

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS ARARANGUÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIAS E SAÚDE
DEPARTAMENTO DE ENERGIA E SUSTENTABILIDADE
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA

Daniela Albino dos Santos

**Análise de perspectivas em ciência, tecnologia e inovação para o carvão mineral
catarinense**

Araranguá – SC

2022

Daniela Albino dos Santos

**Análise de perspectivas em ciência, tecnologia e inovação para o carvão mineral
catarinense**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia de Energia do Centro de Ciências, Tecnologias e Saúde da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito para a obtenção do título de Engenheira de Energia. Orientadora: Profa. Elaine Virmond, Dra.

Araranguá

2022

Daniela Albino dos Santos

**Análise de perspectivas em ciência, tecnologia e inovação para o carvão mineral
catarinense**

O presente Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia de Energia, foi avaliado e aprovado pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Elaine Virmond, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina

Beatriz Bonetti, Dra.
Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina

Reginaldo Geremias, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que essa é a versão original e final do trabalho que foi julgado adequado para obtenção do título de Engenharia de Energia.

Profa. Kátia Cilene Rodrigues Madruga, Dra.
Coordenadora do Curso

Profa. Elaine Virmond, Dra.
Orientadora

Daniela Albino dos Santos
Autora

Araranguá, 20 de dezembro de 2022.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Santos, Daniela Albino dos Santos
<http://ficha.bu.ufsc.br/> . : Análise de perspectivas em
ciência, tecnologia e inovação para o carvão mineral
catarinense / Daniela Albino dos Santos; orientadora,
Elaine Virmond, 2022.
42 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá,
Graduação em Engenharia de Energia, Araranguá, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia de Energia. 2. Carvão. 3. Transição
Energética Justa. 4. Socioeconomia. I. Virmond, Elaine.
II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Engenharia de Energia. III. Título.

ANÁLISE DE PERSPECTIVAS EM CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO PARA O CARVÃO MINERAL CATARINENSE

Daniela Albino dos Santos¹

Universidade Federal de Santa Catarina

daniela_sant@hotmail.com

RESUMO

É de conhecimento geral que a região sul de Santa Catarina tem a atividade de mineração de carvão como base do desenvolvimento da sua economia, sendo essa atividade de fundamental importância, contudo, a combustão do carvão mineral para produção de energia pode causar impactos ambientais negativos na cobertura vegetal, fauna, com a liberação de gases prejudiciais na atmosfera e também na saúde dos trabalhadores, mesmo com combustão e emissões controladas. A viabilidade da utilização do carvão mineral para outros fins possibilitaria a continuação da atividade de extração e com isso a garantia de estabilidade da economia local. Nesse sentido, este trabalho teve o objetivo de mapear inovações e tecnologias para o carvão mineral e seus derivados, trazendo um panorama tanto local quanto mundial sobre o tema. Foi realizada uma revisão da literatura sobre o tema no período de dez anos, entre 2012 e 2022. O desenvolvimento de novos produtos, com enfoque em nanomateriais de carbono derivados de carvão mineral, vem se destacando ao longo desta última década nas pesquisas. Há muitos caminhos que podem ser tomados para o desenvolvimento de uma transição energética justa para o setor carbonífero, não somente para as novas aplicações do carvão mineral, mas também para o aperfeiçoamento da sustentabilidade do setor.

Palavras-chave: carvão; transição energética justa; socioeconomia.

ABSTRACT

It is common knowledge that the southern region of Santa Catarina has coal mining activity as the basis for the development of its economy, and this activity is of fundamental importance, however, the combustion of mineral coal for energy production may cause negative environmental impacts on the vegetation cover, fauna, with the release of harmful gases into the atmosphere and also on the health of workers, even with controlled combustion and emissions. The viability of using mineral coal for other purposes would enable the continuation of the extraction activity and thus guarantee the stability of the local economy. In this sense, this work aimed to map innovations and technologies for mineral coal and its derivatives, bringing both a local and global panorama on the subject. A literature review on the subject was carried out over a period of ten years, between 2012 and 2022. The development of new products, with a focus on carbon nanomaterials derived from mineral coal, has been highlighted over the last decade in research. There are many paths that can be taken to develop a just energy transition for the coal sector, not only for new applications of mineral coal, but also for improving the sustainability of the sector.

Keywords: coal; fair energy transition; socioeconomics.

1 INTRODUÇÃO

A produção mundial de carvão mineral¹ foi ascendente a partir da década de 1980, quando os dados de produção começaram a ser registrados, até o ano de 2011, quando a curva de produção indicou estabilidade. O seu ponto máximo ocorreu em 2013, com 8,25 bilhões de toneladas de carvão mineral (BP, 2021).

O carvão mineral foi a principal fonte empregada na geração de energia em todo o mundo em 2020, tendo uma participação de 35% (BGR, 2021). Em 2021 a produção de carvão mineral teve um aumento de 440 milhões de toneladas em relação ao ano anterior, e o consumo dessa fonte de energia cresceu cerca de 6%, sendo que a China e a Índia foram responsáveis por grande parte, tanto do consumo, quanto da produção (BP, 2022).

No Brasil, em 2021, a produção de carvão ROM² foi de 12,1 milhões de toneladas, cerca de 32% maior do que em 2020, e o consumo de carvão mineral aumentou cerca de 41%, superando o aumento mundial (SIECESC, 2021). O aumento da demanda por energia é crescente e a geração de energia à carvão é uma fonte segura e não intermitente, diferentemente da geração de energia pelas fontes renováveis, o carvão exerce um papel muito importante de segurança energética para o país todo.

O estado de Santa Catarina, desde 2010, é responsável por mais de 50% da produção nacional de carvão mineral no Brasil (SIECESC, 2021). A região do sul de Santa Catarina se destaca como região carbonífera, tendo a sua economia baseada na extração do carvão mineral e, conseqüentemente, também tem destaque na produção de energia elétrica a partir da combustão desse minério, ou seja, energia oriunda de fonte não renovável (SIESESC, 2021). A extração e a combustão do carvão mineral geram tanto impactos ambientais negativos visíveis na cobertura vegetal e na fauna (GTA, 2019), quanto impactos negativos velados, como os problemas de saúde dos trabalhadores e a liberação de gases que são prejudiciais ao meio ambiente (PEREIRA, 2014).

Formou-se um pensamento dedutivo da sociedade na atualidade de que a geração de energia por termelétricas de carvão mineral é algo ultrapassado, que deve ser substituído por

¹Produção referente apenas de combustíveis sólidos comerciais (carvão betuminoso, antracito, linhito, sub-betuminoso e outros combustíveis sólidos comerciais).

² Carvão ROM: Carvão bruto obtido diretamente da mina (*run-of-mine*)

novas tecnologias limpas de geração de energia. Como explica o Relatório do Grupo de Trabalho para avaliar as atividades de geração termelétrica a carvão mineral e de mineração de carvão no estado de Santa Catarina (GT-SC, p.44, 2021), a ruína das minas de carvão afetaria fortemente a economia do estado devido ao desemprego de todo o setor carbonífero.

Em grande parte, se trata de trabalhadores que fizeram carreira nas minas e não estariam preparados para ingressar no mercado de trabalho em outros setores e das empresas locais que prestam serviços ao setor, acarretando em sérios problemas socioambientais.

A possibilidade de utilizar o carvão mineral para outros fins, ou de novas formas que não agridam o meio ambiente, permitiria que a atividade de extração se mantivesse na economia de forma sustentável ou, se necessário, realizando uma desmobilização mitigatória dos impactos socioeconômicos, bem como a continuidade da geração termelétrica a carvão com emissões líquidas de carbono igual a zero (GT-SC, p.23, 2021).

A necessidade de pesquisa e inovação voltada para setor carbonífero é urgente, particularmente no contexto da institucionalização da Transição Energética Justa a partir da Lei Ordinária Nacional nº 14.299, de 5 de janeiro de 2022. Mas para isso se faz necessário o investimento em pesquisa e desenvolvimento tecnológico. Nesse sentido, este trabalho teve o objetivo de analisar o histórico dos últimos 10 anos e as perspectivas futuras para o carvão mineral no estado de Santa Catarina, considerando aspectos socioambientais e econômicos e a tendência mundial.

2 METODOLOGIA

A realização desse trabalho ocorreu em cinco etapas, sendo elas: 1) análise histórica de incentivos à economia do carvão; 2) mapeamento do setor carbonífero catarinense; 3) mapeamento dos investimentos em ciência e tecnologia e inovação para o setor carbonífero catarinense; 4) mapeamento da produção científica sobre novas aplicações para o carvão; e por fim, 5) análise das perspectivas para o setor carbonífero catarinense.

2.1 Análise histórica e incentivos à economia do carvão

O mapeamento de incentivos à economia do carvão, a nível nacional e em Santa Catarina, foi realizado a partir de buscas por dados em relatórios, fontes institucionais do governo, leis e atos administrativos. Os instrumentos econômicos consideraram leis e financiamentos que incentivaram o fomento à extração e ao beneficiamento de carvão mineral.

2.2 Mapa do setor carbonífero catarinense

O mapeamento do setor carbonífero catarinense foi realizado a partir de buscas por dados em relatórios, anuários e sindicatos. Foram considerados os dados a partir de 2012, identificando-se as empresas do ramo em funcionamento ou desativadas nos últimos 10 anos (2012-2022), os produtos e a destinação dos mesmos.

2.3 Mapa de investimentos em ciência, tecnologia e inovação para o setor carbonífero catarinense

Como instrumentos de pesquisa e desenvolvimento foram considerados editais de fundações de amparo à pesquisa e grupos de pesquisa que investigam novas tecnologias para o setor carbonífero.

2.4 Novas aplicações do carvão

A revisão bibliográfica desenvolvida para este tópico foi realizada a partir de buscas em bancos de dados: Science Direct, o Portal Capes, o IEEE e o Scielo, que são bancos relevantes e conhecidos a fim de identificar estudos relacionados a inovações e tecnologias para o carvão mineral. Os critérios de busca envolvem os temas de interesse, e foram investigados os seguintes conjuntos de palavras: *Coal AND Prospects*; *Coal AND Innovation*; *Coal AND Applications*; *Coal AND Research*; *Coal AND Innovation AND Research*; *Coal AND Innovation AND Prospects*; *Coal AND Perspective AND Application*. Como termos de inclusão e exclusão, foi utilizado o período de 2012 a 2022. Dos conjuntos de palavras, o que menos teve artigos no período foi o *Coal AND Innovation AND Prospects*, sendo 3.434 artigos na Science Direct, 141 artigos no Portal Capes, 3 artigos no IEEE e nenhum artigo na Scielo. Foram selecionados 21 destes artigos para a discussão sobre o tema.

2.5 Perspectivas para o setor carbonífero catarinense

Analisando os dados obtidos dos tópicos anteriores, fez-se uma análise do provável cenário e das tendências futuras para o setor. Foi realizada uma revisão de literatura sobre o tema de nanomateriais, utilizando os termos *Coal AND Nanomaterials*, visto que o tema foi destaque para a região de Santa Catarina. Foram selecionados 4 artigos para a discussão sobre o tema.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos foram descritos conforme os tópicos da metodologia. Foram comentados incentivos governamentais para o desenvolvimento do setor, demonstrados os principais produtos, suas quantidades e destinações, empresas ativas e número de empregados, a quantificação de editais e valores disponibilizados ao setor, uma revisão de literatura sobre as novas aplicações do carvão, e uma análise dos principais pontos considerados para a região catarinense.

3.1 Análise histórica e incentivos à economia do carvão

Historicamente o último auge de incentivos do setor carbonífero foi com a crise do petróleo em 1973 (EPE, 2020). Por represália à política norte-americana de apoio à causa de Israel nos conflitos no Oriente Médio, os países produtores de petróleo promoveram um boicote à venda do mesmo, diminuindo a produção e consequentemente elevando os preços. O choque causou uma mudança drástica e permanente dos preços, afetando também a economia da energia no mundo, fazendo o carvão ganhar força no cenário energético (NUNES, 2016).

O Governo brasileiro através do Poder Executivo decidiu então, por meio do Decreto nº 87.079 de 2 de abril de 1982, instituir o Programa de Mobilização Energética (PME), tendo como uma das suas prioridades a produção, transporte e o uso do carvão mineral com o objetivo de substituir progressivamente os derivados de petróleo por combustíveis alternativos nacionais (BRASIL, 1982).

No início da década de 1990 o setor passou por uma desregulamentação, que provocou uma crise nas atividades de mineração, fazendo com que o carvão metalúrgico nacional perdesse a sua competitividade em relação ao carvão importado, as carboníferas então passaram a dar prioridade para a produção do carvão energético (CARBONÍFERA METROPOLITANA, 2022).

Após aproximadamente 40 anos, o Governo Federal, através do Poder Legislativo, instituiu a Lei Nº 14.299, de 5 de janeiro de 2022, por meio da qual foi criado o Programa de Transição Energética Justa (TEJ). A TEJ tem o objetivo de preparar a região carbonífera do Estado de Santa Catarina para o provável encerramento, até 2040, da atividade de geração termelétrica a carvão mineral nacional sem abatimento da emissão de gás carbônico (CO₂), com consequente finalização da exploração desse minério na região para esse fim, de forma

tempestiva, responsável e sustentável. A expectativa com o programa é reduzir as emissões de carbono na região levando em consideração as necessidades da população local (BRASIL, 2022).

Em Florianópolis/SC, no mesmo dia em que foi promulgada a Lei Nº 14.299 pelo Governo Federal, o Governo do Estado, através da Assembleia Legislativa – ALESC sancionou a Lei 18.330 de 5 de janeiro de 2022, que vai na mesma direção ao instituir a Política Estadual de Transição Energética Justa, por meio do Plano de Transição Energética Justa, com a finalidade de promover o desenvolvimento sustentável das cadeias produtivas catarinenses (SANTA CATARINA, 2022).

No dia 30 de julho de 2022 o Governo Federal, através do Poder Executivo, publicou o Decreto 11.108/2022, que instituiu a Política Mineral Brasileira e criou o Conselho Nacional de Política Mineral que passou a ser o órgão de coordenação e implementação de políticas públicas destinadas ao desenvolvimento do setor mineral brasileiro (BRASIL, 2022).

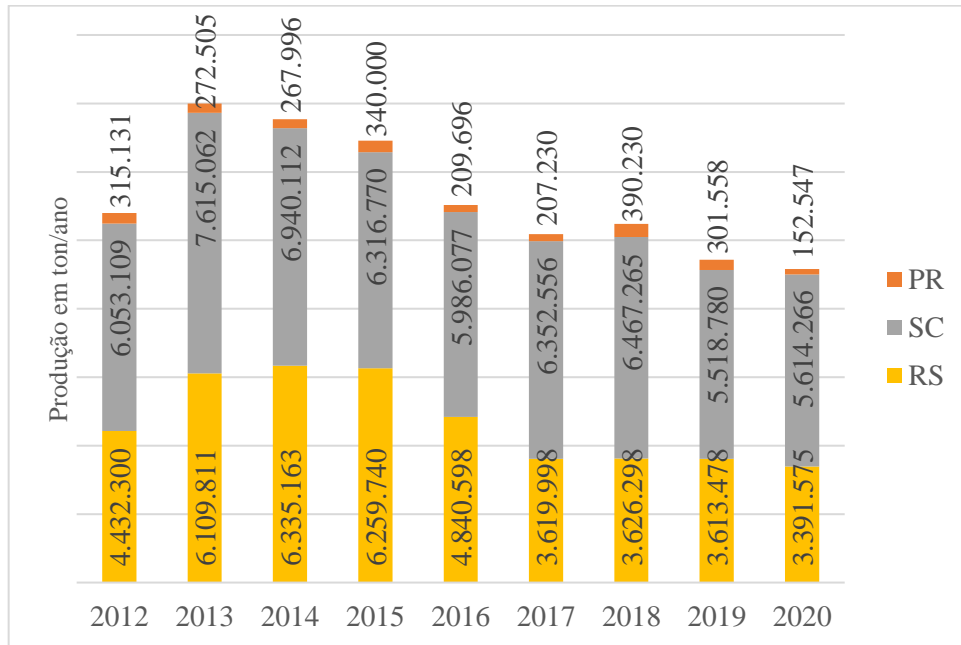
Por fim, em 7 de julho de 2022 o Governo Federal, através do Poder Executivo, publicou o Decreto nº 11.124, que dispõe sobre o Conselho do Programa de Transição Energética Justa (TEJ) e o Plano de Transição Justa para a região carbonífera de Santa Catarina. Além de coordenar e acompanhar a implementação do Programa da TEJ, esse conselho elaborará o Plano de Transição para a região, que estabelecerá ações, responsáveis e prazos para essa transição (BRASIL, 2022).

Essa transição vai ao encontro da tendência de descarbonização da economia, porém para que o Brasil possa realizar essa transição, é necessário que sejam realizadas ações de forma regional. Financiar o estabelecimento e operação da transição conduzidos localmente em comunidades dependentes do carvão, envolvendo todos os estágios de transição, incluindo principalmente suporte para os trabalhadores com renda, educação, reemprego e mobilidade, para que permaneçam no mercado de trabalho.

3.2 Mapa do setor carbonífero catarinense

O estado catarinense é o maior produtor de carvão ROM do Brasil, sendo responsável, em média, por 57% da produção total nacional, seguido por seus vizinhos Rio Grande do Sul com 41% e Paraná com 2% da produção total. Os dados históricos de produção de carvão ROM disponibilizados pelo SIECESC foram reunidos na Figura 1 para compreender em que momento de mercado o setor carbonífero se encontra.

Figura 1 - Produção de carvão ROM por estado

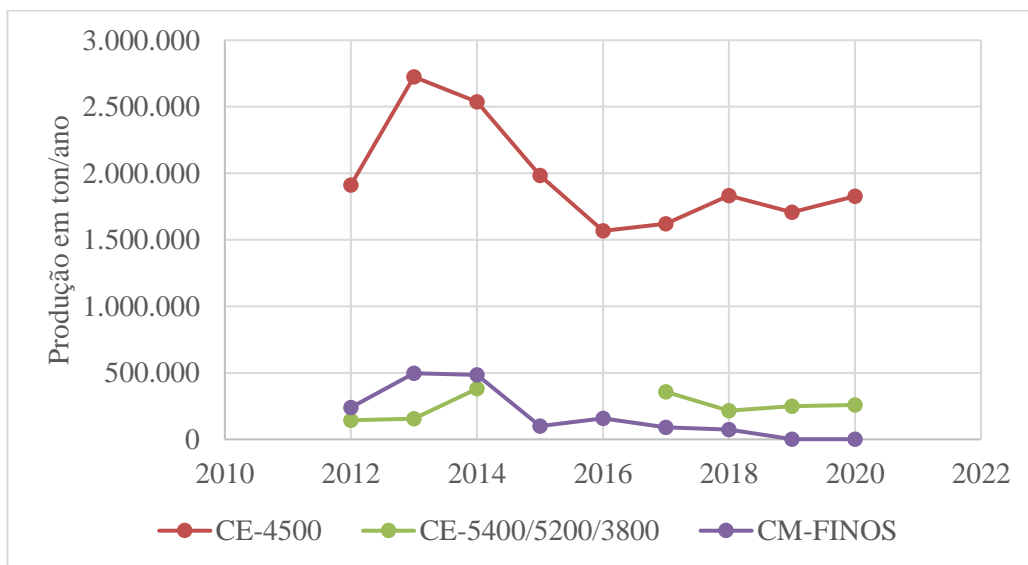


Fonte: Dados compilados pela autora deste trabalho a partir de SIECESC.

A partir da análise da Figura 1 é possível confirmar que houve o auge de produção no ano de 2013, seguindo por uma estabilização da produção nos dois anos seguintes. Uma queda de produção nos três estados produtores, após o período de estabilização do setor é notada, indicando uma possível crise inicial do mercado como um todo (SIECESC, 2022).

Os tipos de carvão já produzidos no Brasil são: CE-3300, CE-4200, CE-4500, CE-4700, CE-4900, CE-5000, CE-5200, CE-5400, CE-6000, CE-6500, CE-6800 e CE-FINO, onde CE significa Carvão Energético e o valor que acompanha representa o poder calorífico do combustível, em kcal/kg. A Figura 2 demonstra a produção por tipo de carvão produzido.

Figura 2 - Produção por tipo de carvão em Santa Catarina

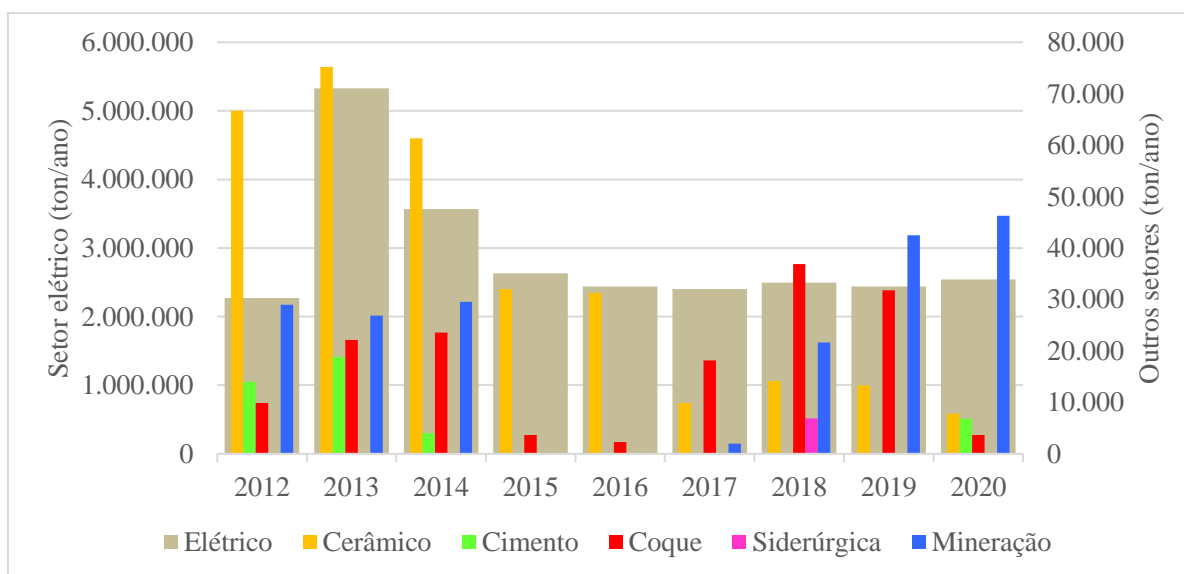


Fonte: Dados compilados pela autora deste trabalho a partir de SIECESC.

Atualmente o tipo mais produzido no estado de Santa Catarina é o CE-4500, que é o mais empregado no setor energético. Os tipos CE-3800, CE-5200, CE-5400 e CM-Finos também são produzidos, como é demonstrado na Figura 2, mas em menores quantidades, respondendo em média por 16% do total da produção (SIECESC, 2022).

A Figura 3, traz os setores de destinação da produção de Santa Catarina, o gráfico foi separado em dois eixos para melhor visualização da quantidade destinada ao setor predominante e também aos outros setores.

Figura 3 - Destinação da produção de carvão mineral no estado de Santa Catarina



Fonte: Dados compilados pela autora deste trabalho a partir de SIECESC.

A destinação do carvão produzido no estado ao longo dos últimos 10 anos em Santa Catarina se deu principalmente para o setor elétrico. Em 2020, mais de 97% do carvão produzido foi para a o setor elétrico, sendo que mais de 90% foi destinado a geração térmica no Complexo Termoelétrico Jorge Lacerda (SIECESC, 2022). Os setores cerâmico, cimento, coque, siderurgia e mineração também foram destinos da produção de CE-4500, CE-5400/5200/3800 e de CM-Finos de Santa Catarina, porém, em menores quantidades comparadas ao setor elétrico como demonstrado.

O setor de destinação que vem crescendo desde 2016 é o da mineração, porém sozinho o setor é responsável por menos de 2% do total.

De acordo com o DataSebrae, com dados atualizados em 11 de maio de 2020, existem 74 matrizes de empresas registradas de extração de minérios com atribuição para extração de carvão, dessas, 26 empresas de Santa Catarina, 3 do Paraná e 4 do Rio Grande do Sul (SEBRAE, 2022).

Os dados do SIECESC informam 10 empresas com registros de produção de carvão ROM. Cada empresa pode possuir concessões de lavra em diferentes cidades e para diferentes produtos. Na Tabela 1 foram listadas as empresas, cidades de lavra registradas na ANM, produtos e destinos registrados pelo SIECESC, também foram incluídos os dados sobre as situações atuais das empresas.

Tabela 1 - Dados das empresas de mineração de carvão mineral de Santa Catarina

Empresa	Localização de Lavra	Produtos	Destino	Situação
Metropolitana	Lauro Müller; Siderópolis; Treviso; Urussanga; Criciúma; Nova Veneza; Içara; Cocal do Sul; Bom Jardim da Serra	Carvão ROM; CE: 4500, 5200, 5400; CM Finos	Alimentos; Cerâmico; Cimento; Coque; Elétrico; Mineração; outros	Ativa
Catarinense	Lauro Müller; Urussanga		Cerâmico;	
Rio Deserto	Cocal do Sul; Siderópolis; Urussanga; Lauro Müller; Criciúma; Forquilha; Içara; Jaguaruna; Treviso; Bom Jardim da Serra	Carvão ROM; CE: 4500, 5200, 5400	Cimento; Coque; Elétrico; Mineração; outros	

Belluno	Cocal do Sul; Siderópolis; Treviso; Urussanga; Lauro Müller	Carvão ROM; CE-4500	
Gabriella	Orleans		
Siderópolis	Siderópolis; Urussanga		
Cooperminas	Criciúma; Cocal do Sul; Forquilha	Carvão ROM; CE: 4500, 5200, 5400; CM Finos	Ativa e sem produção desde 2014
Minageo	Criciúma	Carvão ROM	Ativa e sem produção desde 2015
Criciúma	Criciúma; Forquilha; Nova Veneza; Maracajá	Carvão ROM; CE-4500; CM Finos	
Comin	Treviso	Carvão CE- 4500	

Fonte: Dados compilados pela autora deste trabalho a partir de SIECESC e SEBRAE.

A partir do mapeamento de processos minerários e empresas com título de lavras da Agencia Nacional de Mineração (ANM), foram verificadas 21 empresas com concessão de lavra de carvão mineral em Santa Catarina. As 21 empresas apresentadas pela ANM foram verificadas no site da Receita Federal do Brasil, através do serviço de emissão de comprovante de inscrição e de situação cadastral, sendo que das 21 empresas pesquisadas, 1 possui matriz em São Paulo, 6 não tinham como principal atividade a extração do carvão mineral, 3 foram fechadas antes de 2012 e 1 empresa fechada em 2015. As 11 empresas que foram verificadas como não tendo como a principal atividade a mineração, empresas fechadas ou com matriz em outro estado, não constam nos dados apresentados na Tabela 1.

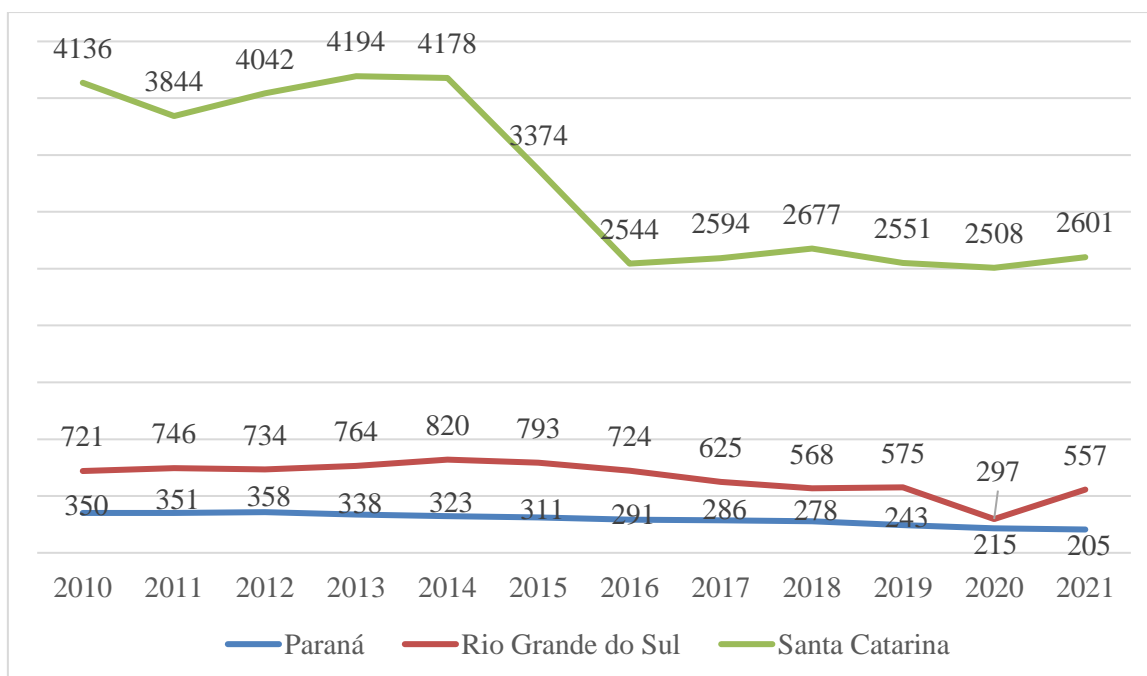
Atualmente no estado todas as empresas continuam com a situação cadastral ativas, mas 4 das 10 empresas listadas não possuem produção da extração de carvão registrada pelo SIECESC, o que pode ser um indicativo de que essas empresas encerraram a atividade de lavra.

O carvão CE-4500 é produzido por 90% das empresas mineradoras e os destinos ao longo dos 10 anos analisados foram os mais variados.

Para verificar melhor os impactos econômicos contabilizados pela diminuição do número de empresas produtoras e da produção total de carvão, foi analisado o número de

empregos afetados através da Figura 4, ao longo dos 10 anos a partir dos dados também retirados do SIECESC.

Figura 4 - Número de empregados no setor carbonífero entre 2010 e 2021



Fonte: Dados compilados pela autora deste trabalho a partir de SIECESC.

Os números de empregados acompanharam os números de produção com a estabilidade do setor entre 2013 e 2014, porém, observou-se que após o declínio que foi até 2016, houve uma estabilidade no setor, diferentemente da produção de carvão que continuou em declínio.

Através desse mapeamento é possível afirmar que Santa Catarina é o maior produtor de carvão do Brasil, produz majoritariamente o tipo de carvão CE-4500 que é o tipo mais vendido para o setor elétrico, sendo que 90% do total destinado para este setor é somente para o Complexo Térmico Jorge Lacerda. A quantidade de empresas e o número de empregados tiveram forte queda até 2016, onde se estabilizaram. Esses dados reforçam a ideia de estabilidade do setor carbonífero.

3.3 Mapa de investimentos em ciência, tecnologia e inovação para o setor carbonífero catarinense

De acordo com o Anuário Mineral Brasileiro Iterativo, disponibilizado pela Agência Nacional de Mineração (ANM), o investimento em pesquisa das mineradoras de carvão desde 2010 foi de R\$32.425.452,11, dividido pelos estados de SC, RS, SP e PR (ANM, 2022). O

estado de Santa Catarina obteve quase 90% desse investimento total, sendo que a distribuição entre os municípios do estado ocorreu de acordo com a Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 - Investimento em pesquisa em carvão mineral no estado de Santa Catarina, por municípios.

Município	Valor (R\$)
Içara	11.329.256,70
Treviso	9.541.220,46
Araranguá	3.715.758,50
Maracajá	1.358.803,82
Lauro Muller	1.057.491,27
Criciúma	733.056,69
Lauro Muller	707.457,96
Urussanga	447.405,93
Siderópolis	209.325,00
Forquilha	60.270,00
Capivari de Baixo	10.500,00
Laguna	1.050,00
Total	29.171.596,33

Fonte: Adaptado de Agência Nacional de Mineração (2022).

Os investimentos em pesquisa realizados pelas mineradoras e declarados na ANM são contabilizados através da Declaração de Investimento em Pesquisa Mineral - DIPEM que é obrigatória a todos os titulares de Alvarás de Pesquisa, feita por município, e deve conter informações sobre os investimentos realizados nas áreas de Pesquisa Mineral vigentes no ano anterior, denominado ano-base. Na DIPEM devem constar os investimentos realizados em: Infraestrutura; Trabalhos técnicos de mapeamento geológico; Prospecção geoquímica; Sondagens; Topografia; Análises químicas e físicas de amostras; Investimento em equipe técnica para o levantamento de informações bibliográficas, dentre outros. Além dos investimentos declarados pelas mineradoras através da DIPEM, há investimentos em projetos de P&D no setor que não são públicos ou divulgados por questões de sigilo e/ou propriedade intelectual.

O faturamento do setor no estado de Santa Catarina no mesmo período foi de R\$ 7.921.153.179,06, logo, as próprias empresas do setor investiram menos de 0,4% do seu faturamento em pesquisa.

Os editais lançados pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq e pela Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina - FAPESC com enfoque para o carvão mineral foram listados na Tabela 3, com as principais informações dos mesmos como: financiador, dados completos de acesso, data de

lançamento e data limite de submissão, linhas de financiamento utilizadas, o valor total disponibilizado por edital e quais as linhas de pesquisa que foram solicitadas. No site da FAPESC constam duas notícias de 2010 e 2013 sobre bolsas e editais voltados para o setor carbonífero, mas os mesmos não se encontram na plataforma para obtenção dos dados.

Tabela 3 - Editais lançados com enfoque no carvão mineral entre 2009 e 2021.

Financiador	Editais (dados completos de acesso)	Data de lançamento e limite de submissão	Linhas de financiamento	Valor financiado	Linhas de pesquisa
CNPq	https://memoria.cnpq.br/pt/chamadas-publicas?p_p_id=resultadosportlet_WAR_resultadoscnpqportlet_INSTANCE_0ZaM&filtro=encerradas&detalha=chamadaDivulgada&idDivulgacao=1701	10/12/2009 a 28/01/2010	FNDCT/CT-Energ	R\$ 7.000.000,00	Produção e conversão de combustíveis sólidos com foco em biomassa e carvão mineral
CNPq/MIT	https://memoria.cnpq.br/pt/chamadas-publicas?p_p_id=resultadosportlet_WAR_resultadoscnpqportlet_INSTANCE_0ZaM&id=413-3-2075&detalha=chamadaDetalhada&filtro=encerradas	02/09/2012 a 16/10/2013	Programa Ciência sem Fronteiras (CNPq/MCTI).	R\$ 2.000.000,00	Petróleo, Gás e Carvão Mineral; Tecnologia Mineral e outras.
CNPq	https://memoria.cnpq.br/pt/chamadas-publicas?p_p_id=resultadosportlet_WAR_resultadoscnpqportlet_INSTANCE_0ZaM&filtro=resultados&detalha=chamadaDivulgada&idDivulgacao=3841	16/09/2013 a 31/10/2013	Fundo Setorial Mineral, pertencente ao Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - FNDCT/Fundos Setoriais - CT-Mineral.	R\$4.000.000,00	Agrominerais, Lítio e Carvão Mineral.
FAPESC	https://fapesc.sc.gov.br/2019/09/03/chamada-publica-fapesc-no-06-2019-valorizacao-do-carvao-mineral/	03/09/2019 a 02/10/2019	Compensação Financeira pela Exploração Mineral – CFEM.	R\$ 3.000.000,00	Pesquisas na região carbonífera de Santa Catarina que valorizem o desenvolvimento sustentável do setor de mineração.
FAPESC	https://fapesc.sc.gov.br/2021/08/30/edital-de-chamada-publica-fapesc-no-35-2021-valorizacao-do-carvao-mineral-2021/	30/08/2021 a 20/09/2021	Compensação Financeira pela Exploração Mineral – CFEM.	R\$ 1.800.000,00	Processo, produtos e serviços inovativos na região carbonífera de Santa Catarina

Fonte: Dados compilados pela autora deste trabalho a partir de FAPESC e CNPq.

De acordo com o Portal da Memória do CNPq, os editais já lançados com enfoque no carvão mineral, tem início em 2009 com o maior investimento disponibilizado até hoje de R\$7.000.000,00. Em treze anos, foram realizadas um total de cinco chamadas públicas de editais com enfoque no carvão mineral.

Os valores disponibilizados para pesquisa no setor carbonífero não são o grande problema, mas sim a quantidade e periodicidade em que são realizados os editais. Uma maior quantidade de editais voltados para o desenvolvimento de tecnologia no setor carbonífero é de extrema importância para a sobrevivência do setor como um todo.

3.4 Novas aplicações do carvão

Por meio da revisão de literatura realizada foram observadas as tendências para novas aplicações do carvão. Grande parte dos artigos sobre o tema carvão no período analisado são da China. Alguns temas foram os mais citados pelos artigos de pesquisa, sendo eles, em ordem de maior volume de artigos:

1. Otimização dos processos de combustão industrial, para minimizar ou controlar problemas, desde o pré-tratamento da matéria-prima até a deposição de cinzas, escória, corrosão de equipamentos e também eficiência do processo;
2. Geologia e química do carvão;
3. Transformação de rejeitos do processo de combustão, principalmente de cinzas volantes, para a obtenção de concreto, tijolos e capa asfáltica;
4. Avaliação de riscos de poluição ambiental, tanto em termos de métodos para evitar quanto de métodos para remediar o que já foi provocado relativo à poluição do ar, o ar em torno das minas, água residual da lavagem, solo contaminado e barragens de rejeitos;
5. Avaliação de minas fechadas e/ou abandonadas;
6. Avaliação de cenários, com estudo de mercado futuro para expansão da produção de carvão mineral e também para novas fontes de energia;
7. Avaliação de acidentes em minas, principalmente com melhorias de alarmes e prevenção de incêndios;
8. Outras fontes de energia em comparação ao carvão (principalmente a biomassa, hidrogênio e resíduos sólidos, mas com um enfoque maior em co-combustão do carvão com biomassa);
9. Armazenamento de CO₂ utilizando minas de carvão fechadas e/ou abandonadas, e utilização do CO₂ para recuperação de metano;

10. Saúde dos trabalhadores e efeitos fisiológicos da poluição causada pelo carvão;
11. Nanopartículas e nano materiais.

Os artigos selecionados para discussão sobre as possíveis novas aplicações do carvão estão compilados na Tabela 4.

A previsão da poluição ambiental da produção de carvão feita para a China é de que reduzir a poluição gerada por tonelada de carvão não é mais eficaz do que reduzir a intensidade de carvão, ou seja, a China primeiramente precisará reduzir o consumo de carvão, para que a redução da poluição seja viável, e somente após essa diminuição, deveria melhorar a tecnologia de mineração e de carvão limpo (YU; WEI, 2012). Em 2012 a previsão feita para a China já era de redução da produção para conseguir alcançar a redução da poluição, 10 anos depois essa produção se manteve no mesmo patamar (CEICDATA, 2022). Cerca de 56,8% da oferta interna de energia elétrica no Brasil é de fonte hidráulica, segundo o Balanço Energético Nacional de 2022, somente 3,9% é de fonte do carvão e derivados, o que facilita a transição (EPE, 2022).

Chan (2012) realizou a análise para os países do BRIC, e trouxe a perspectiva de que o Brasil tem um potencial para alcançar os países avançados em relação a tecnologias, principalmente em biotecnologia e na nanotecnologia. Ressaltou também que o país necessitaria construir um sistema nacional de inovação mais eficaz e também realizar a integração nas redes globais de inovação, em outras palavras, fazer a seleção de tecnologia apropriada para uma perspectiva local com uma cooperação global (CHAN; DAIM, 2012).

Em 2015, os 193 países membros da ONU pactuaram uma nova agenda de desenvolvimento sustentável para até 2030, composta pelos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (CAETANO, 2022). Este pacto pode gerar a cooperação entre os países, incentivando o compartilhamento de conhecimento com outros países que já tiveram experiências fundamentais no desenvolvimento de tecnologias. Allen (2012) cita outros pontos muito importantes sobre o momento da transição do carvão, que a invenção e tecnologias refletem principalmente nos preços do carvão, mão-de-obra e também do capital (ALLEN, 2012). Para que aconteça uma transição é necessário incentivos não somente a pesquisa, desenvolvimento e tecnologia, mas também a educação no geral. O planejamento e a coordenação da transição são essenciais de forma descentralizada, mas também se faz necessário uma tomada de decisão geral onde alcançamos um resultado geral desejável.

Tabela 4 - Revisão das novas aplicações do carvão, trabalhos selecionados publicados entre 2012 e 2022

Título	Ano de publicação	Autores	Link do artigo	Resumo
Prediction of China's coal production-environmental pollution based on a hybrid genetic algorithm-system dynamics model	2012	Shiwei Yu, Yi-mingWei.	doi.10.1016/j.enpol.2011.12.018	Reduzir a intensidade do carvão é mais eficaz do que reduzir poluição gerada por tonelada de carvão e aumento do investimento na redução da poluição. A China deve melhorar a tecnologia de mineração e tecnologias de carvão limpo para reduzir a poluição causada pela produção de carvão.
Exploring the impact of technology foresight studies on innovation: Case of BRIC countries	2012	Leong Chan, Tugrul Daim.	dx.doi.org/10.1016/j.futures.2012.03.002	Prospecção tecnológica nos países BRIC. O Brasil precisa construir um sistema nacional de inovação mais eficaz e se integrar às redes globais de inovação. Algumas questões e características comuns de previsão tecnológica são identificadas e resumidas para os BRICs e outros países emergentes.
Renewable energy in the minerals industry: a review of global potential	2012	B.C. McLellan, G.D. Corder, D.P. Giurco, K.N. Ishihara	doi.10.1016/j.jclepro.2012.03.016	O potencial uso de biocombustíveis como substitutos do carvão vegetal por coque no setor siderúrgico, tem limite máximo de 60% tendo como limitação à tecnologia atual dos altos-fornos. O hidrogênio é um transportador de energia útil que pode ser usado para transformar energia elétrica em energia térmica. O potencial hidrelétrico das principais nações produtoras de minerais pode ser um caminho particularmente promissor para reduzir as emissões de eletricidade na indústria mineral e fornecer o fornecimento estável de eletricidade necessário.
Backward into the future: The shift to coal and implications for the next energy transition	2012	Robert C. Allen	dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.03.020	A cooperação é tão importante quanto a concorrência. A competição levou muitas empresas a inovar, mas a cooperação, o compartilhamento de conhecimento e a chance de aproveitar a experiência de outras empresas foram fundamentais no desenvolvimento de tecnologias revolucionárias como a casa de queima de carvão e a máquina a vapor. A escolha de combustíveis e tecnologias tem ramificações muito além das declarações de lucros e perdas das pessoas que as decidem.
Up-to-date life cycle assessment and comparison study of clean coal power generation technologies in China	2013	Xiaoye Liang, Zhihua Wang, Zhijun Zhou, Zhenyu Huang, Junhu Zhou, Kefa Cen	dx.doi.org/10.1016/j.coal.2013.01.005	Um ciclo combinado de gaseificação integrada (IGCC) demonstrou ser a tecnologia mais limpa e com menor impacto do ciclo de vida, em particular no potencial de acidificação (AP) e potencial de formação de foto-oxidantes (POCP). A avaliação da geração de energia a carvão combinada com captura e sequestro de carbono (CCS) mostra que as tecnologias CCS podem reduzir substancialmente a emissão total de CO ₂ do ciclo de vida das usinas a

				carvão, embora níveis mais altos de CO2 sejam gerados a partir do consumo extra de energia pelo CCS.
CO2 sequestration potential of Charqueadas coal field in Brazil	2013	Cristian S. Santarosa, Dustin Crandall, Igor V. Haljasmaa, Tae-Bong Hur, James J. Fazio, Robert P. Warzinski, Roberto Heemann, J. Marcelo M. Ketzer, Vyacheslav N. Romanov	dx.doi.org/10.1016/j.coal.2013.01.005	Na prática a maior parte da absorção de CO2 ocorreu apenas nas partes da amostra de núcleo mais próximas da porta de entrada de CO2. Essas propriedades tornariam essas regiões da junção pobres em receptores de CO2 em uma aplicação de armazenamento geológico. No entanto, outras regiões do campo carbonífero de Charqueadas podem muito bem ser melhores receptores para armazenamento geológico de CO2.
Aspects for a cleaner production approach for coal and biomass use as a decentralized energy source in southern Brazil	2013	Gabriel Meneghetti Faé Gomes, Antônio César Faria Vilela, Leandro Dalla Zen, Eduardo Osório	dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.09.037	Uma boa possibilidade para o incremento do uso de biomassa na região sul do Brasil e os dados obtidos a partir de testes de combustão já são suficientes para subsidiar o lançamento de projetos definitivos para fornecer geração de vapor a partir de fontes renováveis de forma descentralizada.
A life cycle assessment of the Brazilian coal used for electric power generation	2015	Alvaro Restrepo, Edson Bazzo, Raphael Miyake	dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.065	Os rejeitos merecem atenção especial levando em conta a grande quantidade gerada durante o processo e sua relação com as categorias de carcinógenos e ecotoxicidade.
Towards sustainability in underground coal mine closure contexts: A methodology proposal for environmental risk management	2016	Alicja Krzemien, Ana Suárez Sánchez, Pedro Riesgo Fernández, Karsten Zimmermann, Felipe González Coto	dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.149	Como faltam metodologias operacionais que possam servir de referência, a gestão dos riscos ambientais durante e após o encerramento de minas subterrâneas de carvão é, em muitos casos, limitada ou desenvolvida sem orientação específica. A proposta metodológica pode ser aplicada a qualquer contexto alternativo de fechamento de mina (minas a céu aberto, minas metálicas subterrâneas, etc.) de acordo com diferentes fatores de risco ambiental que devem ser considerados e diversas ferramentas numéricas que podem ser aplicadas em alguns casos.
Coal waste derived soil-like substrate: An opportunity for coal waste in a sustainable mineral scenario	2018	J. Weiler, B.A. Firpo, I.A.H. Schneider	doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.341	O desenvolvimento de um SLS em cenários de mineração de carvão pode ajudar a reduzir os impactos ambientais associados aos resíduos de carvão, disposição de escória de aço, lodo de esgoto e cinza de casca de arroz, e também evitar impactos adicionais do desmatamento e mudanças na paisagem onde os solos naturais são emprestados para atividades de recuperação de mineração.

Síntese de zeólitas do tipo X a partir de cinzas volantes e de fundo de carvão mineral para a captura de CO ₂	2018	Aquino, Thiago Fernandes de	repositorio.ufsc.br/handle/ 123456789/198363	Os resultados obtidos de síntese foram excelentes zeólitas do tipo X com impurezas, porém com qualidade comercial. Sobre as zeólitas sintetizadas a partir de cinzas volantes junto/resíduo de alumínio e também a partir de cinzas de fundo também indicam que estes adsorventes podem ser aplicados na captura de CO ₂ .
Evaluation of relative technological innovation capability: Model and case study for China's coal mine	2018	Wensheng Wanga, Chengyi Zhang	doi.org/10.1016/ j.resourpol.2018.04.008	A capacidade de inovação tecnológica para a mina de carvão tem quatro componentes, incluindo capacidade de P&D, capacidade de exploração de recursos, capacidade de gerenciamento organizacional e capacidade financeira.
Produção de materiais zeolíticos em escala piloto à base de cinzas de carvão para adsorção de fosfato e potássio para obtenção de fertilizante	2020	Beatriz Bonetti, Etienne C. Waldow, Giovanna Trapp, Marta E. Hammercshmitt, Suzana F. Ferrarini, Marçal JR Pires, Sabrina T. Estevam e Thiago Aquino	doi.org/10.1007/s11356-020- 11447-y	Os testes realizados indicam que uso da zeólita modificada na recuperação de nutrientes é promissor. A liberação dos nutrientes das zeólitas X modificadas ocorreu de forma lenta e gradual, o que impulsiona o uso do material como fertilizante.
Parametric Analysis of a Moving Bed Temperature Swing Adsorption (MBTSA) Process for Postcombustion CO ₂ Capture	2021	Rafael Morales-Ospino, Vitória N. Santos, Antônio R. A. Lima, Jr., A. Eurico B. Torres, Enrique Vilarrasa- García, Moises Bastos- Neto, Celio L. Cavalcante, Jr., Diana C. S. Azevedo, Carolina R. M. Marques, Thiago F. de Aquino, Lídia B. Vasconcelos, and Kent S. Knaebel	doi.org/10.1021/ acs.iecr.0c05067	O estudo simulou um processo de adsorção por oscilação de temperatura do leito móvel (MBTSA) para capturar CO ₂ após a combustão, usando zeólita 13X como adsorvente. Os resultados obtidos foram que, nas condições estudadas, valores de até 99% e 91% de recuperação e pureza de CO ₂ podem ser alcançados, respectivamente.
Investigation on co-combustion of coal gasification fine slag	2021	Yang Guo, Fanhui Guo, Lu Zhou, Zhenkun Guo, Zekai Miao, Hu	doi.org/10.1016/ j.fuel.2021.120387	A utilização de resíduos sólidos urbanos com carvão em usinas termelétricas, juntamente com a captura do CO ₂ gerado a partir de RSU pode levar à produção de energia negativa em carbono. Os resultados mostraram que a

residual carbon and sawdust char blends: Physiochemical properties, combustion characteristic and kinetic behavior		Liu, Xinxiao Zhang, Jianjun Wu, Yixin Zhang		adição de 25% de RSU ao carvão com baixo teor de cinzas poderia proporcionar uma eficiência térmica da planta semelhantes ao carvão com alto teor de cinzas em condições subcríticas sem captura de carbono.
CO ₂ adsorption in a zeolite-based bench scale moving bed prototype: Experimental and theoretical investigation	2021	Guilherme Cancelier dos Santos, George Clarke Bleyer, Lauber S. Martins, Natan Padoin, Elise Sommer Watzko, Thiago Fernandes de Aquino, Lídia Baraky Vasconcelos	doi.org/10.1016/j.cherd.2021.05.006	A adsorção de CO ₂ em uma unidade de bancada baseada em zeólita foi avaliada experimentalmente. A eficácia da remoção de CO ₂ foi alta e os resultados numéricos também receberam boa concordância com os dados experimentais. Este estudo ajuda a tornar viável a tecnologia de captura de CO ₂ com a coluna de adsorção Moving Bed Temperature Swing Adsorption (MTBSA) com zeólita e indica parâmetros operacionais otimizados que levam a níveis de eficiência mais elevados.
Desenvolvimento de materiais zeolíticos a base de cinzas de carvão para a adsorção de fosfato e potássio visando a obtenção de fertilizante	2021	Bonetti, Beatriz	tede2.pucrs.br/tede2/bitstream/tede/9866/2/Tese%20Beatriz%20Bonetti.pdf	A síntese de zeólitas a partir de resíduos é interessante porque esses materiais são atrativos para várias aplicações, como tratamento de efluentes industriais e agrícolas. Diferentes tipos de zeólitas foram carregados com macronutrientes e testes como fertilizantes. As zeólitas do tipo X produzidas por processo hidrotérmico tiveram melhor desempenho de adsorção. A modificação dessas zeólitas com CaCl ₂ , FeCl ₃ e LaCl ₃ aumentou a capacidade de adsorção. O uso de zeólitas para adsorver nutrientes em efluente é viável e o material pode ser usado como fertilizante.
Synthesis of K-Merlinoite zeolite from coal fly ash for fertilizer application	2021	Sabrina Teixeira Estevam, Thiago Fernandes de Aquino, Tainá Domingos da Silva, Raiane da Cruz, Beatriz Bonetti, Humberto Gracher Riella, Cíntia Soares	doi.org/10.1007/s43153-021-00172-9	Zeólitas Merlinoite foram sintetizadas a partir de cinzas volantes de carvão e usadas como fertilizante. Os testes de liberação de K ⁺ em água e ácido cítrico apreciados que os valores de CTC mais baixos podem contribuir para uma liberação prolongada do nutriente. Portanto, as zeólitas Merlinoite têm um grande potencial como fertilizantes K.
Utilization of resources in abandoned coal mines for carbon neutrality	2022	Xin Lyu, Ke Yang, Juejing Fang	dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153646	Caminho de desenvolvimento da neutralização de carbono em minas abandonadas, utilizando a fotossíntese para sequestrar carbono, combinando vantagens industriais para promover o desenvolvimento de uma nova indústria de energia, promovendo a integração da emissão de carbono,

				coleta, sequestro e utilização e participando na alocação do mercado de sumidouros de carbono.
Use of pilot scale produced zeolites as fertilizer	2022	Beatriz Bonetti, Suzana F. Ferrarini, Marta E. Hammercshmitt, Thiago Fernandes De Aquino, Daniel Pazini Pezente, Mauro dos Santos Zavarize, Marçal José Rodrigues Pires	doi.org/10.1016/j.jece.2022.107907	Zeólitas do tipo X sintetizadas a partir de cinzas de carvão foram carregadas com macronutrientes e usadas para cultivar <i>Tagetes patula</i> . O desempenho do fertilizante foi avaliado através de testes de adsorção e acompanhamento do desenvolvimento da planta. A adubação com zeólita foi tão boa quanto ou superior à adubação comercial até tradicional e a solubilidade dos macronutrientes em água foi maior do que o exigido por lei.
Trends and advances in the development of coal fly ash-based materials for application in hydrogen-rich gas production: A review	2022	Kang Gao, Maria C. Iliuta	doi.org/10.1016/j.jechem.2022.05.016	A valorização do resíduo de FA para desenvolver catalisadores e sorventes para converter biomassa em hidrogênio via SESR corresponde à estratégia da economia de hidrogênio renovável e se alinha perfeitamente com o conceito de desenvolvimento sustentável.

Fonte: Dados compilados pela autora deste trabalho (2022).

Como possíveis tecnologias, a co-combustão do carvão mineral com biocombustíveis foi a mais citada pelos artigos. Os dados obtidos a partir de testes de combustão indicaram que é possível subsidiar o lançamento de projetos definitivos para fornecer geração de vapor a partir de fontes renováveis de forma descentralizada. (FAÉ GOMES, 2013). A adição de resíduo sólido urbano na mistura para a combustão de carvão também é estudada, e tem resultados positivos, podendo proporcionar uma eficiência térmica da planta, considerando a captura de carbono pós-combustão (GUO, 2021). As energias, solar térmica, fotovoltaica e renováveis no geral, são opções viáveis para geração de eletricidade e juntamente com o potencial hidrelétrico seriam um caminho promissor para reduzir as emissões de eletricidade na indústria mineral (MCLELLAN et al., 2012).

A capacidade de inovação tecnológica para a mina de carvão só é possível se forem contemplados os quatro componentes: a capacidade de pesquisa e desenvolvimento, exploração de recursos, gerenciamento organizacional e a capacidade financeira (WANG; ZHANG, 2018). Considerando que as minas não estão nos seus melhores anos de produção ou lucros, é racional pensar que provavelmente haverá um cenário de fechamentos de minas pela diminuição do uso e ou geração de energia termelétrica a carvão, trazendo ponto de atenção na transição. A falta de metodologia operacional para a gestão de riscos ambientais após o encerramento das minas de carvão é um assunto importante a ser debatido. Uma proposta metodológica para ser aplicada em qualquer contexto alternativo de fechamento de mina, sendo ela de céu aberto, minas subterrâneas ou outros tipos, foi desenvolvida por Krzemien e colaboradores (2016). Com o fechamos das minas também é possível haver um planejamento do espaço subterrâneo das minas abandonadas, utilizando a fotossíntese da vegetação para sequestrar carbono e assim também promovendo a construção de novas indústrias de energia (LYU, 2022).

Neste mesmo sentido a tecnologia mais comentada como solução para redução da emissão de CO₂, seria a captura e sequestro de carbono, mas Liang (2013) contrapõe sobre a possibilidade de que níveis mais altos de CO₂ poderiam ser gerados a partir do consumo extra de energia pela geração de energia combinada com a captura e sequestro de carbono (LIANG, 2013). Estudos do armazenamento geológico de CO₂ de uma das minas da região de Charqueada/RS demonstrou que a mina em específico era pobre receptora de CO₂. O estudo também não descartou a possibilidade de que outras regiões do campo carbonífero de Charqueadas possam ser melhores receptores para o armazenamento de CO₂ (SANTAROSA, 2013). Esclarecendo que nem todas as minas possuem potencial para a tecnologia do sequestro de carbono.

Como última preocupação, mas não a menos importante, surge o problema dos rejeitos da produção, que afetam diferentes formas do ambiente como água, solo e os seres humanos no geral com inorgânicos respiratórios, cancerígenos, carcinógenos e ecotoxicidade (RESTREPO, 2015). Há uma gama extensa de artigos de pesquisa que citam a transformação de rejeitos do processo de combustão: utilização de cinzas para obtenção de concreto, tijolos e capas asfálticas. Destaca-se a produção de adsorventes sólidos para a captura de CO₂, tais como as zeólitas sintetizadas a partir de cinzas da combustão de carvão, volantes e de fundo, e resíduo de alumínio (AQUINO, 2018; MORALES-OSPINO et al., 2021; DOS SANTOS et al., 2021). Esses materiais derivados do carvão podem ser carregados com macronutrientes (fósforo e potássio) através de soluções sintéticas e com efluente industrial, visando utilizar o material obtido como fertilizante, tal como demonstrado por Bonetti et al. (2020), Bonetti (2021), Bonetti et al. (2022), Estevam et al. (2022). A utilização dos rejeitos para substrato para solo também é uma das opções estudadas, evitando impactos adicionais do desmatamento e mudanças na paisagem onde os solos naturais são emprestados para atividades de recuperação de mineração (WEILER, 2018).

A valorização do resíduo cinza volante e também do rejeito da extração e beneficiamento do carvão para desenvolver catalisadores e sorventes para converter biomassa em hidrogênio é um caminho promissor de pesquisa estratégica para a economia de hidrogênio renovável e se alinha perfeitamente com o conceito de desenvolvimento sustentável (GAO, 2022).

3.5 Perspectivas para o setor carbonífero catarinense

3.5.1 Problema socioeconômico da mineração

Diversos pesquisadores tentaram avaliar os efeitos socioeconômicos do fechamento das mineradoras, tendo como principal fonte de pesquisa o que os moradores das vilas carboníferas que foram criadas especificamente para alojar os trabalhadores e aposentados da mineração pensam sobre o dano ambiental que o carvão como um todo traz para a sociedade. A Tabela 5 apresenta nove trabalhos selecionados para a discussão do tema e traz as principais informações dos mesmos como: título, tipo de publicação, ano de publicação, autores, palavras-chaves utilizadas, base de dados em que foram obtidos e uma breve conclusão da discussão relacionada com o presente artigo.

Tabela 5 - Revisão sobre o tema socioeconomia do setor carbonífero, trabalhos selecionados publicados entre 2012 e 2022

Título	Tipo	Ano	Autor	Palavras-Chave	Base de Dados	Conclusão
Avaliação socioeconômica e ambiental em uma área impactada pela extração do carvão; estudo de caso no Bairro Colonial em Criciúma-SC	Dissertação de Mestrado	2008	Heloísa Tânia Da Ré Carvalho	Mineração de Carvão; Degradação Ambiental; Recursos Naturais; Recuperação Ambiental;	Domínio Público	Mesmo com os problemas causados pela extração do carvão na área de moradia, os entrevistados não pretendem sair do bairro, e consideram que, mesmo com a degradação ambiental, a mineradora os beneficiou, seja através do emprego, seja pela permanência no local residencial.
Cultura do carvão em Criciúma-SC: a história que não se conta	Dissertação de Mestrado	2005	Gerson Luis de Boer Philomena	Cultura do carvão; fetiche; memória social; cultura;	Domínio Público	A maioria dos entrevistados é a favor da indústria do carvão, apesar de estarem cientes de toda a degradação ambiental ocorrida no local, gerando problemas sócio-ambientais.
Ecosistema e sustentabilidade; perspectivas conceituais e possibilidades para a região carbonífera de Santa Catarina	Dissertação de Mestrado	2009	Davis Rogério Lúcio	Abordagem ecossistêmica; Sustentabilidade; Mineração de carvão; Região carbonífera de Santa Catarina;	Domínio Público	Para tornar a Região Carbonífera de Santa Catarina sustentável, há a necessidade de uma abordagem operacional, baseada nos princípios do pensamento ecossistêmico, capaz de confrontar tanto os impactos já presentes na região, quanto o gerenciamento dos recursos e da prevenção de nova degradação sócioambiental na referida região.
Um olhar socioambiental da História; A trajetória do movimento ambientalista e seus conflitos com a atividade carbonífera no sul de Santa Catarina (1980-2008)	Dissertação de Mestrado	2008	Juliana Vamerlati Santos	Meio ambiente; preservação; movimento ambientalista; conflito sócioambiental; ONG; movimento social; carvão; mineração; atividade carbonífera; poluição;	Domínio Público	De forma geral, a comunidade não almeja fechar as minas de carvão, mas sim, que as empresas carboníferas cessem a poluição e que a fiscalização quanto a legislação nas empresas, seja efetiva.

A atividade carbonífera e suas representações sociais no sul do Brasil	Artigo	2014	Viviane Camejo Pereira; Jalcione Pereira Almeida;	Carvão mineral; representações sociais; Candiota/RS	SciELO	A fonte primordial de informação da população em geral, é através de comunicação midiática, onde é constantemente veiculado posicionamento favorável ao fomento do carvão. Os posicionamentos contrários, de forma geral, ficam no plano da comunicação cotidiana, não há setores contrários organizados dentro do município, mas há a organização dos grupos favoráveis.
Relações entre a Atividade Carbonífera e o Rural em Candiota, RS, Brasil análises sobre representações sociais em um contexto de dilemas sobre a energia	Artigo	2015	Viviane Camejo Pereira; Jalcione Almeida;	Representações sociais; carvão mineral; rural; Candiota;	SciELO	A exploração e a geração de energia por meio do carvão mineral são importantes economicamente para a região de Candiota, atraindo empregos, e garantindo o abastecimento de energia elétrica no estado. A população compreende que, atualmente existem meios tecnológicos para amenizar os danos ambientais provocados pela atividade, e que as empresas não se importam nem em diminuir os danos causados ao meio ambiente e nem em eficientizar os seus processos.
Da iluminação das cidades no século XIX às biorrefinarias modernas. história técnica e econômica da gaseificação	Dissertação de Mestrado	2013	Marco Tsuyama Cardoso	Jigue a ar, pré- lavagem, Caracterização tecnológica, carvão mineral.	SciELO	Delimitar um modelo de mineração sustentável é uma tarefa complexa, que requer profundas mudanças no pensamento e nas práticas da população local e da sociedade mundial.
Indústria carvoeira e degradação. decrescimento como perspectiva de superação da problemática socioambiental no Sul Catarinense	Tese de Doutorado	2019	Maria José Andrade da Silva	Carvões minerais, gaseificação, vapor d'água, modelos cinéticos.	BDTD	Devido ao potencial de degradação que o carvão mineral apresenta, o fim do setor carbonífero mostra-se ser um dos caminhos e serem perseguidos, favorecendo positivamente o meio ambiente, população e sociedade..
Planos energéticos e Plano nacional mineral 2030	Dissertação de Mestrado	2012	Walbert Gomes Pinheiro	Carvão mineral; Impactos socioambientais; Perspectiva de sustentabilidade; Planos energéticos; PNM 2030.	BDTD	O PNM 2030 aponta para a possibilidade de se fazer mineração com sustentabilidade socioambiental, ou seja, preservando os biomas e garantindo à sociedade melhor distribuição de renda e saúde.

Fonte: Dados compilados pela autora deste trabalho (2022).

De forma geral o entendimento sobre o assunto se dá de acordo com PHILOMENA (2005), que detalha que apesar de toda a degradação ambiental ocorrida, gerando problemas socioambientais, a maioria dos entrevistados, ainda é a favor da indústria do carvão, já outra autora consegue complementar essa ideia, quando cita um dos entrevistados que: “não querem fechar as minas, mas sim, que as mineradoras paguem por todo o dano ambiental causado” (SANTOS, 2008). Mesmo com os problemas causados pela extração do carvão na área de moradia, os entrevistados não pretendem sair do bairro, e consideram que, mesmo com a degradação ambiental, a mineradora os beneficiou, seja através do emprego, seja pela permanência no local residencial (CARVALHO, 2008).

Um ponto importante a levar em consideração foi trazido por Pereira (2014), de que a fonte primordial de informação da população em geral, é através de comunicação midiática, onde é constantemente veiculado posicionamento favorável ao fomento do carvão. Os posicionamentos contrários, de forma geral, ficaram no plano da comunicação cotidiana, não há setores contrários organizados dentro do município, mas há a organização dos grupos favoráveis (PEREIRA, 2014).

A população compreende que, atualmente existem meios tecnológicos para amenizar os danos ambientais provocados pela atividade. Manter a exploração e a geração de energia por meio do carvão mineral são importantes economicamente para as regiões carboníferas, segurando empregos, e garantindo o abastecimento de energia elétrica de forma não intermitente. Pereira (2015) traz que o pensamento da sociedade, é de que as empresas não se importam nem em diminuir os danos causados ao meio ambiente e nem em tornar mais eficiente os seus processos (PEREIRA, 2015).

Somente um autor dos selecionados conclui que:

“devido ao potencial de degradação que o carvão mineral apresenta, o fim da indústria carvoeira em Santa Catarina como em outras localidades mostra-se ser um dos caminhos e serem perseguidos, pois acreditamos que essa medida favorecerá positivamente o meio ambiente e a todas as formas de vida que habitem no planeta”. (SILVA, 2019, p. 244).

Em contraponto o PNM 2030 aponta que é possível fazer mineração com sustentabilidade socioambiental, mas para isso são necessárias profundas mudanças no pensamento e nas práticas da sociedade humana (PINHEIRO, 2012). Delinear um modelo de mineração sustentável é uma tarefa complexa, que requer profundas mudanças não somente no pensamento, mas também nas práticas da população local e da sociedade mundial (CARDOSO,

2013). Lucio (2009) completa a ideia de forma local para a região carbonífera de Santa Catarina, onde para se tornar sustentável, há a necessidade de uma abordagem operacional, baseada nos princípios do pensamento ecossistêmico, capaz de confrontar tanto os impactos já presentes na região, quanto o gerenciamento dos recursos e da prevenção de nova degradação sócioambiental (LUCIO, 2009).

3.5.2 Nanomateriais de carbono

A nanotecnologia visa o desenvolvimento de materiais e dispositivos em escala nanométrica para aplicações tecnológicas e desenvolvimento de novos produtos. O grafeno é um exemplo de nanomaterial, sendo um cristal bidimensional (2D) formado por átomos de carbono e corresponde a uma única camada atômica de grafite. O Grafeno tem se destacado nas pesquisas nos últimos anos, em diferentes aplicações tecnológica, pois apresenta propriedades físicas, químicas e biológicas excepcionais (ABC, 2018).

A utilização do carvão como precursor de nanomateriais de carbono, em especial o grafeno, pode viabilizar a sua produção em grande escala, devido a matéria prima ser de fácil acesso e de custo reduzido. Foram obtidos muitos artigos referentes a grafeno e carvão, principalmente nos últimos cinco anos, e para esta revisão foram selecionados 4 artigos com caráter explanativo sobre o tema, que estão compilados na Tabela 6 com as principais informações dos mesmos como: título, tipo de publicação, ano de publicação, autores, base de dados em que foram obtidos e uma breve conclusão da discussão relacionada com o presente artigo.

De forma geral os autores tem obtido êxito na produção de grafeno por diferentes métodos e concordam que tem se alcançado avanços na produção de grafeno a partir de carvão, por meio de estratégias baratas, produtos de alta qualidade e para grande escala.

No artigo de Singh (2020) é realizada a síntese de grafeno solúvel em água utilizando como precursor o carvão, e investiga a aplicação do nanomaterial como supercapacitor, podendo ter maior capacidade de armazenamento de carga, alta densidade de potência e rápido carregamento (SINGH, 2020).

Hoang (2019) que descreve a síntese de vários nanomateriais de carbono derivados do carvão através de várias formas de produção, cita que para a obtenção do nanomaterial o HNO_3 é uma solução promissora para substituir o uso de agentes oxidantes, pois agentes oxidantes fortes podem danificar gravemente a estrutura gráfica dos nanomateriais de carbono,

produzindo defeitos e impondo requisitos adicionais de remoção de excesso de ácido (HOANG, 2019).

A pesquisa de Li (2021) traz uma revisão de estratégias de síntese e controle de estrutura de nanomateriais de carbono tendo carvão como precursor e explana novas abordagens para o futuro do tema, que em resumo, são: construir materiais versáteis e de alto desempenho; estudar a estrutura macromolecular do carvão e estabelecer a relação entre propriedades e processo síntese e investigar características genéticas e os efeitos de minerais e heteroátomos no carvão (LI, 2021).

Tabela 6 - Revisão sobre o tema nanomateriais, trabalhos selecionados publicados entre 2012 e 2022

Título	Tipo	Ano	Autor	Tema	Base de Dados	Conclusão
Review - Coal derived carbon nanomaterials – Recent advances in synthesis and applications	Artigo	2019	Van Chinh Hoang, Mahbub Hassan, Vincent G.Gomes	Produção de Nanomateriais à base de carbono de vários tipos de carvão	Science Direct	Avanços na produção de nanomateriais de carbono a partir de carvão, por meio de estratégias baratas, produtos de alta qualidade e em grande escala. O HNO ₃ é uma solução promissora para substituir o uso de agentes oxidantes.
Coal derived graphene as an efficient supercapacitor electrode material	Artigo	2020	Arvind Singh, Animesh K. Ojha	Síntese de grafeno solúvel em água utilizando carvão para aplicações práticas de supercapacitores.	Science Direct	É confirmada a formação de folhas dobradas, lascadas e enrugadas como folhas de grafeno 2D. As folhas de grafeno mostram uma ampla banda de emissão (400–650 nm). Com possível aplicação para maior capacidade de armazenamento de carga, alta densidade de potência e rápido carregamento.
Review - Coal-derived carbon nanomaterials for sustainable energy storage application	Artigo	2021	Ke-ke Li, Guo-yang Liu, Li-siZheng, Jia Jia, You- yu Zhu, Ya-ting Zhang	Revisão de estratégias de síntese e controle de estrutura de nanomateriais de carbono tendo carvão como precursor.	Science Direct	As novas pesquisas sobre o tema devem se concentrar em, construir materiais versáteis e de alto desempenho; estudar a estrutura macromolecular do carvão e estabelecer a relação entre propriedades e processo síntese e investigar características genéticas e os efeitos de minerais e heteroátomos no carvão.
Carvão como precursor de óxido de grafeno – Uma revisão	Artigo	2022	Marília Roxo Scheffer; Mateus Oliveira; Elaina Virmond; Elise Sommer Watzko	Revisão de métodos para obtenção de grafeno e óxido de grafeno partindo do grafite e do carvão como precursores	UFSC	O método de Hummers promove a oxidação do grafite por tratamentos ácidos e posterior redução (química ou térmica), com rendimento ainda não compatível com escala de produção industrial. O método de Lee e Mahajan (2021), utiliza HNO ₃ para o tratamento de oxidação de óxido de grafeno, sendo econômico, ambientalmente amigável, e viável em grande escala.

Fonte: Dados compilados pela autora deste trabalho (2022).

O trabalho de Scheffer et al. (2022), que realizou uma revisão de métodos para obtenção de grafeno e óxido de grafeno partindo do grafite e do carvão como precursores, apresentou um método simples utilizando HNO_3 para o tratamento de oxidação de óxido de grafeno, que tende ser uma abordagem econômica, ecologicamente correta e mais viável em grande escala, comparada a outros métodos para a produção de grafeno a partir de carvão.

De forma geral o material grafeno, é o que mais tem surtido interesse na indústria, e a sua síntese através do carvão pode ser uma boa perspectiva para o setor carbonífero. Porém a grande maioria dos documentos encontrados são de pesquisas feitas fora do Brasil, havendo então uma falta de documentação que analise a obtenção e aplicação de grafeno a partir do carvão brasileiro, que tem propriedades diferentes da grande maioria do mundo.

4 CONCLUSÃO

Diante dos fatos analisados conclui-se que, as leis e decretos instituídos em 2022 que tratam sobre o setor carbonífero, trazem a transição energética justa que tende a uma descarbonização do setor, então, financiar o estabelecimento e operação da transição é essencial, conduzidos localmente em comunidades dependentes do carvão, envolvendo todos os estágios de transição, incluindo principalmente suporte para os trabalhadores com renda, educação, reemprego e mobilidade, para que permaneçam no mercado de trabalho.

O setor carbonífero de Santa Catarina se encontra em um período de estabilidade com 97% do seu faturamento para o setor elétrico, porém com um plano de transição energética entrando em ação, então, para conseguir se manter ativo nas próximas décadas, é necessário lidar tanto com os problemas socioambientais que foram causados, quanto os que ainda poderão ser causados.

Os investimentos em pesquisa, desenvolvimento e inovação podem possibilitar um novo rumo para o setor. Novas perspectivas para o carvão como a co-combustão do carvão mineral com biomassa, a transformação de resíduos da combustão, dos rejeitos da extração, e o desenvolvimento de nanomateriais de carbono, a exemplo do grafeno, e de outros produtos derivados a partir do carvão mineral são oportunidades que vem se destacando ao longo desta última década nas pesquisas, e que podem trazer um cenário ótimo para a continuação do desenvolvimento do setor carbonífero.

Se bem desenvolvidas, essas podem se tornar opções viáveis de solução para os problemas socioeconômicos do setor carbonífero do sul de Santa Catarina, agregando de forma positiva para uma transição energética justa tanto para as empresas e empregados quanto para a sociedade.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC/2021TR2151).

REFERÊNCIAS

- ABC. **Nanomateriais de carbono: o impacto da pesquisa e da inovação no cenário nacional**. Disponível em: <<https://www.abc.org.br/2018/07/04/nanomateriais-de-carbono-o-impacto-da-pesquisa-e-da-inovacao-no-cenario-nacional/>>. Acesso em: 5 dez. 2022.
- ALLEN, R. C. **Backward into the future: The shift to coal and implications for the next energy transition**. *Energy Policy*, v. 50, p. 17–23, nov. 2012.
- ANM. **Anuário Mineral Brasileiro Iterativo**. Disponível em: <<https://www.gov.br/anm/pt-br/anm-lanca-paineis-interativos-para-dados-economicos-do-setor-mineral>>. Acesso em: 10 de out. 2022.
- AQUINO, Thiago. **Síntese de zeólitas do tipo X a partir de cinzas volantes e de fundo de carvão mineral para a captura de CO₂**. 2018. Repositório Institucional UFSC. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/198363>>.
- BGR. **Energy Study 2021**. Disponível em: <https://www.bgr.bund.de/EN/Themen/Energie/Produkte/energy_study_2021_summary_en.html>. Acesso em: 6 out. 2022.
- BONETTI, B. et al. Production of zeolitic materials in pilot scale based on coal ash for phosphate and potassium adsorption in order to obtain fertilizer. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 3, p. 2638–2654, 5 nov. 2020.
- BRASIL. **Decreto nº 11.108, de 29 de junho de 2022**. Institui a Política Mineral Brasileira e o Conselho Nacional de Política Mineral. Brasília, DF, [2022]. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-11.108-de-29-de-junho-de-2022-411382313>. Acesso em 21 out. 2022.

BRASIL. **Decreto nº 11.124, de 7 de julho de 2022**. Dispõe sobre o Conselho do Programa de Transição Energética Justa e o Plano de Transição Justa. Brasília, DF, [2022]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/D11124.htm. Acesso em: 11 nov. 2022.

BRASIL. **Decreto nº 87.079, de 02 de abril de 1987**. Aprova as Diretrizes para o Programa de Mobilização Energética. Brasília, DF, [1987]. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decleg/1980-1987/decretolegislativo-14-31-marco-1982-360507-publicacaooriginal-1-pl.html>

BRASIL. **Lei nº 14.299, de 05 de janeiro de 2022**. Altera as Leis nºs 10.438, de 26 de abril de 2002, e 9.074, de 7 de julho de 1995, para instituir subvenção econômica às concessionárias do serviço público de distribuição de energia elétrica de pequeno porte; cria o Programa de Transição Energética Justa (TEJ); e dá outras providências. Brasília, DF, [2022]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/L14299.htm. Acesso em: 21 out. 2022.

BONETTI, B. et al. Use of pilot scale produced zeolites as fertilizer. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 10, n. 3, p. 107907, jun. 2022.

BONETTI, B.; ALEGRE, P. **ESCOLA POLITÉCNICA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS ZEOLÍTICOS A BASE DE CINZAS DE CARVÃO PARA A ADSORÇÃO DE FOSFATO E POTÁSSIO VISANDO A OBTENÇÃO DE FERTILIZANTE**. [s.l: s.n.]. Disponível em:

<<https://tede2.pucrs.br/tede2/bitstream/tede/9866/2/Tese%20Beatriz%20Bonetti.pdf>>. Acesso em: 22 dez. 2022.

Bonetti, B., Waldow, EC, Trapp, G. et al. Produção de materiais zeolíticos em escala piloto à base de cinzas de carvão para adsorção de fosfato e potássio para obtenção de fertilizante. *Environ Sci Pollut Res* **28**, 2638–2654 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11447-y>

BP. **Statistical review of world energy**. Disponível em:

<<https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>>. Acesso em: 6 out. 2022.

CAETANO, R. **O plano de descarbonização de Paul Polman e Carlo Pereira, do Pacto Global**. Disponível em: <<https://exame.com/esg/o-plano-de-descarbonizacao-de-paul-polman-e-carlo-pereira-do-pacto-global/>>. Acesso em: 4 dez. 2022.

CARBONÍFERA METROPOLITANA. **Histórico - Carbonífera Metropolitana S/A**. Disponível em: <<https://www.carboniferametropolitana.com.br/empresa/historico>>. Acesso em: 11 nov. 2022.

CARDOSO, Marco Tsuyama. **DA ILUMINAÇÃO DAS CIDADES NO SÉCULO XIX ÀS BIORREFINARIAS MODERNAS: UMA CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA GESEIFICAÇÃO**. 2013. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Energia - PPGE, Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, 2014.

CARVALHO, Heloísa Tânia Da Ré. **Avaliação socioeconômica e ambiental em uma área impactada pela extração do carvão: estudo de caso no Bairro Colonial em Criciúma-SC**. Orientador: Prof. Dr. Carlyle Torres Bezerra de Menezes. 2008. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma/SC, 2008.

CEICDATA.COM. **China Consumo de carvão**. Disponível em: <<https://www.ceicdata.com/pt/indicator/china/coal-consumption>>. Acesso em: 4 dez. 2022.

CHAN, L.; DAIM, T. **Exploring the impact of technology foresight studies on innovation: Case of BRIC countries**. *Futures*, v. 44, n. 6, p. 618–630, ago. 2012.

CNPq. **Portal Memória**. Página inicial. Disponível em: <<https://memoria.cnpq.br/>>. Acesso em: 29 nov. 2022.

DOS SANTOS, G. C. et al. CO₂ adsorption in a zeolite-based bench scale moving bed prototype: Experimental and theoretical investigation. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 171, p. 225–236, jul. 2021.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. **Balanco energético nacional**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados>>

abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>. Acesso em: 29 de nov. de 2022.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. **Balço Energético Nacional (BEN) 50 anos:** Cinquenta anos de estatísticas energéticas. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/ben-50-anos>>. Acesso em 10 out. 2022.

ESTEVAM, S. T. et al. Synthesis of K-Merlinoite zeolite from coal fly ash for fertilizer application. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 39, n. 3, p. 631–643, 18 out. 2021.

FAÉ GOMES, G. M. et al. **Aspects for a cleaner production approach for coal and biomass use as a decentralized energy source in southern Brazil.** Journal of Cleaner Production, v. 47, p. 85–95, maio 2013.

GAO, K.; ILIUTA, M. C. **Trends and advances in the development of coal fly ash-based materials for application in hydrogen-rich gas production: A review.** Journal of Energy Chemistry, v. 73, p. 485–512, out. 2022.

GTA [Grupo Técnico de Assessoramento]. **12º RELATÓRIO DE MONITORAMENTO DOS INDICADORES AMBIENTAIS.** Vol. 1. Mar 2019.

GT-SC. **Relatório do Grupo de Trabalho para Avaliar as Atividades de Geração Termelétrica a Carvão Mineral e de Mineração de Carvão Mineral no Estado de Santa Catarina.** Jul 2021.

GUO, Y. et al. **Investigation on co-combustion of coal gasification fine slag residual carbon and sawdust char blends:** Physiochemical properties, combustion characteristic and kinetic behavior. Fuel, v. 292, p. 120387, maio 2021.

HOANG, Van Chinh; HASSAN, Mahbub; GOMES, Vincent G. **Coal derived carbon nanomaterials** – Recent advances in synthesis and applications. Applied Materials Today, [S.L.], v. 12, p. 342-358, set. 2018. Elsevier BV.<http://dx.doi.org/10.1016/j.apmt.2018.06.007>.

KRZEMIENÍ, A. et al. **Towards sustainability in underground coal mine closure contexts: A methodology proposal for environmental risk management.** Journal of Cleaner Production, v. 139, p. 1044–1056, dez. 2016.

LI, K. et al. **Coal-derived carbon nanomaterials for sustainable energy storage applications.** New Carbon Materials, v. 36, n. 1, p. 133–154, fev. 2021.

LIANG, X. et al. **Up-to-date life cycle assessment and comparison study of clean coal power generation technologies in China.** Journal of Cleaner Production, v. 39, p. 24–31, jan. 2013.

LÚCIO, Davis Rogério. **ECOSSISTEMA E SUSTENTABILIDADE: PERSPECTIVAS CONCEITUAIS E POSSIBILIDADES PARA A REGIÃO CARBONÍFERA DE SANTA CATARINA.** 2009. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma/SC, 2009.

LYU, X.; YANG, K.; FANG, J. **Utilization of resources in abandoned coal mines for carbon neutrality.** Science of The Total Environment, v. 822, p. 153646, maio 2022.

MCLELLAN, B. C. et al. **Renewable energy in the minerals industry: a review of global potential.** Journal of Cleaner Production, v. 32, p. 32–44, set. 2012.

MORALES-OSPINO, R. et al. Parametric Analysis of a Moving Bed Temperature Swing Adsorption (MBTSA) Process for Postcombustion CO₂ Capture. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 60, n. 29, p. 10736–10752, 27 abr. 2021.

NOVOSELOV, K. S.; GEIM, A. K.; MOROZOV, S. V.; JIANG, D.; ZHANG, Y.; DUBONOS, S. V.; GRIGORIEVA, I. V.; FIRSOV, A. A. **Electric field effect in atomically thin carbon films.** Science, v. 306, p. 666-669, 2004.

NUNES, A. **UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM HISTÓRIA COMPARADA O CHOQUE DO PETRÓLEO de 1973: Estados Unidos, OPAEP e a Segurança Energética.** 2016. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://ppghc.historia.ufrj.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=199-o-choque-do-petroleo-de-1973-estados-unidos-opaep-e-a-seguranca-energetica&category_slug=dissertacoes&Itemid=155>.

PEREIRA, Viviane Camejo; ALMEIDA, Jalcione. **A atividade carbonífera e suas representações sociais no sul do Brasil**. Cuadernos de desarrollo rural, 11(73), 129-148, 2014. doi:10.11144/Javeriana.CDR11-73.acsr

PEREIRA, Viviane Camejo; ALMEIDA, Jalcione. **Relações entre a Atividade Carbonífera e o Rural em Candiota, RS, Brasil**: análises sobre representações sociais em um contexto de dilemas sobre a energia. Revista de Economia e Sociologia Rural, [S.L.], v. 53, n. 1, p. 127-142, mar. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1234-56781806-9479005301007>.

PHILOMENA, Gerson Luis de Boer. **CULTURA DO CARVÃO EM CRICIÚMA-SC**: a história que não se conta. 2005. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma/SC, 2005.

PINHEIRO, Walbert Gomes. **PLANOS ENERGÉTICOS E PLANO NACIONAL MINERAL 2030: UMA REVISÃO DA IMPORTÂNCIA DO CARVÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DA REGIÃO SUL DE SANTA CATARINA**. 2012. Dissertação (Mestrado) - Curso de PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS, UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE, Criciúma/SC, 2012.

REDESIM. **Consulta Pública CNPJ**. Disponível em: <<https://consultacnpj.redesim.gov.br/>>. Acesso em: 30 nov. 2022.

RESTREPO, Á.; BAZZO, E.; MIYAKE, R. **A life cycle assessment of the Brazilian coal used for electric power generation**. Journal of Cleaner Production, v. 92, p. 179–186, abr. 2015.

SAHOO, P. et al. **Synthesis and characterization of graphene oxide and graphene from coal**. Materials Today: Proceedings, v. 56, p. 2421–2427, 2022.

SANTA CATARINA. **Lei nº 18.330, de 05 de janeiro de 2022**. Institui a Política Estadual de Transição Energética Justa e o Polo de Transição Energética Justa do Sul do Estado de Santa Catarina e estabelece outras providências. Florianópolis, SC, [2022]. Disponível

em: [http://www. http://leis.alesc.sc.gov.br/html/2022/18330_2022_lei.html](http://www.leis.alesc.sc.gov.br/html/2022/18330_2022_lei.html). Acesso em: 21 out. 2022.

SANTAROSA, C. S. et al. **CO2 sequestration potential of Charqueadas coal field in Brazil**. International Journal of Coal Geology, v. 106, p. 25–34, fev. 2013.

SANTOS, Juliana Vamerlati. **UM OLHAR SÓCIO-AMBIENTAL DA HISTÓRIA: A trajetória do movimento ambientalista e seus conflitos com a atividade carbonífera no sul de Santa Catarina (1980-2008)**. 2008. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em História, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Florianópolis/SC, 2008.

SCHEFFER. M. R.; OLIVEIRA. M.; VIRMOND. E.; WATZKO. E. S. **Carvão como precursor de óxido de grafeno – Uma revisão**. 2022

SEBRAE. **Total de empresas brasileiras - DataSebrae**. Disponível em: <<https://datasebrae.com.br/totaldeempresas-11-05-2020/>>. Acesso em: 22 out. 2022.

SIECESC. **Dados Estatísticos – Ano 2021**. Disponível em: <https://www.siecesc.com.br/dados_estatisticos>. Acesso em: 04 out. 2022.

SIECESC. **Dados Estatísticos**. Disponível em: <https://www.siecesc.com.br/dados_estatisticos>. Acesso em: 04 out. 2022.

SILVA, Maria José Andrade da. **Indústria Carvoeira e Degradação: Decrescimento como Perspectiva de Superação da Problemática Socioambiental no Sul Catarinense**. 2019. Tese (Doutorado) - Curso de Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, 2019.

SINGH, Arvind; OJHA, Animesh K. **Coal derived graphene as an efficient supercapacitor electrode material**. Chemical Physics, [S.L.], v. 530, p. 110607, fev. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemphys.2019.110607>

WANG, W.; ZHANG, C. **Evaluation of relative technological innovation capability: Model and case study for China's coal mine**. Resources Policy, v. 58, p. 144–149, out. 2018.

WEILER, J.; FIRPO, B. A.; SCHNEIDER, I. A. H. **Coal waste derived soil-like substrate: An opportunity for coal waste in a sustainable mineral scenario.** *Journal of Cleaner Production*, v. 174, p. 739–745, fev. 2018.

YU, S.; WEI, Y. **Prediction of China's coal production-environmental pollution based on a hybrid genetic algorithm-system dynamics model.** *Energy Policy*, v. 42, p. 521–529, mar. 2012.