthesis and directions for future work. *Resources Policy*, 43: 91-100.
- Halad, K., Shimada, M. & Ijima, K., 2008. Decoupling status of material consumption from economic growth. *Materials Transactions*, 49(3): 411-418.
- Hall, N., Lacey, J., Carr-Cornish, S. & Dowd, A.-M., 2015. Social licence to operate: understanding how a concept has been translated into practice in energy industries. *Journal of Cleaner Production*, 86: 301-310.
- Helbig, C., Wietschel, L., Thorenz, A. & Tuma, A., 2016. How to evaluate raw material vulnerability – an overview. *Resources Policy*, 48: 13-24.
- Henckens, M.L.C.M., Driessen, P.P.J. & Worrell, E., 2014. Metal scarcity and sustainability, analyzing the necessity to reduce the extraction of scarce metals. *Resources, Conservation and Recycling*, 93: 1-8.
- Henckens, M.L.C.M., Driessen, P.P.J., Ryngaert, C. & Worrell, E., 2016. The set-up of an international agreement on the conservation and sustainable use of geologically scarce resources. *Resources Policy*, 49: 92-101.
- Henckens, M.L.C.M., Ryngaert, C.M.J., Driessen, P.P.J. & Worrell, E., 2018. Normative principles and the sustainable use of geologically scarce mineral resources. *Resources Policy*, 59: 351-359.
- Henckens, M.L.C.M., van Ierland, E.C., Driessen, P.P.J. & Worrell, E., 2016. Mineral resources: geological scarcity, market price trends, and future generations. *Resources Policy*, 49: 102-111.
- Hilson, G., 2002. An overview of land use conflicts in mining communities. *Land Use Policy*, 19: 65-73.
- Hilson, G. & Basu, A.J., 2003. Devising indicators of sustainable development for the mining and minerals industry: an analysis of critical background issues. *The International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 10: 319-331.
- Hobson, K. & Lynch, N., 2016. Diversifying and de-growing the circular economy: radical social transformation in a resource-scarce world. *Futures*, 82: 15-25.
- Humphreys, D., 1995. Whatever happened to security of supply? Minerals policy in the post-Cold War world. *Resources Policy*, 21: 91-97.
- Humphreys, D., 2001. Sustainable development: can mining afford it? *Resources Policy*, 27: 1-7.
- Humphreys, D., 2013. Long-run availability of mineral commodities. *Mineral Economics*, 26: 1-11.
- Humphreys, D., 2019. Mining productivity and the fourth industrial revolution. *Mineral Economics*, <https://doi.org/10.1007/s13563-019-00172-9>
- Iacovidov, E., Velis, C.A., Purnell, P., Zwirner, O., Brown, A., Hahladakis, J., Millward-Hopkins, J. & Williams, P.T., 2017. Metrics for optimizing the multi-dimensional value of resources recovered from waste in a circular economy: a critical review. *Journal of Cleaner Production*, 166: 910-938.
- Jasinski, D., Cinelli, M., Dias, L.C., Meredith, J. & Kirwan, K., 2018. Assessing supply risks for non-fossil mineral resources via multi-criteria decision analysis. *Resources Policy*, 58: 150-158.
- Jenkins, H. & Yakovleva, N., 2006. Corporate social responsibility of the mining industry: exploring trends in social and environmental disclosure. *Journal of Cleaner Production*, 14: 271-284.
- Johnson, J., Harper, E.M., Lifset, S. & Graedel, T.E., 2007. Dining at the Periodic Table: metal concentrations as they relate to recycling. *Environmental Science and Technology*, 41: 1759-1765.

- Joyce, S. & Thomson, I., 2010. Earning a social license to operate: social acceptability and resource development in Latin America. *CIM Bull.*, 93: 49-53.
- Karakaya, E. & Nuur, C., 2018. Social sciences and the mining sector. Some insights into recent trends. *Resources Policy*, 58: 257-267.
- Katz, J. & Pietrobelli, C., 2018. Natural resource based growth, global value chains and domestic capabilities in the mining industry. *Resources Policy*, 58: 11-20.
- Kavлак, G., McNerney, J., Jaffe, R.L. & Trancik, J.E., 2015. Metals production requirements for rapid photovoltaics deployment. *Energy Environ. Sci.*, 8: 1651-1659.
- Kemp, D., 2010. Community relations in the global mining industry: exploring the internal dimensions of externally oriented work. *Corp. Social Resp. and Environ. Manag.*, 17: 1-14.
- Kim, J., Lee, J., Kim, B. & Kim, J., 2019. Raw material criticality assessment with weighted indicators: an application of fuzzy analytical hierarchy process. *Resources Policy*, 60: 225-233.
- Kirchher, J., Reike, D. & Hekkert, M., 2017. Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation & Recycling*, 127: 221-232.
- Kleijn, R., van der Voet, E., Kramer, G.J., van Oers, L. & van der Giesen, C., 2011. Metal requirements of low-carbon power generation. *Energy*, 36: 5640-5648.
- Korhonen, J., Honkasalo, A. & Seppälä, J., 2018. Circular economy: the concept and its limitations. *Ecological Economics*, 143: 37-46.
- Krausmann, F., Gringrich, S., Eisenmenger, N., Erb, K.-H., Harberl, H. & Fisher-Kowalski, M., 2009. Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century. *Ecological Economics*, 68: 2696-2705.
- Ku, A.Y., Loudis, J. & Duclos, S.J., 2018. The impact of technological innovation on critical risk dynamics. *Sustainable Materials and Technologies*, 15: 19-26.
- Kushmir, D. & Sandén, B.A., 2012. The time dimension on lithium resource constraints for electric vehicles. *Resources Policy*, 37: 93-103.
- Lacey, J., Malakar, Y., McCrea, R. & Moffat, K., 2019. Public perceptions of established and emerging mining technologies in Australia. *Resources Policy*, 62: 125-135.
- Lilford, E., Maybee, B. & Packey, D., 2018. Cost of capital and discount rates in cash flow evaluations for resources projects. *Resources Policy*, 59: 525-531.
- Lopes, C., Lisboa, V., Carvalho, J., Mateus, A. & Martins, L., 2018. Challenges to access and safeguard mineral resources for society: a case study of kaolin in Portugal. *Land Use Policy*, 79: 263-284.
- Løvik, A.N., Hagelūken, C. & Wāgner, P., 2018. Improving supply security of critical metals: current developments and research in the EU. *Sustainable Materials and Technologies*, 15: 9-18.
- Løvik, A.N., Restrepo, E. & Müller, D.B., 2016. Byproduct metal availability constrained by dynamics of carrier metal cycle: the gallium-aluminum example. *Environ. Sci. Technol.*, 50: 8453-8461.
- Lusty, P.A. & Gunn, A.G., 2014. Challenges to global mineral resource security and options for future supply. In: Jenkin, G. R. T., Lusty, P. A. J., McDonald, I., Smith, M. P., Boyce, A. J. & Wilkinson, J. J. (eds) *Ore Deposits in an Evolving Earth*. Geological Society, London, Special Publications, 393.
- Mancini, L. & Sala, S., 2018. Social impact assessment in the mining sector: review and comparison of indicators frameworks. *Resources Policy* 57: 98-111.
- Manhart, A., Vogt, R., Priester, M., Dehoust, G., Auberger, A., Blepp, M., Dolege, P., Kāmpfer, C., Giergrich, J., Schmidt, G. & Kosmol, J., 2019. The environmental criticality of primary raw materials – a new methodology to assess global environmental hazard potential of minerals and metals from mining. *Mineral Economics*, 32: 91-107.
- Martín, A.R., Díaz, M.R. & Román, S.R., 2014. Measure of the mining image. *Resources Policy* 41, 23-30.
- Mason, L., Prior, T., Mudd, G. & Giurco, D., 2011. Availability, addiction and alternatives: three criteria for assessing the impact of peak minerals on society. *Journal of Cleaner Production*, 19: 958-966.
- Massari, S. & Ruberti, M., 2013. Rare earth elements as critical raw materials: focus on international markets and future strategies. *Resources Policy*, 38: 36-43.
- Mateus, A., Cardoso, R., Goulāo, M., Martins, L., Carvalho, J., Dinis, P. & Duque, V., 2015. *Main trends of the Portuguese mining industry performance over the last 40 years*. Internal Report for MINATURA Project (H2020), 38 p.
- Mateus, A., Lopes, C., Martins, L. & Carvalho, J., 2017. Towards a multi-dimensional methodology supporting a safeguarding decision on the future access to mineral resources. *Mineral Economics*, 30: 229-255.
- Mateus, A. & Martins, L., 2019. Challenges and opportunities for a successful mining industry in the future. *Boletín Geológico y Minero*, 130(1): 95-117.
- McCarthy, A. & Börkey, P., 2018. *Mapping support for primary and secondary metals production*. OECD Environment Working Papers n°135, OECD Publishing, Paris, <http://dx.doi.org/10.1787/4eaa61d4-en>
- McCarthy, A., Dellink, R. & Ribas, R., 2018. *The macroeconomics of circular economy transition: a critical review of modelling approaches*. OECD Environment Working Papers n°130, OECD Publishing, Paris, <http://dx.doi.org/10.1787/af983f9a-en>
- Mercer-Mapstone, L., Rifkin, W., Louis, W. & Moffat, K., 2019. Power, participation, and exclusion

- through dialogue in the extractive industries: who gets a seat at the table? *Resources Policy*, 61: 190–199.
- Meshram, P., Pandey, B.D. & Abhilash, 2019. Perspective of availability and sustainable recycling prospects of metals in rechargeable batteries – a resource review. *Resources Policy*, 60: 9–22.
- Mitra, S., 2019. Depletion, technology, and productivity growth in the metallic minerals industry. *Mineral Economics*, 32: 19–37.
- Moffat, K. & Zhang, A., 2014. The paths to social license to operate: An integrative model explaining community acceptance of mining. *Resources Policy*, 39: 61–70.
- Molina, O., 2018. Innovation in an unfavourable context: local mining suppliers in Peru. *Resources Policy*, 58: 34–48.
- Moran, C.J., Lodhie, S., Kunz, N.C. & Huisingh, D., 2014. Sustainability in mining, minerals and energy: new processes, pathways and human interactions for a cautiously optimistic future. *Journal of Cleaner Production*, 84: 1–5.
- Moriguchi, Y., 2007. Material flow indicators to measure progress toward a sound material-cycle society. *J. Mater. Cycles Waste Manag.*, 9: 112–120.
- Moss, R.L., Tzimas E., Willis, P., Tercero Espinoza, L., et al., 2013. *Critical metals in the path towards the decarbonisation of the EU energy sector*. European Commission Joint Research Centre Institute for Energy and Transport, Luxembourg, 242 p.
- Mudd, G.M. & Jowitt, S., 2018. Global resource assessments of primary metals: an optimistic reality check. *Natural Resources Research* 27: 229–240.
- Mudd, G.M., Jowitt, S.M. & Werner, T.T., 2017. The world's lead-zinc mineral resources: scarcity, data, issues and opportunities. *Ore Geology Reviews*, 80: 1160–1190.
- Mudd, G.M. & Weng, Z., 2012. Base metals. In: Letcher, T.M., and Scott, J.L. (eds.), *Materials for a Sustainable Future*. Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK, 11–59.
- Mudd, G.M., Weng, Z., Jowitt, S.M., Turnbull, I.D. & Graedel, T.E., 2013. Quantifying the recoverable resources of by-product metals: The case of cobalt. *Ore Geology Reviews*, 55: 87–98.
- Nassar, N.T., Graedel, T.E. & Harper, E.M., 2015. By-product metals are technologically essential but have problematic supply. *Science Advances*, 1(3), e1400180.
- Nelsen, J.L., 2006. Social license to operate. *Int. J. Min. Recl. and Environ.* 20: 161–162.
- Nicholas, C., Murphy, L. & Blackman, A., 2019. Exploring the dimensions of social capital that are effective mediators of long distance commuting impacts on wellbeing. *Resources Policy*, 60: 185–197.
- Northey, S.A., Mudd, G.M. & Werner, T.T., 2018. Unresolved complexity in assessments of mineral resource depletion and availability. *Natural Resources Research*, 27: 241–255.
- OECD, 2014. *Green growth indicators 2014*. OECD Green Growth Studies, OECD Publishing, Paris, <https://dx.doi.org/10.1787/9789264202030-en>
- OECD, 2016. *Policy guidance on resource efficiency*. OECD Green Growth Studies, OECD Publishing, Paris, <https://dx.doi.org/10.1787/97892642577344-en>
- OECD, 2018. *Global outlook on financing for sustainable development 2019: time to face the challenge*. OECD Publishing, Paris, <https://dx.doi.org/10.1787/9789264307995-en>
- OECD, 2019a. *Business models for the circular economy: opportunities and challenges from a policy perspective*. OECD Green Growth Studies, OECD Publishing, Paris, <https://www.oecd.org/environment/waste/policy-highlights-business-models-for-the-circular-economy.pdf>
- OECD, 2019b. *Global material resources outlook to 2060 – economic drivers and environmental consequences*. OECD Green Growth Studies, OECD Publishing, Paris, <http://www.oecd.org/publications/global-material-resources-outlook-to-2060-9789264307452-en.htm>
- Öko-Institut, 2018. *Ensuring a sustainable supply of raw materials for electric vehicles: a synthesis paper on raw material needs for batteries and fuel cells*, 74 p.
- Owen, J.R. & Kemp, D., 2013. Social licence and mining: a critical perspective. *Resources Policy*, 38: 29–35.
- Owen, J.R. & Kemp, D., 2014. Free prior and informed consent', social complexity and the mining industry: Establishing a knowledge base. *Resources Policy*, 41: 91–100.
- Owens, S., 1997. Interpreting Sustainable Development. The case of land use planning. *The Political Quarterly* 69, Wiley Online Library.
- Patiño-Douce, A.E., 2016. Metallic mineral resources in the twenty-first century. I. Historical extraction trends and expected demand. *Natural Resources Research*, 25: 71–90.
- Pavel, C.C., Lacal-Arántegui, Marmier, A., Schüler, D., Tzimas, E., Buchert, M., Jenseit, W. & Blagoeva, D., 2017. Substitution strategies for reducing the use of rare earths in wind turbines. *Resources Policy*, 52: 349–357.
- Petrie, J., 2007. New models of sustainability for the resources sector. A focus on minerals and metals. *Trans. IChemE, Part B*, 85: 88–98.
- Pietrobelli, C., Marin, A. & Olivari, J., 2018. Innovation in mining value chains: new evidence from Latin America. *Resources Policy*, 58: 1–10.
- Prieto-Sandoval, V., Jaca, C. & Ormazabal, M., 2018. Towards a consensus on the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 179: 605–615.
- Prior, T., Giurco, D., Mudd, G.M. & Mason, L., 2012. Resource depletion, peak minerals and the impli-

- cations for sustainable resource management. *Global Environmental Change*, 22, 577-587.
- Prno, J. & Slocumbe, D.S., 2012. Exploring the origins of "social license to operate" in the mining sector: perspectives from governance and sustainability theories. *Resources Policy*, 37: 346-357.
- Reck, B.K. & Graedel, T.E., 2012. Challenges in metal recycling. *Science*, 337: 690-695.
- Ritzén, S. & Sandström, G.Ö., 2017. Barriers to the circular economy – integration of perspectives and domains. *Procedia CIRP*, 64: 7-12.
- Roelich, K., Dawson, D.A., Purnell, P. et al., 2014. Assessing the dynamic material criticality of infrastructure transitions: a case of low carbon electricity. *Applied Energy*, 123: 378-386.
- Rosenau-Tornow, D., Buchholz, P., Riemann, A., Wagner, M., 2009. Assessing the long-term supply risks for mineral raw materials – a combined evaluation of past and future trends. *Resources Policy*, 34: 161-175.
- Singh, J. & Ordoñez I., 2016. Resource recovery from post-consumer waste: important lessons for the upcoming circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 134: 342-353.
- Söderholm, P. & Tilton, J.E., 2012. Material efficiency: an economic perspective. *Resources, Conservation and Recycling*, 61: 75-82.
- Song, J., Yan, W., Cao, H., Song, Q., Ding, H., Lu, Z., Zhang, Y & Sun, Z., 2019. Material flow analysis on critical raw materials of lithium-ion batteries in China. *Journal of Cleaner Production*, 215: 570-581.
- Sverdrup, H. & Ragnasdóttir, K.A., 2014. Natural resources in a planetary perspective. *Geochemical Perspectives*, 3: 129-341.
- Syversen, C., 2004. Product substitutability and productivity dispersion. *Review of Economics and Statistics*, 86: 534-550.
- Thomson, I. & Boutilier, R., 2011. The social licence to operate. *SME Mining Engineering Handbook*. Soc. for Min., Metall. and Explor., Colorado.
- Tilton, J.E., 2003. *On borrowed time? Assessing the threat of mineral depletion*. Resources for the Future, Washington DC, USA.
- Tilton, J.E., 2018. The Hubbert peak model and assessing the threat of mineral depletion. *Resources, Conservation & Recycling*, 139: 280-286.
- Tilton, J.E., Crowson, P.C.F., DeYoung, J.H., Eggert, R.G.Jr., Ericsson, M., Guzmán, J.I., Humphreys, D., Lagos, G., Maxwell, P., Radetzki, M., Singer, D.A. & Wellmer, F.-W., 2018. Public policy and future mineral supplies. *Resources Policy*, 57: 55-60.
- Tilton, J.E. & Guzmán, J.I., 2016. *Mineral Economics and Policy*. Routledge for RFF Press, New York, 255 p.
- Turner, G., 2008. *A comparison of The Limits of Growth with thirty years of reality*. CSIRO Working Paper Series 2008-2009, 49 p.
- Turner, G., 2014. *Is global collapse imminent?* MSSI Research Paper n° 4. Melbourne Sustainable Society Institute, the University of Melbourne, 22 p.
- UNDP, 2016. *Mapping mining to the sustainable development goals: an atlas*. <http://unsdsn.org/resources/publications/mapping-mining-to-the-sustainable-development-goals-an-atlas/>
- UNEP, 2010a. *Assessing the environmental impacts of consumption and production: priority products and materials*. Report of the Working Group on the Environmental Impacts of Products and Materials (Hertwich et al.) to the International Panel for Sustainable Resource Management, United Nations Environment Programme, 112 p.
- UNEP, 2010b. *Metal stocks in society; scientific synthesis*. Report of the Working Group on Global Metal Flows (T.E. Graedel et al.) to the International Panel for Sustainable Resource Management, United Nations Environment Programme, 52 p.
- UNEP, 2011. *Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth*. Report of the Working Group on Decoupling (Fisher-Kowalski et al.) to the International Panel for Sustainable Resource Management, United Nations Environment Programme, 174 p.
- UNEP, 2013a. *Metal recycling: opportunities, limits, infrastructure*. Report of the Working Group on Global Metal Flows (Reuter et al.) to the International Panel for Sustainable Resource Management, United Nations Environment Programme, 234 p.
- UNEP, 2013b. *Environmental risks and challenges of anthropogenic metal flows and cycles*. Report of the Working Group on Global Metal Flows (Reuter et al.) to the International Panel for Sustainable Resource Management, United Nations Environment Programme, 320 p.
- UNEP, 2014a. *Decoupling 2: technologies, opportunities and policy options*. Report of the Working Group on Decoupling (Weizsäcker et al.) to the International Panel for Sustainable Resource Management, United Nations Environment Programme, 174 p.
- UNEP, 2014b. *Assessing global land use: balancing consumption with sustainable supply*. Report of the Working Group on Land And Soils (Bringezu et al.) to the International Panel for Sustainable Resource Management, United Nations Environment Programme, 132 p.
- UNEP, 2015a. *International trade in resources: a biophysical assessment*. Report of the International Panel for Sustainable Resource Management (Fischer-Kowalski et al.), United Nations Environment Programme, 118 p.
- UNEP, 2015b. *Policy coherence of the sustainable development goals; a natural perspective*. Report of the International Panel for Sustainable Resource Management, United Nations Environment Programme, 29 p.
- UNEP, 2016a. *Global material flows and resource productivity*. Assessment Study of the International Panel for

- Sustainable Resource Management (Schandl et al.), United Nations Environment Programme, 200 p.
- UNEP, 2016b. *Green energy choices: the benefits, risks and trade-offs of low-carbon technologies for electricity production*. Report of the International Panel for Sustainable Resource Management (Hertwich et al.), United Nations Environment Programme, 458 p.
- UNEP, 2016c. *Unlocking the sustainable potential of land resources: evaluation systems, strategies and tools*. Report of the Working Group on Land And Soils (Herrick J.E. et al.) to the International Panel for Sustainable Resource Management, United Nations Environment Programme, 96 p.
- UNEP, 2017a. *Assessing global resource use: a systems approach to resource efficiency and pollution reduction*. Report of the Working Group on the Environmental Impacts of Products and Materials (Bringezu et al.) to the International Panel for Sustainable Resource Management, United Nations Environment Programme, 104 p.
- UNEP, 2017b. *Green technology choices: the environmental and resource implications of low-carbon technologies*. Report of the International Panel for Sustainable Resource Management (Suh S. et al.), United Nations Environment Programme, 76 p.
- UNEP, 2017c. *Resource efficiency: potential and economic implications*. Report of the International Panel for Sustainable Resource Management (Ekins P. et al.), United Nations Environment Programme, 167 p.
- Vidal, O., Goffé, B. & Arndt, N., 2013. Metals for a low-carbon society. *Nature Geosciences*, 6: 894-896.
- Vidal, O., Roston, F., François, C. & Giraud, G., 2017. Global trends in mineral consumption and supply: the raw material-energy nexus. *Elements*, 13: 319-324.
- Yaksic, A. & Tilton, J.E., 2009. Using the cumulative availability curve to assess the threat of mineral depletion: the case of lithium. *Resources Policy*, 34:185-194.
- Yamaguchi, S., 2018. *International trade and the transition to a more resource efficient and circular economy: a concept paper*. OECD Trade and Environment Working Papers, 2018/03, OECD Publishing, Paris, <http://dx.doi.org/10.1787/847feb24-en>
- Wall, F., Rollat, A. & Pell, R.S., 2017. Responsible sourcing of critical metals. *Elements*, 13: 313-318.
- Widmar, J.D., Martin, R. & Kimiabeigi, M., 2015. Electric vehicle traction motors without rare earth magnets. *Sustainable Materials and Technologies*, 3: 7-13.
- Worrall, R., Neil, D., Brereton, D. & Mulligan D., 2009. Towards a sustainable criteria and indicators framework for legacy mine land. *Journal of Cleaner Production*, 17: 1426-1434.
- Wrighton, C. E., Bee, E. J. & Mankelow, J.M., 2014. The development and implementation of mineral safeguarding policies at national and local levels in the United Kingdom. *Resources Policy*, 41: 160-170.
- Zhang, A., Measham, T.G. & Moffat, K., 2018. Preconditions for social license: the importance of information in initial engagement. *Journal of Cleaner Production*, 172: 1559-1566.
- Zink, T. & Geyer, R., 2017. Circular economy rebound. *Journal of Industrial Ecology*, 21: 593-602.



United. Inspired.

Soluções completas para a prospeção mineira.

A Epiroc é um dos líderes mundiais em soluções inovadoras para aplicações de exploração geológica à superfície e em subterrâneo. Produzimos equipamentos e consumíveis com tecnologia de ponta para aumentar a segurança e a rentabilidade das suas campanhas de prospeção.

epiroc.com

Epiroc Portugal

Email: info.portugal@epiroc.com

Tel: +351 210 400 300

