

DESAFIOS E IMPULSIONADORES DA ECONOMIA CIRCULAR NA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA JUSTA EM REGIÕES CARBONÍFERAS

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas tornaram-se um dos maiores desafios no mundo atualmente, impulsionando a transformação da matriz energética mundial, focada em fontes fósseis, em direção às fontes renováveis. Acentuado pelas emissões antrópicas de gases de efeito estufa (GEE) devido a geração de energia a partir de combustíveis não renováveis, o aquecimento global está intensificando os eventos climáticos extremos, entre outros efeitos. Tais impactos ambientais têm consequências diretas e indiretas na saúde humana, na economia e na estabilidade social, reforçando a necessidade de ações imediatas e eficazes para mitigar as emissões de GEE e adaptar-se aos seus efeitos (IPCC, 2024).

Dessa forma, através do Acordo de Paris, os governos iriam agir para manter o aumento da temperatura média mundial abaixo dos 2°C em relação aos níveis pré-industriais e iriam se dedicar para limitar o aumento a 1,5°C (BRASIL, 2023). Outro acordo internacional importante é o Pacto de Glasgow, assinado durante a COP26, que intensifica a necessidade de limitar o aumento da temperatura média global. Além disso, também apela aos países para que acelerem os esforços em direção a uma geração elétrica limpa e que realizem a redução gradual da energia gerada a partir do carvão mineral e dos subsídios para combustíveis fósseis (UN, 2022).

O carvão, apesar de ser uma fonte de energia abundante e historicamente crucial para o desenvolvimento industrial e econômico de muitas regiões, é também um dos maiores contribuidores para as mudanças climáticas (EDWARDS, 2019). As regiões carboníferas, que historicamente dependem da mineração e da indústria do carvão, enfrentam o dilema da transição energética em direção a uma economia sustentável de forma a não desestabilizar a economia local. Com isso, essa transição demanda de novas oportunidades econômicas que possam compensar as perdas decorrentes do declínio da indústria do carvão (NACKE, 2023).

Neste contexto, a economia circular (EC) pode auxiliar essa transformação se contrapondo ao modelo econômico linear tradicional de "extrair, produzir, consumir e descartar", pois a EC enfatiza a reutilização, a reciclagem e a eficiência no uso de recursos. Este modelo busca fechar os ciclos de materiais, transformando resíduos em novos recursos, prolongando a vida útil dos produtos e minimizando a necessidade de nova extração de recursos finitos. A EC pode oferecer soluções inovadoras para a transição energética justa (TEJ) ao fomentar a criação de resiliência de longo prazo, de novos empregos verdes, promover a sustentabilidade e minimizar desperdícios (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2024).

A aplicação de princípios de EC pode ajudar essas regiões carboníferas a se reinventarem, criando cadeias de valor e promovendo a diversificação econômica (MUTEZO; MULOPO, 2021). Dessa forma, este artigo de revisão de literatura tem como objetivo buscar responder a pergunta de pesquisa: "A economia circular pode auxiliar a TEJ das regiões carboníferas?". Para isso, foram analisados estudos originais e avaliados por pares publicados em periódicos científicos para apresentar caminhos através de desafios e impulsionadores que a EC e seus princípios podem auxiliar a transição energética de forma e justa e equitativa em regiões carboníferas, garantindo que as comunidades afetadas pelo abandono da indústria do carvão alcance novas oportunidades de um desenvolvimento econômico sustentável.

2 METODOLOGIA

Para o levantamento da bibliografia com o intuito de responder à pergunta, foi feita uma revisão de literatura utilizando o modelo TQO – acrônimo de Tema, Qualificador e Objeto. Essa estratégia não visa à recuperação de evidências científicas, mas sim a orientar o pesquisador de

maneira específica para sua área de estudo, facilitando o desenvolvimento dessas revisões. A partir da pergunta norteadora, o tema foi definido como "transição energética justa", o qualificador como "Economia Circular" e "regiões carboníferas" como o objeto. Isso resultou em uma string de busca "(“just energy transition” OR “just transition”) AND (“circular economy” OR “circular supply chain”) AND (“coal region” OR “coal countr*” OR “coal area”)"

Essa string foi utilizada em 11 de junho de 2024 em 5 bases de dados: ScienceDirect, Scopus, JSTOR, Web of Science e ibicit (Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia). Todas as bases de dados foram acessadas via Periódicos CAPES. Também foi aplicada essa string em três bases cinzentas Google Scholar, Elicit e Oa.mg, sendo as duas últimas como ferramentas de buscas que utilizam inteligência artificial no processo de busca. Em todas as ferramentas de buscas, a *string* foi utilizada de forma inteira e a busca foi para todos os campos dos documentos.

3 RESULTADOS

O retorno da busca do ScienceDirect apresentou 10 documentos nos quais foram considerados apenas 6 artigos originais. Na Scopus, retornaram 30 documentos sendo 17 artigos. A JSTOR apresentou 6 documentos com apenas um artigo original. Na Elicit, apresentou 26 documentos sendo 17 artigos. Google Scholar retornou 104 documentos e foi considerado 31 artigos. Web of Science, ibict e Oa.mg não retornaram nenhum documento.

Com um total 176 documentos encontrados, foram filtrados por não serem artigos originais 103 documentos e foram encontrados 14 artigos originais duplicados. Na triagem, foram avaliados 59 artigos científicos avaliados por pares nos quais 48 artigos não faziam analisavam a EC, TEJ e regiões carboníferas. Isso resulta em 10 artigos para análise de revisão de literatura (Quadro 1).

Quadro 1 – Artigos que compõem o *corpus* final desta revisão

Título	Periódico	Citação (Ano)
Waste valorization of coal mining waste from a circular economy perspective: A Brazilian case study based on environmental and physicochemical features	Resources Policy	Acordi <i>et al.</i> (2023)
“These industries have polluted consciences; we are unable to envision change”: Sense of place and lock-in mechanisms in Sulcis coal and carbon-intensive region, Italy	Global Environmental Change	Biddau <i>et al.</i> (2024)
Challenges of Coal Mining Regions and Municipalities in the Face of Energy Transition	Energies	Cala <i>et al.</i> (2021)
Circular economy and energy transition: A nexus focusing on the non-energy use of fuels	Energy & Environment	Chen e Kim (2019)
A Just Transition for Labour: The Challenges of Moves to a Circular Economy	Relations industrielles / Industrial Relations	Fairbrother e Banks (2023)
Building a democratic expertise to inform labour’s struggle for a just transition	Contemporary Social Science	Lethbridge (2024)
Biomass and bioenergy perspectives of a coal region: status quo, potential and scenarios in Lusatia	Frontiers in Energy Research	Leuner e Hirschl (2024)
Sustainable Rehabilitation of Surface Coal Mining Areas: The Case of Greek Lignite Mines	Energies	Pavloudakis <i>et al.</i> (2020)
Planning the Closure of Surface Coal Mines Based on Circular Economy Principles	Circular Economy and Sustainability	Pavloudakis <i>et al.</i> (2024)
Lessons from European Union just transition toolkits: A regional investment framework for Greece and Germany	Energy Research & Social Science	Tranoulidis <i>et al.</i> (2024)

Fonte: autores.

A integração da EC na transição energética de regiões carboníferas é fundamental para garantir uma transição justa e sustentável. Os 10 artigos analisados indicam que a EC é utilizada como uma das metas para uma TEJ, equitativa e participativa, com valorização dos empregados e respeito aos desejos da sociedade. Isso resulta na conclusão de que a complementariedade entre a TEJ e a EC é vital para a sustentabilidade e a mitigação dos impactos ambientais. A maioria dos estudos, concentrados na Europa, destaca a necessidade de substituir empregos na indústria do carvão, ocupar espaços de forma sustentável e valorizar a visão dos atores envolvidos no processo. Outros artigos analisaram o potencial de reutilização de resíduos para materiais de construção e o uso de biomassa para facilitar uma transição justa, além do uso dos combustíveis fósseis não energéticos em ciclos fechados. Estudos adicionais enfatizam a importância da aceitação comunitária, políticas de apoio e a participação ativa de trabalhadores e sindicatos para assegurar que a transição não só alcance objetivos ambientais, mas também promova o bem-estar social e econômico das comunidades afetadas. Entretanto, a maioria deles aborda a EC na TEJ de forma mais ampla e sem se aprofundar na aplicação direta nas cadeias de suprimentos ou na ocupação das terras. Por outro lado, o artigo Acordi et al. (2023) apresenta soluções práticas na utilização de resíduos da mineração de carvão em materiais de construção sem incluí-las na transição de uma forma crítica que pode auxiliar na manutenção da indústria carbonífera, mantendo suas altas de emissão de GEE.

3 DISCUSSÃO

A revisão da literatura apresentou os diversos problemas relacionados aos processos de TEJ e como os princípios da EC podem ser um impulsionador para esse processo e para a reabilitação de espaços pós-mineração de carvão. Devido a isso, foi desenhado desafios a partir dos artigos da revisão que podem auxiliar nos reconhecimentos das barreiras. A análise dos desafios indica uma gama de barreiras – muitas vezes interligadas – para que haja uma transição justa. Esses desafios foram divididos em desafios relacionados às mudanças, às tecnologias, ao meio ambiente, à regulação, à socioeconomia e aos sindicatos

Um dos principais pontos de destaque é o desalinhamento de competências, onde as habilidades vindas da indústria do carvão não são compatíveis com as que são necessitadas no pós-transição. Isso cria uma resistência pelos trabalhadores, sindicatos e deixa as corporações hesitantes, além da necessidade de investimos na requalificação profissional e no desenvolvimento e adoção de novas tecnologias. Além disso, a resistência das organizações à mudança devido aos ganhos do setor geralmente mantidos por subsídios.

Outro desafio relaciono às mudanças é a falta de conscientização dos consumidores a respeito da efeitos positivos da EC e da transição energética. Essa questão pode influenciar nas decisões de compra, que resulta em uma procura do produto que afeta toda a cadeia.

As questões ambientais como a poluição resultante da mineração do carvão e os impactos das mudanças climáticas nessas regiões existem por consequências diretas das práticas industriais atuais. A gestão inadequada de resíduos e a escassez de terras produtivas devido à degradação ambiental são problemas que exigem intervenções regulatórias eficazes e a implementação de políticas que incentivem práticas mais sustentáveis – que podem ser contornadas a partir da implementação da EC. Tal implementação também demanda o desenvolvimento de novas tecnologias.

No âmbito regulatório, a necessidade de reformas legislativas e a conformidade com a legislação ambiental evidenciam que os processos podem se tornar mais demorados devido à burocracia e aos custos envolvidos. Esse desafio também se aplica à utilização de resíduos dentro dos princípios da EC e aos processos de ocupação das terras no pós-mineração.

Os desafios relacionados à socioeconomia, como a requalificação de trabalhadores afetados pela transição industrial e a competição por uso da terra entre diferentes setores

econômicos, demonstram a necessidade de altos investimentos e de políticas integradas que equilibrem os interesses sociais, econômicos e ambientais. Isso é mais imperativo devido ao subdesenvolvimento normalmente encontrado em regiões carboníferas e a baixa diversidade econômica que não consegue absorver os trabalhadores outrora empregados na indústria carbonífera. Um fator que poderia auxiliar seria a sindicalização desses trabalhadores, porém essa representação apresenta baixas taxas de adesão, além dos sindicatos muitas vezes não considerarem de forma eficiente as questões ambientais em suas próprias agendas e ter menos vozes que outros autores envolvidos no processo de decisão.

Devido à falta de processos mais práticos na maioria da literatura levantada para estudo com intuito de implementar a EC como complementariedade da TEJ, foram levantados impulsionadores para contrapor os desafios apresentados e facilitar a implementação.

Os impulsionadores da TEJ com o apoio da EC podem estar relacionados às participações e regulações, à economia circular, à transição energética justa, ao meio ambiente, à socioeconomia e aos sindicatos. O envolvimento dos diversos setores que irão sofrer com a transição, bem como a comunidade em geral, governos e institutos de pesquisa, são importantes para que a transição energética seja de fato justa – desde que também haja uma conscientização e construção coletiva de sentido sobre a exploração, poluição e esgotamento de recursos naturais, além dos impactos das mudanças climáticas. Esse processo tem que envolver muito esforço para que haja uma formação e requalificação dos trabalhadores para ocorra uma aceitação pública do processo de transição.

A cooperação eficaz em níveis transfronteiriços e regionais pode impulsionar esses esforços. A governança desempenha um papel decisivo, com o desenvolvimento de políticas como o Green Deal da União Europeia e a implementação de fundos de apoio financeiro sendo exemplos de iniciativas que facilitam a transição. O planejamento integrado das ocupações do solo e a criação de quadros legais e regulatórios adequados são necessários para que haja uma regulação que atenda a nova estrutura. A intervenção do Estado e os subsídios governamentais para projetos sustentáveis são estratégias que incentivam empresas a adotarem práticas mais sustentáveis.

Na questão ambiental, são apontados como impulsionadores a promoção de práticas que melhoram a sustentabilidade ambiental, valorização de soluções baseadas na natureza e conservação de recursos naturais. A implementação de tecnologias de controle de poluição e restauração de ecossistemas degradados, juntamente com a diminuição da poluição, pode melhorar a qualidade de vida nas regiões anteriormente focadas na indústria do carvão, bem como o manejo sustentável de florestas e proteção de recursos hídricos.

Os fatores socioeconômicos, como a criação de empregos e a diversificação econômica, são fundamentais para garantir que a transição seja economicamente viável e sustentável a longo prazo. Alinhar a transição sociotécnica com a transição socioecológica promove uma abordagem mais holística em direção à sustentabilidade. Para que isso ocorra, é necessária a melhoria de uma estrutura de investimento para o desenvolvimento de estratégias de transição, considerando que os investimentos desempenham um papel vital na transformação dos modelos de produção nas regiões de transição. Os sindicatos também desempenham um papel vital, defendendo transições justas para os trabalhadores e atuando como representantes oficiais. O envolvimento dos sindicatos no desenvolvimento de políticas e o fortalecimento da negociação coletiva são elementos essenciais para facilitar a comunicação e o engajamento dos trabalhadores no processo de transição.

No contexto da EC, a gestão de resíduos e recursos é um impulsionador significativo, junto da redução do volume de resíduos e a maximização da recuperação de materiais. Processos industriais que reutilizam subprodutos de mineração como matéria-prima para outras indústrias, criando cadeias de produção fechadas, são exemplos a serem seguidos. A

implementação de processos de triagem e separação de resíduos, juntamente com o desenvolvimento de novas tecnologias, são passos necessários para avançar nessa direção.

Por fim, a transição energética também emerge como um fator crucial, com a diversificação das fontes de energia e a garantia de acesso justo e equitativo aos recursos energéticos. Incentivos às energias renováveis através de subsídios e a utilização de terrenos de minas desativadas para projetos de energia renovável são soluções recomendadas. A complementariedade com a EC no desenvolvimento de projetos de bioenergia e novas tecnologias envolve diversos setores. Além disso, ferramentas de governança, suporte sustentável ao emprego e bem-estar, e o incentivo a conversas entre sindicatos, ambientalistas, empregadores e governos são essenciais para equilibrar as necessidades ambientais e sociais.

3 CONCLUSÃO

Os resultados do levantamento, que retornou 10 artigos originais revisados por pares, demonstram que a EC e a transição energética são essenciais para a sustentabilidade e a mitigação dos impactos ambientais em regiões carboníferas e que há um crescente interesse por esse tópico nos últimos dois anos. Os estudos analisados destacam a importância da ocupação de espaços pós-mineração por meio de uma TEJ baseada em princípios de EC. Isso inclui a substituição de empregos na indústria de carvão mineral (Lethbridge, 2024; Biddau et al., 2024; Tranoulis et al., 2024; Fairbrother, 2023), a ocupação sustentável de espaços (Chen; Kim, 2019; Cala et al., 2021; Pavloudakis et al., 2020; Pavloudakis et al., 2023), o reaproveitamento de resíduos de mineração (Acordi et al., 2024) e a utilização de bioenergia para auxiliar na transição (Leuner; Hirschl, 2024). Dessa forma, a partir da literatura levantada nesta revisão, foi possível apontar desafios e impulsionadores que envolva implementação de TEJ com auxílio dos princípios da EC.

A complementariedade entre a TEJ e a EC é fundamental para a sustentabilidade e a mitigação dos impactos ambientais. A aplicação dos princípios da EC, como a reutilização de resíduos e a eficiência de recursos, pode auxiliar significativamente na transformação das regiões carboníferas em centros de inovação e produção sustentáveis. Além disso, foi apontada uma importância da participação dos sindicatos, que são essenciais para garantir que as mudanças industriais sejam justas e que os trabalhadores sejam incluídos nos processos de tomada de decisão, promovendo negociações coletivas mais fortes e colaborando com governos e corporações.

Entretanto, o levantamento bibliográfico trabalhado neste estudo apresentou algumas limitações. A maioria das análises concentra-se na Europa, o que pode limitar a aplicabilidade das conclusões a outras regiões com diferentes contextos econômicos e sociais. Além disso, há uma lacuna na aplicação direta dos princípios da EC nas cadeias de suprimentos e na ocupação das terras, o que poderia proporcionar uma visão mais abrangente e detalhada dos impactos e benefícios. Por fim, a necessidade de mais estudos empíricos e análises de caso é evidente para validar as abordagens propostas e adaptar as estratégias às realidades locais.

REFERÊNCIAS

ACORDI, J. *et al.* Waste valorization of coal mining waste from a circular economy perspective: a brazilian case study based on environmental and physicochemical features. **Resources Policy**, [S.L.], v. 80, p. 103243, jan. 2023. Elsevier BV.

BIDDAU, F. *et al.* “These industries have polluted consciences; we are unable to envision change”: sense of place and lock-in mechanisms in sulcis coal and carbon-intensive region, italy. **Global Environmental Change**, [S.L.], v. 86, p. 102850, maio 2024. Elsevier BV.

BRASIL. **Acordo de Paris**. Brasília, DF: Ministério Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Brasília, DF, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/acordo-de-paris-e-ndc/acordo-de-paris>. Acesso em: 27 fev. 2023.

CAŁA, M. *et al.* Anna. Challenges of Coal Mining Regions and Municipalities in the Face of Energy Transition. **Energies**, [S.L.], v. 14, n. 20, p. 6674, 14 out. 2021.

CHEN, W.; KIM, H. Circular economy and energy transition: a nexus focusing on the non-energy use of fuels. *Energy & Environment*, [S.L.], v. 30, n. 4, p. 586-600, 2019.

EDWARDS, G. A. S. Coal and climate change. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change**, v. 10, n. 5, p. e607, 2019.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **It's time for a circular economy**. 2024. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/>. Acesso em: 15 jun. 2024.

FAIRBROTHER, P.; BANKS, M. A Just Transition for Labour: the challenges of moves to a circular economy. **Relations Industrielles / Industrial Relations**, [S.L.], v. 78, p. 1-18, 2024.

IPCC. AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>. Acesso em: 01 jun. 2024.

LETHBRIDGE, J. Building a democratic expertise to inform labour's struggle for a just transition. **Contemporary Social Science**, p. 1-18, 2024.

LEUNER, Bruna; HIRSCHL, Bernd. Biomass and bioenergy perspectives of a coal region: status quo, potential and scenarios in Lusatia. **Frontiers in Energy Research**, v. 11, 2024.

MUTEZO, G.; MULOPO, J. A review of Africa's transition from fossil fuels to renewable energy using circular economy principles. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [S.L.], v. 137, p. 110609, mar. 2021. Elsevier BV.

NACKE, Lola. **The cost of phasing out coal**: Identifying and overcoming socio-political barriers. Chalmers Tekniska Hogskola (Sweden), 2023.

PAVLOUDAKIS, F. *et al.* Sustainable Rehabilitation of Surface Coal Mining Areas: the case of greek lignite mines. **Energies**, [S.L.], v. 13, n. 15, 2020.

PAVLOUDAKIS, F. *et al.* Sustainable Rehabilitation of Surface Coal Mining Areas: the case of greek lignite mines. **Energies**, [S.L.], v. 13, n. 15, p. 3995, 3 ago. 2020.

UN (Glasgow). **COP-26**. Disponível em: <https://ukcop26.org/the-conference/>. Acesso em: 25 abr. 2023.