

A MINERAÇÃO NA REGIÃO METROPOLITANA DO CARIRI (RMCARIRI), CEARÁ: GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA E GEOCONSERVAÇÃO ASSOCIADAS

Marcelo Martins de Moura Fé

Universidade Regional do Cariri – URCA

E-mail: marcelo.mourafe@urca.br

Frederico de Holanda Bastos

Universidade Estadual do Ceará - UECE

E-mail: fred.holanda@uece.br

Marcos Antonio Leite do Nascimento

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN

E-mail: marcos.leite@ufrn.br

Resumo

A mineração apresenta notória importância socioeconômica e potencial de impactância sobre a configuração regional geológica e geomorfológica, afetando, por conseguinte, a significativa geodiversidade da região sul do Ceará. Considerando a necessidade de novos estudos sobre a atividade, presente nos 9 municípios da Região Metropolitana do Cariri (RMCariri), o objetivo deste trabalho é analisar a associação da geodiversidade, com ênfase nos aspectos geológicos e geomorfológicos, com a mineração da RMCariri, Ceará. O roteiro metodológico desenvolvido é de abordagem qualitativa, compartimentado em um embasamento teórico-conceitual e um contingente técnico-científico, subdividido em etapas inter-relacionadas de gabinete, campo e laboratório. Os resultados alcançados, apoiados nas análises, mapas e quadros-sínteses elaborados, ressaltam a intrínseca relação entre a diversidade litológica e as características regionais e locais do relevo com as diferentes formas de mineração, bem como o significativo debate (e sua importância socioambiental) entre a conservação e valorização da geodiversidade e o desenvolvimento da mineração, considerando as diversidades intra-regionais.

Palavras-chave: Gênese geológica; Morfodinâmica; Geodiversidade; Região Metropolitana; Desenvolvimento Regional Sustentável.

MINING IN THE METROPOLITAN REGION OF CARIRI (RMCARIRI), CEARÁ: ASSOCIATED GEOLOGY, GEOMORPHOLOGY AND GEOCONSERVATION

Abstract

The mining has notorious socioeconomic importance and potential impact on the geological and geomorphological regional configuration, affecting, thus, the significant geodiversity of the southern region of Ceará. Considering the need for new studies about the activity, present in the 9 municipalities of the Metropolitan Region of Cariri (RMCariri), the purpose of this work is to analyze the association of geodiversity, with emphasis on geological and geomorphological aspects, with the mining of RMCariri, Ceará. The methodological script developed has a qualitative approach, divided into a theoretical-conceptual basis and a technical-scientific contingent, subdivided into interrelated stages of office, field and laboratory. The results achieved, supported by the analyses, maps and summary tables prepared, highlight the intrinsic relationship between lithological diversity and the regional and local characteristics of the relief, with the different forms of mining, as well as the significant debate (and its socio-environmental importance) between the conservation and valorization of geodiversity and the development of mining, considering intra-regional diversities.

Key words: Geological genesis; Morphodynamics; Geodiversity; Metropolitan region; Sustainable Regional Development.

LA MINERÍA EN LA REGIÓN METROPOLITANA DEL CARIRI (RMCARIRI), CEARÁ: GEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA Y GEOCONSERVACIÓN ASOCIADAS

Resumen

La minería tiene una notoria importancia socioeconómica y un impacto potencial en la configuración geológica y geomorfológica regional, afectando así la importante geodiversidad de la región sur de Ceará. Considerando la necesidad de profundizar los estudios sobre la actividad, presente en los 9 municipios de la Región Metropolitana del Cariri (RMCariri), el objetivo de este trabajo es analizar la asociación de la geodiversidad, con énfasis en los aspectos geológicos y geomorfológicos, con la explotación minera de RMCariri, Ceará. El guión metodológico desarrollado tiene un enfoque cualitativo, dividido en una base teórico-conceptual y un contingente técnico-científico, subdividido en etapas interrelacionadas de gabinete, campo y laboratorio. Los resultados alcanzados, sustentados en los análisis, mapas y cuadros resumen elaborados, destacan la relación intrínseca de la diversidad litológica y las características regionales y locales del relieve con las distintas formas de explotación minera, así como el significativo debate (y su importancia socioambiental) entre la conservación y valorización de la geodiversidad y el desarrollo de la minería, considerando las diversidades intrarregionales.

Palabras-clave: Génesis geológica; Morfodinámica; Geodiversidad; Región Metropolitana; Desarrollo Regional Sostenible.

Introdução

A região Nordeste do Brasil apresenta uma notável complexidade geológica, notadamente no segmento tectônico denominado de Província Borborema, que compreende um mosaico de remanescentes de micro continentes (crátons) e orógenos de idade arqueana, paleoproterozoica e mesoproterozoica, agregados por faixas móveis brasileiras. Essas faixas, por sua vez, apresentam-se expostas como remanescentes de bacias de margem passiva, invertidas ou por corpos, por vezes, batolíticos, de um intenso plutonismo granítico de arco continental brasileiro sin, tardi e pós-orogênico (IBGE, 2019). O Ciclo orogênico Brasileiro, iniciado no Neoproterozóico, foi ainda mais importante para a evolução estrutural das litologias antigas (Brito Neves; Campos Neto; Fuck, 1999) da província, sendo o último episódio geodinâmico gerador de grandes deformações da crosta e que afetou as plataformas brasileira e africana, gerando rochas metamórficas em diferentes graus, intenso plutonismo granítico e deformações variadas (Cesero; Ponte, 1997; Penha, 2003).

Em linhas gerais, a evolução neoproterozoica da Província Borborema é caracterizada pelo desenvolvimento de uma malha de zonas de cisalhamento em escala continental (Vauchez et al., 1995), com a presença de fases de plutonismo granítico (Brito

Neves et al., 2003). Assim, a mesma encontra-se afetada por uma tectônica transpressiva com desenvolvimento de lineamentos estruturais, tais como o lineamento de Patos e dobras apertadas. Incluem-se nessa província, os riftes mesozoicos interiores, como o do Araripe, Iguatu e Rio do Peixe (IBGE, 2019).

Como resultado desses processos tectônicos, a Província Borborema apresenta uma configuração atual dotada de diversas zonas de cisalhamento de direção NE-SO e L-O (Nogueira Neto et al., 1990). Seu embasamento paleoproterozóico é composto de gnaisses migmatíticos e granulitos de caráter juvenil, cobertos por rochas do Paleoproterozóico tardio e Neoproterozóico, intrudidas por granitos sin a pós-tectônicos (Santos et al., 2008). Assim, o padrão estrutural do embasamento cristalino (Peulvast; Claudino-Sales, 2003) na área de estudo, notadamente nos segmentos norte, nordeste e sudeste da Região Metropolitana do Cariri (RMCariri), de predomínio de rochas cristalinas, é herdado do Ciclo Brasileiro, embora haja resquícios de processos mais antigos.

Processos extensionais, puros e, sobretudo, simples (transtracionais), resultantes do final do Ciclo Brasileiro (Almeida et al., 1981; Almeida; Brito Neves; Carneiro, 2000; Brito Neves, 1999; Hasui, 2012a) e distribuídos desigualmente entre 590 e 500 Ma em todas as províncias estruturais, foram responsáveis pela formação de bacias *pull apart* (bacias transtensionais) ao longo de zonas de cisalhamento, permitindo a formação de bacias intracratônicas, tais como as bacias do Amazonas, Paraná e do Parnaíba (Brito Neves, 1999; Suguio, 2003).

No Nordeste brasileiro as maiores redes de zonas de cisalhamento correspondem aos lineamentos Patos e Pernambuco, gerados por movimentação transcorrente de direção geral L-O, com extensão de centenas de quilômetros e largura de até mais de uma dezena de quilômetros (Hasui, 2012b). Nesse segmento da região Nordeste se originou a bacia sedimentar do Araripe, uma das bacias interiores da região Nordeste do Brasil (Assine, 2007). Mais adiante, no Mesozoico se inicia o processo de fissão do Pangeia e de sua porção meridional, o Gondwana, incluindo os continentes da África e da América do Sul estabelecendo no Brasil um novo estágio tectônico, o “Estágio de Ativação” da Plataforma Sul-Americana, que culminou com a abertura do oceano Atlântico, originando a margem equatorial brasileira (Carneiro et al., 2012).

A fase pré-rifte desse estágio de ativação engloba o desenvolvimento de diversos riftes e se iniciou pelo sul do oceano Atlântico Sul. Contudo, a separação da América do Sul

e África foi retardada em relação à da América do Norte e África e os riftes deixaram de evoluir pela existência de uma litosfera espessa resultante da longa união do Gondwana durante o Paleozoico (Szatmari et al., 1987), sendo abortados. O abortamento desses riftes ocorreu no Barremiano (129,4-125 Ma) e originou a formação das bacias sedimentares do Araripe (extremo sul do Ceará) e do Apodi (limite NE cearense) nas fossas abortadas (Bétard; Peulvast, 2011; Claudino-Sales; Peulvast, 2006).

Além da formação dessas (e outras) bacias sedimentares, a abertura do Atlântico Sul promoveu um amplo e importante rearranjo tectônico das litologias mais antigas da Província Borborema, incluindo as litologias presentes nos limites norte, nordeste e sudeste da área de estudo. Eventos distensionais, remobilização de falhas antigas, surgimento de fraturas e intenso magmatismo, além da criação de uma “nova geração” de bacias sedimentares, principalmente ao longo da margem continental do Atlântico, caracterizaram essa etapa mesozoica (Almeida et al., 1981; Almeida; Carneiro, 2004; Mabessone, 2002; Zalán, 2012).

Assim, a bacia sedimentar do Araripe é composta por unidades estratigráficas associadas à fragmentação do Gondwana e à correlata abertura do Atlântico Sul, dotadas de uma considerável diversidade litológica, estrutural e de ambientes de sedimentação (Assine et al., 2014). Por sua vez, as litologias cristalinas que afloram nos municípios que compõem a RMCariri têm com o Ciclo Brasileiro e o estágio de ativação da Plataforma Sul-Americana (que promoveu a abertura do Atlântico Sul), uma estreita e fundamental correlação genética e evolutiva. Tal quadro é fundamental para se entender, dentre outras coisas, o atual arranjo espacial das atividades de mineração na RMCariri.

De forma concatenada, conhecer a geomorfologia associada a essa geologia, incluindo as litologias e estruturas herdadas do Ciclo Brasileiro, reativadas ou herdadas na Abertura do Atlântico Sul, é importante para entender as formas de estabelecimento e desenvolvimento da mineração na região; ao passo que, por outro lado, é também imprescindível analisar os reflexos da mineração (em suas especificidades regionais) sobre a geodiversidade e as realidades e demandas geoconservacionistas advindas da relação histórica e atual com a mineração.

Considerando esse quadro, bem como a necessidade de novos estudos sobre a atividade da mineração presente nos 9 municípios da RMCariri, o objetivo deste trabalho é

analisar a associação da geoconservação, com ênfase nos aspectos geológicos e geomorfológicos, com a mineração na Região Metropolitana do Cariri.

Material e Métodos

Roteiro Teórico-metodológico

O roteiro teórico-metodológico desenvolvido para buscar esse objetivo é de abordagem qualitativa, compartmentado em: (1) embasamento teórico-conceitual, que tratou da análise da literatura científica relacionada às temáticas e à área de estudo; (2) contingente técnico-científico, subdividido em etapas inter-relacionadas de gabinete, campo e laboratório.

Em gabinete realizou-se levantamento bibliográfico e documental de materiais publicados em periódicos nacionais e internacionais, livros, capítulos e títulos legais relacionados e/ou vigentes no Brasil, Ceará e nos municípios da RMCariri, que tratam das temáticas relacionadas à mineração; bem como um levantamento cartográfico e iconográfico da região sul do Ceará, com ênfase na sua região metropolitana. Posteriormente, em gabinete, foram analisados de forma conjunta e sistemática os dados dos levantamentos, dos trabalhos de campo e dos materiais elaborados em laboratório.

Na etapa de levantamento bibliográfico foram consultados periódicos nas áreas de Geociências, Geografia, Ciências Ambientais, Economia e áreas afins, por meio dos descritores presentes no título e nas palavras-chave desse artigo (sem delimitação temporal), ao passo que a maioria dos materiais está disponibilizada na página *web* de Periódicos CAPES nas plataformas: SciELO, Google Scholar, além do Research Gate. A Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD-IBICT) também foi consultada. Por sua vez, o levantamento cartográfico se constituiu em dados vetoriais (*shapefiles*) e matriciais (*raster*), mapas temáticos, imagens de satélite e modelos digitais de elevação (MDEs), disponíveis em *web sites* de órgãos públicos, discriminados no texto, utilizados para realizar os trabalhos de campo e contribuir na elaboração dos produtos cartográficos e gráficos, em laboratório.

Os mapeamentos foram elaborados através do *software* QGIS 2.14.22 / Grass 7.2.2, com apoio dos dados de gabinete e campo. A elaboração de materiais gráficos acessórios foi realizada através do GIMP 2.8, e a edição de registros fotográficos foi feita com o PhotoScape, todos *softwares open source*.

Em campo foram feitos registros das atividades de mineração e suas características geológicas, dos relevos associados e seus contatos, cotas topográficas, verificação das coordenadas UTM, registros fotográficos, altimétricos e de declividade, com a utilização de aparelho GPS Garmin, altímetro barométrico, bússola, câmera fotográfica, clinômetro, lupa de bolso, cartas e mapas temáticos, martelos geológicos e trenas.

Área de Estudo

A RMCariri localiza-se na região sul do estado do Ceará, sendo instituída oficialmente através da Lei Complementar nº 78, de 26 de junho de 2009 e composta, desde então, pelo agrupamento dos municípios do Barbalha, Caririaçu, Crato, Farias Brito, Jardim, Juazeiro do Norte, Missão Velha, Nova Olinda e Santana do Cariri (Figura 1), com o objetivo maior de integrar a organização, o planejamento e a execução de funções públicas de interesse comum (Ceará, 2009, art. 1º). A integração de natureza socioeconômica ou de serviços desses municípios, indicada no decreto de criação da RMCariri (Ceará, 2009, art. 2º), se justifica pelos diferentes indicadores socioeconômicos municipais (Tabela 1).

Figura 1. Mapa de Localização da área de estudo



Elaboração: autores (2021). **Fonte:** IBGE (2018); Ipece (2019).

Tabela 1. Indicadores Socioeconômicos dos municípios da RMCariri

MUNICÍPIO	População residente estimada (2020)	PIB* (per capita - R\$)	IDH (2010) (ranking estadual)	Número de empregos formais**	Empregos Indústria Extrativa Mineral**	Indústrias extrativas minerais*** (% Ceará)
Barbalha	61.228	14.321	0,683 (7°)	10.506	04	05 (1,09%)
Caririaçu	26.987	7.476	0,578 (168°)	1.796	-	-
Crato	133.031	10.262	0,713 (3°)	18.011	41	03 (0,66%)
Farias Brito	19.389	8.195	0,630 (44°)	1.173	-	-
Jardim	27.181	7.529	0,614 (88°)	1.572	-	02 (0,44%)
Juazeiro do Norte	276.264	17.726	0,694 (5°)	50.600	09	09 (1,97%)
Missão Velha	35.480	13.586	0,622 (66°)	2.678	04	04 (0,88%)
Nova Olinda	15.684	8.312	0,630 (59°)	1.469	61	04 (0,88%)
Santana do Cariri	17.712	6.922	0,612 (94°)	1.188	02	02 (0,44%)

Elaboração: autores (2021). Fonte: Ipece (2018a; 2018b; 2018c; 2018d; 2018e; 2018f; 2018g; 2018h; 2018i; 2021). *Dados de 2018. **Dados de 2019. ***Dados de 2021.

Desenvolvimento

Geologia regional e formação das matérias primas

A bacia sedimentar do Araripe tem a maior área de exposição de rochas cretáceas (12.000 km²) dentre as bacias interiores do Nordeste. A forma, tamanho, geometria e estilos de deformação tectônica da bacia do Araripe são análogos aos modelos preditivos de bacias *pull-apart*, as quais crescem com o tempo, como resultado do movimento de transcorrência ao longo de falhas (Carvalho; Melo, 2012). Os sedimentos preservados na bacia do Araripe não resultam de um embaciamento completo, com porções marginais e depocentros definidos, mas sim, constituem o registro fragmentado de 4 bacias histórica, genética e tectonicamente distintas; são 4 sequências estratigráficas limitadas por discordâncias regionais (Assine, 1992; 2007).

Estruturalmente, a bacia apresenta um conjunto de meio-grábens assimétricos, fragmentados por altos de embasamento e sistemas de falhas e lineamentos L-O e NE-SO, associados ao direcionamento (*trend*) estrutural da província Borborema (Camacho; Sousa, 2017). O embasamento da bacia do Araripe é composto por rochas magmáticas e metamórficas, com granitos aflorando pontualmente nas margens da bacia, ao passo que gnaisses e migmatitos são os principais tipos litológicos de metamorfismo de alto grau. Rochas metassedimentares (quartzitos) e outras de baixo grau metamórfico (clorita-xistos, filitos e mármore) também compõem o embasamento (Carvalho; Melo, 2012).

Sobre esse embasamento as unidades litológicas sedimentares que preenchem a bacia são constituídas, de maneira geral, por rochas sedimentares clásticas, tais como: conglomerados (pséfitos), arenitos conglomeráticos, arenitos (psamitos), siltitos, folhelhos, argilitos, margas; rochas carbonáticas, como os calcários, gipsita e anidrita (Carvalho; Melo, 2012). Na bacia do Araripe os ambientes de sedimentação das unidades sedimentares são essencialmente continentais, envolvendo leques aluviais, sistema fluvial entrelaçado e meandrante, e lacustres - lagos rasos, efêmeros e perenes (Carvalho; Melo, 2012), com exceção do grupo Santana e seus sedimentos litorâneos e marinhos (Assine et al., 2014).

O Quadro 1 traz uma síntese da litoestratigrafia presente na bacia sedimentar do Araripe, verificada em estudos que tiveram foco no seu complexo contexto evolutivo e deposicional; com organização e descrição atualizadas das litologias por Pinéo et al. (2020), matérias primas da mineração regional.

Quadro 1. Litoestratigrafia da bacia sedimentar do Araripe

Sequência	Grupo	Formação	Litologias Predominantes	Ambiente de Sedimentação
Supersequência pós-rifte II	Araripe	Exu	Conglomerados e arenitos conglomeráticos na base, sobrepostos por arenitos médios a grossos, de cor vermelha, mal selecionados e com estratificação cruzada planar e acanalada.	Sistema fluvial entrelaçado
Supersequência pós-rifte I	Santana		Gipsitas, folhelhos, folhelhos betuminosos, conglomerados, arenitos, margas e calcários laminados intercalados com arenitos.	Continental / marinho (plataformal, costeiro, lacustre)
	Santana	Barbalha	Arenitos com intercalações de folhelhos de cor vermelha e níveis de conglomerados. Os arenitos são finos a médios, subarredondados a subangulares friáveis e argilosos.	Flúvio-lacustre
Supersequência rifte	Vale do Cariri	Abaiara	Folhelhos siltíticos e siltitos de cor vermelha e verde, com intercalações de arenitos finos e de lâminas de carbonatos argilosos.	Lagos rasos substituídos por planícies fluviais de canais entrelaçados. Flúvio-lacustre.
Supersequência pré-rifte		Missão Velha	Arenitos grossos e finos, com leitos conglomeráticos.	Fluvial. Planícies fluviais de sistemas entrelaçados – canais rasos e de alta energia

		Brejo Santo	Folhelhos, argilitos e siltitos de cores variadas, com intercalações de arenitos finos	Sedimentação lacustre
Paleozóica		Mauriti	Arenitos de granulometria fina a grossa, arenitos conglomeráticos e conglomerados	Sistemas fluviais entrelaçados
Pré-cambriano		Embasamento	Rochas metamórficas e ígneas	-

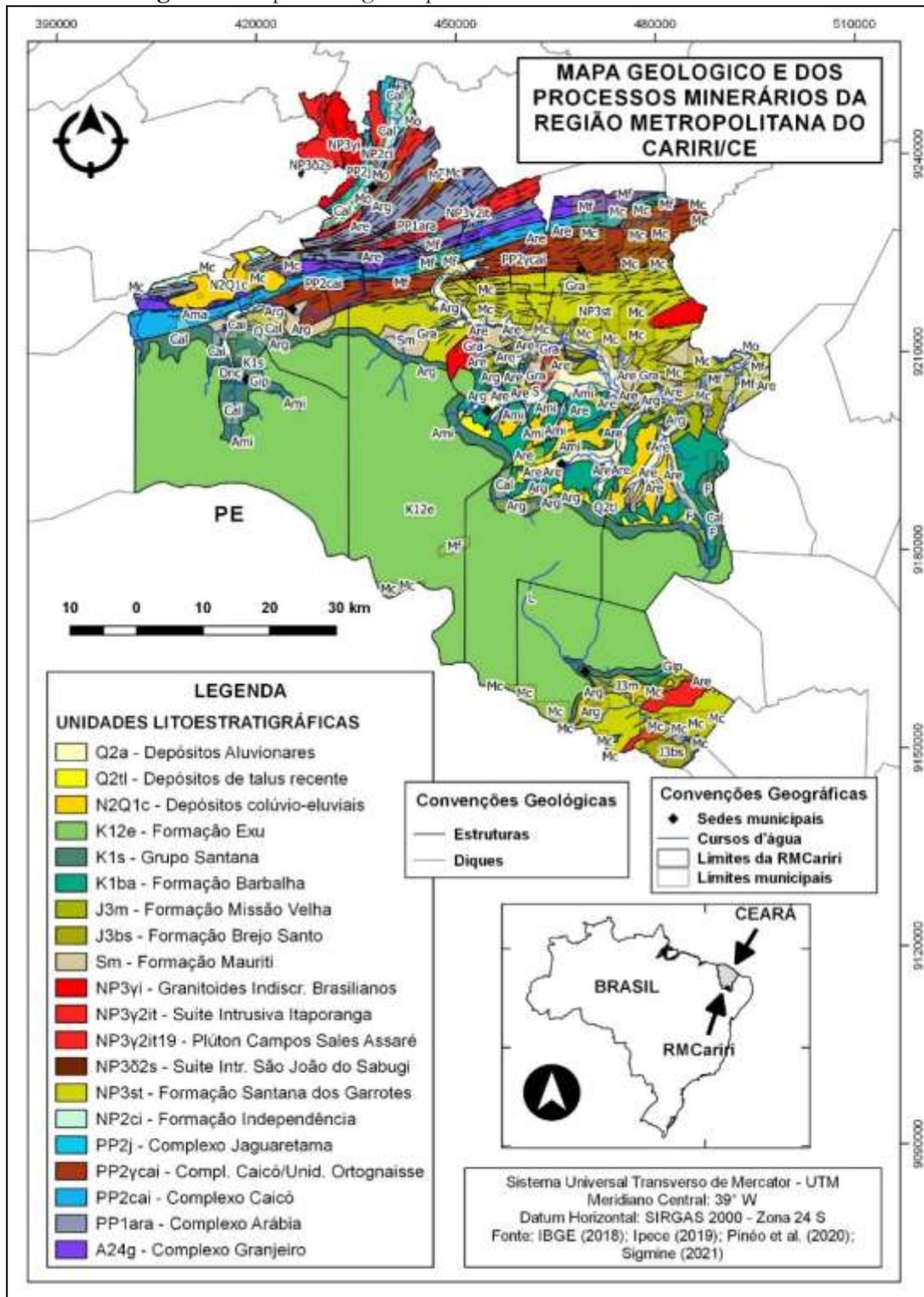
Elaboração: autores (2021). **Fonte:** Assine (1992; 2007); Assine et al. (2014); Pinéo et al. (2020).

Os afloramentos dessas camadas e de outras formações, complexos e suítes pode ser visto na Figura 2, onde há a sobreposição da geologia presente na RMCariri com os processos minerários e suas substâncias-alvo, o que permite a correlação básica entre as litologias e os segmentos territoriais da mineração. Conforme dados do Sigmine (2021), na RMCariri verifica-se processos minerários relacionados à extração de 19 substâncias, distribuídas nos 9 (nove) municípios da região; ao passo que se observa que o arranjo geológico (e a geomorfologia associada) apresentam as condições para a geografia da mineração regional, seus “hiatos espaciais” e suas concentrações setoriais.

Percebe-se na figura 2 duas significativas concentrações nas depressões periféricas sedimentares, situadas no sopé da chapada do Araripe: o chamado vale do Cariri, no segmento nordeste do mapa, compondo parte dos municípios de Crato, Barbalha e Missão Velha; e a depressão periférica do Brejo Grande (denominação proposta aqui para diferenciar esse segmento geomorfológico da região), onde drena o leito do rio Cariús, em Santana do Cariri, na porção ocidental do mapa; e, em menor proporção, o vale do Jardim (denominação proposta aqui), no limite sudeste da área, fazendo a transição entre as encostas da chapada do Araripe e as litologias cristalinas. No vale do Cariri, região onde afloram as litologias sedimentares de base da bacia, dissecadas por diversos cursos d’água, tem-se uma concentração dos processos minerários de areia e argila, além dos pontos de extração de água mineral, notadamente localizados nas encostas da chapada do Araripe.

Na RMCariri a substância com o maior número de processos cadastrados é a areia, são 94 processos distribuídos em quase todos os municípios, com exceção de Santana do Cariri, mapeadas como depósitos aluvionares, cuja extração está relacionada estreitamente com os cursos d’água e suas planícies fluviais, ambientes geomorfológicos notabilizados pela presença dessa substância, disponibilizada para extração, sobremaneira, nos períodos de estiagem pluviométrica.

Figura 2. Mapa Geológico e processos minerários da área de estudo



Elaboração: autores (2021). **Fonte:** IBGE (2018); Ipece (2019); Pinéo et al. (2020); Sigmine (2021).

Legenda / substâncias da extração mineral: água marinha (Ama), água mineral (Ami), areia (Are), arenito (Ato), argila (Arg), calcário (Cal), calcário calcítico (Cac), calcário industrial (Cai), dados não cadastrados (Dnc), fosfato (F), gipsita (Gip), granito (Gra), laterita (L), mármore (Mar), minério de cobre (Mc), minério de ferro (Mf), minério de ouro (Mo), quartzito (Q), saibro (S).

Associada à extração da areia está a extração de argila. Na RMCariri seu uso é antigo, com registro formal junto ao Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM – atualmente Agência Nacional de Mineração - ANM) feito já em 1966 (Sigmine, 2021). Ao todo, são 46 processos minerários situados junto aos leitos dos cursos d'água, o que compõe um quadro de pressão ambiental sobre esses ambientes da região e suas litologias.

Na depressão periférica (ou vale) do Brejo Grande, por sua vez, há um predomínio de registros de extração de calcário e gipsita, algo que se percebe observando as poligonais situadas junto aos cursos d'água do setor, com destaque para o rio Cariús, que recorta o segmento central do município de Santana do Cariri; mas também presentes em porções inter-fluviais de Santana do Cariri, cujo território apresenta significativo percentual de afloramento das litologias do Grupo Santana, muito possivelmente, decorrente do trabalho intempérico-erosivo dos cursos d'água verificados no setor, a partir da erosão dos arenitos da formação Exu. Na depressão periférica (ou vale) de Jardim as extrações de areia e argila predominam também.

Saindo dos terrenos de predomínio de litologias sedimentares, há concentrações consideráveis de processos minerários (Sigmine, 2021) nas porções orientais do município de Jardim, com destaque para o minério de cobre, o qual possui 50 processos na RMCariri, ocorrendo em setores de litologias neoproterozoicas (formação Santana dos Garrotes), ao longo de falhamentos de direção E-O. Já nas porções setentrionais dos municípios do Crato, Missão Velha e, notadamente, de Juazeiro do Norte, destaca-se a extração do granito, estreitamente associada com os plútons verificados nesses setores de limites da bacia do Araripe, agrupados como granitoides indiscriminados brasileiros, geneticamente relacionados com a ocorrência do importante ciclo Brasileiro.

Por fim, vale destacar a concentração da mineração nas porções mais setentrionais da RMCariri, de franco predomínio de litologias cristalinas, arrançadas nos contextos das estruturas geológicas - falhamentos e lineamentos (Pinéo et al., 2020). Um setor de destaque está no município de Caririaçu, de predomínio da extração de cobre e ferro, cujas poligonais dos processos estão distribuídas em uma direção preferencial L-O, seguindo parte do trend estrutural regional. Outro setor está em Farias Brito com a extração de minério de ouro e calcário (além de mármore e quartzito, em menor proporção), seguindo uma direção NE-SO, junto às estruturas de mesma direção, as quais, por sua vez, além de influenciar na gênese

das substâncias extraídas, ainda condiciona a drenagem local, ao embutir boa parte do leito dos cursos d'água no setor, com destaque para o rio Cariús.

O Quadro 2 apresenta a correlação entre a litoestratigrafia da RMCariri, integralmente afetada pela mineração em parcelas de suas unidades, com indicação dos municípios onde ocorrem essas sobreposições dos processos minerários sobre as litologias, configurando-se como matérias primas para a mineração.

Quadro 2. Correlação entre mineração e litologias na área de estudo

	Substância (símbolo*)	Uso(S)	Formações**	Municípios
01	Água Marinha (Ama)	Gema	Complexo Caicó	Santana do Cariri
02	Água Mineral (Ami)	Engarrafamento, industrial, NI.	Depósitos Aluvionares, Formações Exu e Barbalha.	Barbalha, Crato, Juazeiro do Norte e Santana do Cariri.
03	Areia (Are)	Construção civil	Depósitos Aluvionares	Barbalha, Caririaçu, Crato, Farias Brito, Jardim, Juazeiro do Norte, Missão Velha e Nova Olinda.
04	Arenito (Ato)	Construção civil e brita	Depósitos de talus recente e Formação Barbalha	Barbalha e Crato.
05	Argila (Arg)	Cerâmica vermelha, construção civil, industrial, NI.	Depósitos Aluvionares, e colúvio-eluviais, Formação Exu, Grupo Santana, Formações Barbalha, Brejo Santo e Mauriti.	Barbalha, Crato, Farias Brito, Jardim, Juazeiro do Norte, Missão Velha, Nova Olinda e Santana do Cariri.
06	Calcário (Cal)	Fabricação de cal, fabricação de cimento, NI, industrial, revestimento e corretivo de solo.	Grupo Santana, Formações Brejo Santo e Independência, Complexo Jaguaratama.	Barbalha, Crato, Farias Brito, Missão Velha, Nova Olinda e Santana do Cariri.
07	Calcário calcítico (Cac)	Fabricação de cimento	Grupo Santana	Nova Olinda
08	Calcário industrial (Cai)	NI	Grupo Santana e Formação Brejo Santo.	Nova Olinda e Santana do Cariri
09	Dados não cadastrados*** (Dnc)	Dados não cadastrados	Grupo Santana e Formação Independência.	Farias Brito e Santana do Cariri
10	Fosfato (F)	Fertilizantes	Depósitos Aluvionares e colúvio-eluviais, Formação Exu, Grupo Santana, Formação Barbalha.	Missão Velha
11	Gipsita (Gip)	Industrial, NI.	Grupo Santana e Formação Barbalha	Jardim, Nova Olinda e Santana do Cariri.

12	Granito (Gra)	Brita, NI, revestimento e pedra de talhe	Granitoides Indiscriminados Brasileiros	Caririaçu, Crato, Juazeiro do Norte e Missão Velha
13	Laterita (L)	Construção civil	Formação Exu	Jardim
14	Mármore (Mar)	Revestimento	Formação Independência (Grupo Ceará)	Farias Brito
15	Minério de cobre (Mc)	Industrial	Formações Brejo Santo, Mauriti, Suíte Intrusiva Itaporanga, Formações Santana dos Garrotes e Independência, Complexo Caicó / Unidade ortognaisse, Complexos Caicó, Arábia e Granjeiro.	Todos os municípios da RMCariri
16	Minério de ferro (Mf)		Formações Exu, Santana dos Garrotes, Plúton Campos Sales Assaré, Suíte Intrusiva São João do Sabugi, Complexo Caicó / Unidade ortognaisse, Complexos Caicó e Granjeiro	Barbalha, Caririaçu, Crato, Farias Brito e Missão Velha
17	Minério de ouro (Mo)		Depósitos colúvio-eluviais, Formações Barbalha, Santana dos Garrotes e Independência, Suíte Intrusiva Itaporanga, Complexos Jaguaretama e Granjeiro	Barbalha, Crato, Farias Brito, Juazeiro do Norte e Missão Velha
18	Quartzito (Q)	Revestimento	Grupo Santana e Formação Independência	Farias Brito, Nova Olinda e Santana do Cariri
19	Saibro (S)	Construção civil	Depósitos Aluvionares, Formação Brejo Santo, Granitoides Indiscriminados Brasileiros	Juazeiro do Norte
	-	12 tipos de usos	20 unidades litoestratigráficas mapeadas na RMCariri	RMCariri/Ceará

Elaboração: autores (2021). **Fonte:** Sigmine (2021). *Propostos pelos autores. **Dados de Pinéio et al. (2020). ***Por correlação, parecem ser processos minerários de calcário. NI = não informado.

Vale destacar que o cruzamento dos dados permite verificar que:

- Há um número limitado de usos verificados para as 19 substâncias mineradas na região, são apenas 12 tipos de usos;
- Todas as 20 unidades litoestratigráficas mapeadas na RMCariri estão sobrepostas por algum dos tipos de mineração;
- Todos os municípios da RMCariri têm partes de seus territórios sendo utilizadas para algum dos tipos de mineração, seja nas porções relacionadas aos cursos d'água seja nas porções interfluviais.

Dinâmica do relevo e dinâmica da mineração

O arranjo geomorfológico regional tem seus primórdios na série de eventos geológicos apresentada no item anterior, uma herança construída paulatinamente em contextos complexos ao curso de um longo recorte temporal, com particularidades notabilizadas em escalas ampliadas de análise. Em linhas gerais, a compartimentação da geomorfologia cearense pode ser feita em duas unidades modeladas em substrato cristalino - maciços residuais (ou cristalinos) e a depressão sertaneja; e seis unidades de relevo modeladas em substrato sedimentar: planície litorânea, planícies fluviais, tabuleiros costeiros, chapada do Apodi, a serra da Ibiapaba e a chapada do Araripe (Moro et al., 2015), além das depressões sedimentares (Dantas et al., 2014), modelados no contexto das bacias sedimentares interiores, embutidas na depressão sertaneja, por vezes, na periferia de relevos sedimentares mais elevados, como as chapadas.

Em específico, a chapada do Araripe representa a mais importante unidade de relevo de toda a RMCariri, apresentando-se como uma vasta superfície de cimeira, com cotas topográficas em torno de 800 e 950 metros, podendo atingir cotas acima dos 1000 metros. Delimitada de forma abrupta em seus flancos por escarpas festonadas, em diferentes níveis de recuo erosivo, a chapada apresenta desnivelamentos que variam entre 250 metros (a oeste, próximo à divisa com o estado do Piauí) e 500 metros (a leste, no contato com a depressão periférica sedimentar do Cariri) (Dantas et al., 2014), o vale do Cariri.

Compondo o grupo geomorfológico das depressões sedimentares em meio à Superfície Sertaneja, a depressão do Cariri (ou vale do Cariri) apresenta cotas entre 330 e 450 metros, sendo bem mais extensa que as demais depressões verificadas no território cearense e na RMCariri. Consiste numa depressão em amplo anfiteatro com relevo aplainado,

bordejada pelos flancos norte e leste da chapada do Araripe (Dantas et al., 2014). Ainda na área de afloramento da bacia sedimentar do Araripe (porção NE da RMCariri), o vale do Cariri é uma depressão sedimentar que demarca até onde se estendia a chapada do Araripe, cujos processos atuais de recuo das vertentes indicam os processos pretéritos. Ao mesmo tempo em que reduziram a área da chapada, processos intempéricos-erosivos geraram esse relevo topograficamente rebaixado, similar, em termos morfogênicos, às “superfícies de abrasão” das zonas costeiras, estas, herdadas do processo de recuo das falésias.

Assim, o vale do Cariri foi sendo modelado por agentes intempérico-erosivos continentais, em terrenos sustentados por arenitos, siltitos, argilitos e calcários de idades cretácea, jurássica e siluriana da bacia do Araripe, representada pelo grupo Santana e pelas formações Barbalha, Missão Velha, Brejo Santo e Mauriti (Pinéo et al., 2020). Esta depressão representa, por fim, um brejo de encosta onde estão situadas as cidades do Crato, Barbalha e Juazeiro do Norte (Dantas et al., 2014), principal adensamento urbano e populacional da RMCariri.

Processos e formas de relevo similares são verificados na porção ocidental da RMCariri, com outra depressão sedimentar periférica, a depressão (ou vale) do Brejo Grande, apresentado geomorfologicamente como um vale encaixado. O vale do Brejo Grande, em contraposição ao vale do Cariri, está sustentado em terrenos com menor diversidade litológica, onde são verificados os afloramentos das rochas do grupo Santana e das formações Brejo Santo e Mauriti; assim como o vale de Jardim, no limite SE da RMCariri, este, num formato de um anfiteatro de menores proporções do que o vale do Cariri, modelado nos afloramentos das rochas do grupo Santana, da formação Missão Velha e dos depósitos colúvio-eluviais (Pinéo et al., 2020). Em comum, essas depressões sedimentares periféricas são delimitadas pelos limites da bacia sedimentar do Araripe e os afloramentos das litologias cristalinas e estruturas geológicas associadas (vales do Cariri e Brejo Grande ao norte; vale de Jardim, à sudeste); pelas escarpas da chapada do Araripe (vales do Cariri e Brejo Grande ao sul; vale de Jardim, à noroeste).

Em termos gerais, a escarpa da chapada do Araripe, que no estado do Ceará consiste em seu flanco norte, representa um escarpamento dissecado em amplos arcos de cabeceira de drenagem, particularmente notáveis junto à depressão do Cariri (Dantas et al., 2014), também denominados como anfiteatros, dotados de especificidades morfodinâmicas (Peulvast; Bétard, 2015). Esses anfiteatros são, esporadicamente, sulcados em vales

encaixados, como os observados junto às localidades de Araripe e Santana do Cariri, o vale do Brejo Grande. No sopé da chapada do Araripe, em sua porção ocidental, foram depositadas extensas rampas coluvionares que se espriam em meios aos terrenos mais baixos da Depressão Sertaneja (Dantas et al., 2014), denominados de depósitos de talus recente e depósitos colúvio-eluviais (Pinéo et al., 2020).

A espacialização dessas formas de relevo (depressões periféricas sedimentares), em contato com os segmentos de topo e da encosta da chapada do Araripe, além da apresentação dos maciços cristalinos da região (notadamente, modelados a partir da exumação e soerguimento de plútons graníticos), de segmentos da depressão sertaneja e das planícies fluviais, são feitas na Figura 3, que apresenta ainda a sobreposição dos processos minerários (Sigmine, 2021), permitindo mais um campo de análise da geografia da mineração regional.

De maneira geral, os processos minerários das 19 substâncias, matérias primas da mineração regional, se aglomeram nos vales do Cariri, do Brejo Grande e de Jardim, notadamente, no contexto proximal das planícies fluviais dos principais cursos d'água da região, exercendo uma pressão ambiental sobre essas unidades geomorfológicas.

No tocante aos segmentos interfluviais, percebe-se uma notória segmentação:

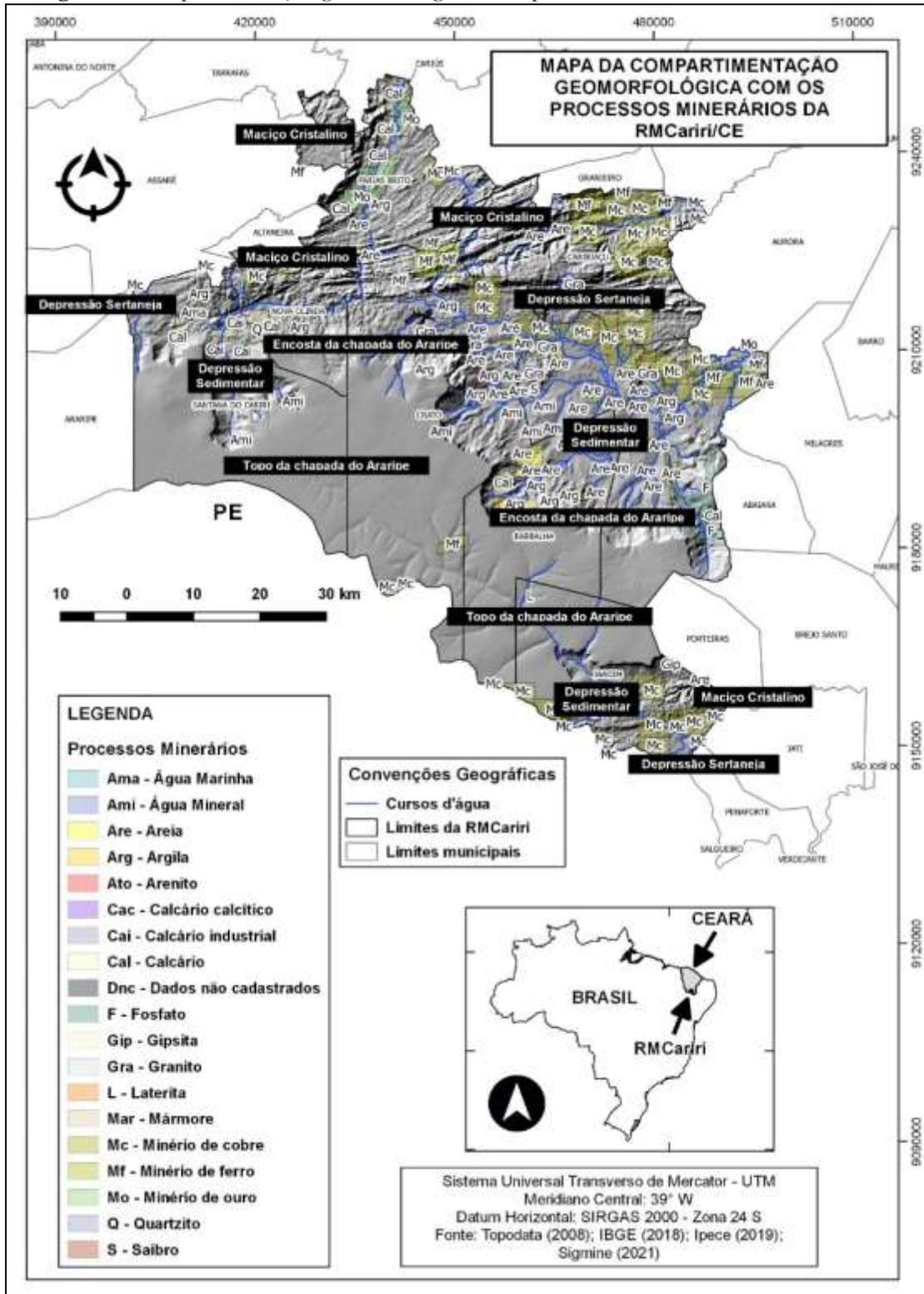
- Raros processos minerários verificados na ampla área de ocorrência da superfície de cimeira (topo) da chapada do Araripe (um registro de laterita em Jardim e um de minério de ferro entre Crato e Barbalha), possivelmente em função do predomínio litológico dos afloramentos dos arenitos da formação Exu, e do distanciamento dos centros urbanos regionais;

- Presença de vários processos minerários nos maciços cristalinos, sobretudo, na área de ocorrência da serra de São Pedro, em Caririaçu, com vários registros de mineração de minério de cobre e de ferro; com destaque também para a extração de granito na serra do Juá (no Crato) e na Colina do Horto (em Juazeiro do Norte);

- Presença de vários processos minerários em parcelas da superfície sertaneja, em Jardim, Farias Brito, Caririaçu e Crato.

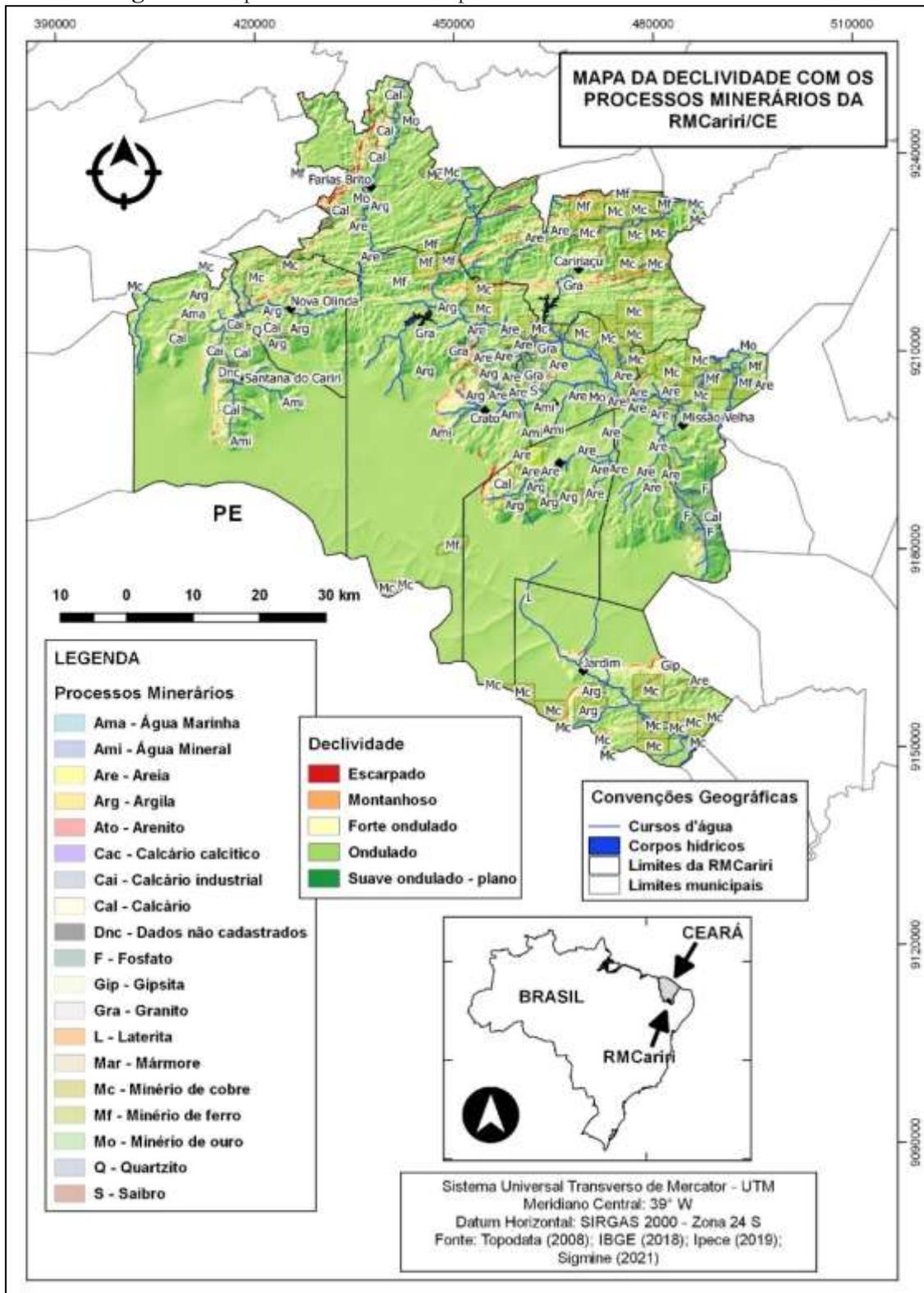
A Figura 4, de forma complementar à Figura 3, apresenta a declividade regional dos relevos, sobreposta pelas poligonais dos processos minerários. Nesse mapa se percebe a ampla predominância da mineração nos segmentos mais planos, suavemente ondulados e ondulados das unidades de relevo, com destaque para as áreas das depressões sedimentares (vales do Cariri, Brejo Grande e de Jardim) e da superfície sertaneja.

Figura 3. Compartimentação geomorfológica e dos processos minerários da área de estudo



Elaboração: autores (2021). **Fonte:** Topodata (2008); IBGE (2018); Ipece (2019); Sigmine (2021).

Figura 4. Mapa de declividade com processos minerários da área de estudo



Elaboração: autores (2021). **Fonte:** Topodata (2008); IBGE (2018); Ipece (2019); Sigmine (2021).

Esta relativa “regra” geomorfológica da mineração da RMCariri facilita, sobremaneira, para que a extração das diferentes substâncias possa se dar no formato da extração a céu aberto, onde o relevo não implica na necessidade de intervenções significativas para a construção de estradas de acesso, infraestruturas de apoio e de extração das matérias primas minerais, provavelmente reduzindo os custos para os envolvidos nas atividades.

Por sua vez, essa regra geomorfológica da mineração regional encontra consideráveis exceções nas áreas dos maciços cristalinos, com destaque para a extração do granito, ao passo que a geomorfologia dotada de declividades mais pronunciadas condiciona a necessidade de intervenções para instalar e operar as atividades de mineração nesses divisores de água regionais, situadas na área de borda da bacia sedimentar do Araripe.

Mesmo apresentada em linhas gerais, essa compartimentação da geomorfologia regional indica a diversidade presente na área de estudo, a qual, em associação com a geologia apresentada e analisada, compõem um quadro de notável geodiversidade. A partir da consideração das características da mineração, entende-se ser fundamental pensar (e efetivar) estratégias de geoconservação na região.

Geoconservação: o avesso da mineração?

A geodiversidade presente na RMCariri se notabiliza histórica e cientificamente como detentora de um conjunto de atributos naturais que dela um patrimônio natural reconhecido nas escalas nacional e internacional (Bétard et al., 2017). Considerando as características espaciais e a amplitude da mineração na área de estudo, quais os reflexos da mineração sobre a geodiversidade da RMCariri?

Conceitualmente, a geodiversidade caracteriza-se pela heterogeneidade dos fatores que a compõem, tendo seus aspectos basilares na geologia, incluindo a mineralogia, petrografia, estratigrafia, tectônica/estrutural e paleontologia, dentre outros ramos. Derivados e relacionados intrinsecamente à geologia, está a geomorfologia: com suas formas e processos, compartimentáveis por meio do conceito geográfico de escala; a pedologia, com características diretamente derivadas das rochas e que podem ter nos elementos tempo e clima meios de classificação e análise; e as águas, superficiais e subterrâneas (Moura-Fé et al., 2021). Dada a relevância da geodiversidade vem sendo pensado, desenvolvido e aplicado um conjunto de atividades para a conservação da geodiversidade (Brilha, 2005) e todos os seus fatores. A este conjunto dá-se o nome de geoconservação.

O desenvolvimento do conhecimento sobre os processos, características, da evolução natural, das idades, particularidades, generalidades, relativas relevância ou simplicidade, em suma, de tudo o que envolve a geodiversidade e sua geoconservação, parece ter na mineração um elemento impulsionador. Seja enquanto ponto de partida da mineração - etapas prévias de estudo e análise de um processo minerário (Noronha, 2019; ANM, 2020); enquanto campo de estudo (áreas ativas ou desativadas de mineração) ou lócus de descobertas, a mineração parece ter um laço firme com a geodiversidade.

Enquanto parte dos valores da geodiversidade, mais precisamente, enquanto valor antropocêntrico e econômico (Pereira; Farias, 2016), historicamente, seu desenvolvimento, em função de suas demandas logísticas e produtivas, ensejaram o desenvolvimento de pesquisas e técnicas que acabaram proporcionando a valoração científica e educacional da geodiversidade em diversos lugares do mundo. Além disso, conforme Carcavilla; Durán; García-Cortés (2009), muitas iniciativas de extensão do patrimônio geológico e mineiro vêm sendo propostas, tais como a recuperação de áreas de mineração abandonadas, o desenvolvimento de museus locais e centros de interpretação na Espanha.

Por outro lado, a extração mineral, guardadas as particularidades, incorre na destruição de estruturas do solo e de relevos, na alteração de processos geomorfológicos, na fragmentação da integridade dos locais, com a perda de relacionamentos entre recursos, notadamente com as mudanças nos regimes de solo e água (Crofts; Gordon, 2015). Além das cicatrizes na superfície, a mineração gera rejeitos, por vezes entulhados (Pereira; Farias, 2016) e colocados a céu aberto, se acumulando até o momento em que a exploração é desativada, gerando um passivo ambiental de considerável dificuldade de gestão.

De fato, planejar e gerenciar os impactos positivos e os apelos socioeconômicos da mineração, por um lado; em contrapartida para os impactos negativos e riscos que a mineração apresenta para os elementos da geodiversidade, por outro, não se apresentam como metas simples. Dada a abrangência da mineração e da geodiversidade, sobretudo, entende-se que a busca por dados e informações em escalas mais ampliadas de análise, ocorrendo em contextos espaciais regionais mais específicos e considerando aspectos culturais, sociais, econômicos, ambientais e institucionais mais particularizados, contribua para a elaboração de planos, projetos e estratégias que sejam (mesmo que momentaneamente) mais interessantes para determinados Estados, regiões, municípios, cidades, distritos, localidades e comunidades.

Na RMCariri os impactos da mineração em termos ambientais se dá nos territórios dos 9 municípios, a partir dos 313 processos minerários (Sigmire, 2021), abrangendo as 19 litologias mapeadas (Pinéo et al., 2020) e todas as macro unidades de relevo apresentadas. Em contrapartida a esse amplo e potencial quadro degradador, conforme o quadro 1 e segundo dados de 2019, ou seja, antes da ocorrência da pandemia pelo novo coronavírus, SARS-CoV2 no Brasil se iniciar (a partir de março de 2020), a indústria extrativa mineral na área de estudo somava um total de 121 empregos formais no setor. Esse número representa, dentro da RMCariri para o mesmo período, menos de 0,14% dos 88.993 empregos formais registrados.

Nesse contexto, considerando que a regra da intocabilidade presente no âmbito de projetos preservacionistas não seja de fácil aplicação em um país com fortes demandas sociais, econômicas e políticas, notadamente em suas regiões menos desenvolvidas (como é o caso de grande parte da região Nordeste do Brasil); os aspectos conservacionistas, com a possibilidade de agregar a preservação em seu arcabouço e ampliando a sua aplicação, do longo prazo (mais habitual para projetos de preservação) para o curto e o médio prazos, apresentam amplo predomínio dos programas, projetos e estratégias geoconservacionistas.

O patrimônio natural começa a ser objeto da proteção institucional na região com o advento das Unidades de Conservação (UCs), a partir de 1946, com a Floresta Nacional do Araripe-Apodi (Alves; Bezerra; Matias, 2011), alcançando atualmente na região sul do Ceará como um todo, o registro de 15 (quinze) UCs das três esferas administrativas (federal estadual, municipal), além das reservas particulares, incluindo 07 (sete) dos 09 (nove) municípios que fazem a RMCariri (Moura-Fé et al., 2020). Contudo, o estabelecimento de projetos e iniciativas de promoção específicos para a geoconservação regional tem início inequívoco em setembro de 2006, com a criação do GeoPark Araripe, o primeiro geoparque das Américas, instituído pelo Governo Estadual do Ceará em parceria com a Universidade Regional do Cariri – URCA (Herzog et al., 2008).

O GeoPark Araripe contempla 06 dos 09 municípios da RMCariri através de 09 geossítios abertos para visitação atualmente, os quais foram selecionados em função da representatividade estratigráfica no contexto da bacia, e que apresentam em seu escopo a abordagem de vários outros elementos da geodiversidade (Nascimento; Silva; Moura-Fé, 2020), por vezes, sob a mineração. Em que pese tais avanços, o crescimento populacional e urbanístico verificados na RMCariri (Moura-Fé et al., 2019), colocam na ordem do dia novas

e mais complexas demandas regionais que fomentem a ampliação do quadro geoconservacionista em mais segmentos territoriais da área de estudo.

Respondendo ao questionamento inicial do item: “geoconservação: o avesso da mineração?”, percebe-se que não, ao passo que há ainda presente na paisagem uma relação de coexistência entre os elementos da geodiversidade e as áreas de mineração, onde porções dos elementos do patrimônio natural regional encontram-se relativamente abrigados nas UCs e nos pontuais geossítios do GeoPark Araripe. Contudo, para além do que se alcançou, a geoconservação regional precisa avançar, considerando que diversos elementos da geodiversidade regional, sumariamente tratados neste manuscrito, ainda não estão guardados sob a tutela institucional de UCs, por exemplo, sob o risco de importantes conhecimentos se perderem antes mesmo do seu reconhecimento inicial. A geoconservação regional precisa avançar, no passo e na dimensão da mineração.

Conclusões

A análise da associação da geoconservação com a mineração na Região Metropolitana do Cariri, com ênfase nos aspectos geológicos e geomorfológicos, permitiu avançar no conhecimento acerca da geografia da atividade em escala regional, notadamente, em um contexto de sobreposição sobre os afloramentos das litologias, estruturas e relevos que tão bem exemplificam a relevância da geodiversidade regional.

Ao passo que, guardadas as especificidades que precisam ser abordadas em estudos de caso e escalas ampliadas de análises em estudos posteriores, verificou-se que as 20 unidades litoestratigráficas mapeadas na área de estudo são afetadas por algum tipo de mineração, ocorrentes em segmentos fluviais e interfluviais do relevo; e que todos os 09 municípios da RMCariri têm parte dos seus territórios usadas pela mineração, não podendo-se ignorar esta atividade nos atuais (e vindouros) passos dos Poderes Públicos municipais no que tange ao planejamento e à gestão territoriais.

Em adição, a partir da apresentação da macro compartimentação do relevo regional, com feições modeladas nas mais diversas litologias, em diferentes cotas topográficas e diferentes níveis de declividade, trazendo em comum, verificou-se o fato de serem também sobrepostos por algum dos tipos de mineração apresentados e analisados. Assim, a geomorfologia regional também deve ser abrigada e considerada nos zoneamentos, planos diretores, decretos, leis, dentre outros mecanismos de planejamento e gestão municipais.

O quadro estabelecido (e que ainda precisa ser melhor e mais verticalmente conhecido) já apresenta uma geodiversidade relevante, mas os questionamentos que se apresentam demandam planos e iniciativas que indiquem as áreas que serão salvaguardadas da mineração (e outras formas de uso), as áreas colocadas sob um regime de coexistência, ou postas à disposição da ampliação da atividade na região, sob pena do prejuízo (que pode ser irreversível) nas continuidades de ambas as dimensões: tanto a mineração quanto a conservação da geodiversidade.

Referências

ALMEIDA, F. F. M.; BRITO NEVES, B. B.; CARNEIRO, C. D. R. The Origin and evolution of the South American platform. **Earth Science Reviews**, n. 50, p. 77-111, 2000.

ALMEIDA, F. F. M.; CARNEIRO, C. D. R. Inundações marinhas fanerozóicas no Brasil e recursos minerais associados. In: MANTESSO-NETO, V. et al. (Org.). **Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**, p. 43-58. São Paulo: Beca, 2004.

ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R. A. Brazilian structural provinces: an introduction. **Earth-Science Reviews**, v. 17, n. 1-2, p. 1-29, 1981.

ALVES, C. C. E.; BEZERRA, L. M. A.; MATIAS, A. C. M. A importância da conservação/preservação ambiental da Floresta Nacional do Araripe para a região do Cariri – Ceará/Brasil. **Revista Geográfica de América Central**, v. 2, p. 1-10, 2011.

ANM. Agência Nacional de Mineração. **Anuário Mineral Estadual – Ceará**. Ano base 2018. Brasília: ANM, 2020. 23 p.

ASSINE, M. A. Análise estratigráfica da bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 22, n. 3, p. 289-300, 1992.

ASSINE, M. A. Bacia do Araripe. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, v. 15, n. 2, p. 371-389, maio/nov. 2007.

ASSINE, M. A. et al. Sequências deposicionais do Andar Alagoas da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, v. 22, n. 1, p. 3-28, jan./jun. 2014.

BÉTARD, F. et al. Araripe Basin: a major geodiversity hotspot in Brazil. **Geoheritage**, DOI 10.1007/s12371-017-0232-5, 2017.

BÉTARD, F.; PEULVAST, J-P. Evolução morfoestrutural e morfo-pedológica do maciço de Baturité e de seu piemont: do Cretáceo ao presente. In: BASTOS, F. H. (Org.). **Serra de Baturité: uma visão integrada das questões ambientais**. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2011.

BRITO NEVES, B. B. América do Sul: quatro fusões, quatro fissões e o processo acrescionário andino. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 29, n. 3, p. 379-392, 1999.

BRITO NEVES, B. B.; CAMPOS NETO, M. C.; FUCK, R. A. From Rodinia to Western Gondwana: an approach to the Brasiliano-Pan African Cycle and orogenic collage. **Episodes**, v. 22, n. 3, p. 155-166, 1999.

BRITO NEVES, B. B.; PASSARELLI, C. R.; BASEI, M. A. S.; SANTOS, E. J. Idades U-Pb em zircão de alguns granitos clássicos da Província Borborema. **Revista do Instituto de Geociências**, v. 3, p. 25-38, 2003.

BRILHA, J. B. R. **Patrimônio geológico e geoconservação** – a conservação da natureza na sua vertente geológica. Braga: Palimage, 2005. 190 p.

CAMACHO, C. R.; SOUSA, F. R. F. R. O. O arcabouço estrutural da Bacia Sedimentar do Araripe, Província Borborema, baseado em dados aeromagnetométricos. **Revista do Instituto de Geociências – USP**, v. 17, n. 3, p. 149-161, 2017.

CARCAVILLA, L., DURÁN, J. J., GARCÍA-CORTÉS, Á. et al. Geological Heritage and Geoconservation in Spain: Past, Present, and Future. **Geoheritage**, 1, 75, 2009.

CARNEIRO, C. D. R.; ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; ZALÁN, P. V.; TEIXEIRA, J. B. G. Estágios evolutivos do Brasil no Fanerozóico. In: HASUI, Y. et al. (Org). **Geologia do Brasil**. São Paulo: Beca, 2012.

CARVALHO, I. S.; MELO, J. H. G. Bacias interiores do Nordeste. In: HASUI, Y. et al. (Org). **Geologia do Brasil**. São Paulo: Beca, 2012, p. 502-509.

CEARÁ. Casa Civil. **Lei Complementar nº 78, de 26 de junho de 2009**. Fortaleza: DOE publicado em 03 de julho de 2009. Série 3, Ano I, n. 121. Caderno 1/2.

CESERO, P.; PONTE, F. C. Análise comparativa da paleogeologia dos litorais atlânticos brasileiro e africano. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 11, n. 1/2, p. 1-18, 1997.

CLAUDINO-SALES, V.; PEULVAST, J-P. Geomorfologia da Zona Costeira do estado do Ceará, Nordeste do Brasil. In: SILVA, J. B. et al. (Org.). **Litoral e Sertão**. Natureza e Sociedade no Nordeste brasileiro. Fortaleza: Expressão Gráfica, 2006.

CROFTS, R.; GORDON, J. E. Geoconservation in protected areas. In: WORBOYS, G. L.; LOCKWOOD, M.; KOTHARI, A.; FEARY, S.; PULSFORD, I. (eds) **Protected Area Governance and Management**, p. 531–568, ANU Press, Canberra, 2015.

DANTAS, M. E. et al. Origem das paisagens. In: BRANDÃO, R. L.; FREITAS, L. C. B. (Org.). **Geodiversidade do estado do Ceará**. Fortaleza: CPRM, 2014, 214 p.

HASUI, Y. Compartimentação Geológica do Brasil. In: HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R.; ALMEIDA, F. F. M.; BARTORELLI, A. (Org). **Geologia do Brasil**. São Paulo: Beca, 2012a.

HASUI, Y. Sistema Orogênico Borborema. In: HASUI, Y. et al. (Org). **Geologia do Brasil**. São Paulo: Beca, 2012b, p. 254-288.

HERZOG, A.; SALES, A. M.; HILLMER, G. **The UNESCO Araripe Geopark: a short story of the evolution of life, rocks and continents**. Expressão Gráfica, 2008, 71 p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Malha Municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018.

IBGE. **Províncias Estruturais**. Compartimentos de relevo, tipos de solos, regiões fitoecológicas e outras áreas. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Perfil Municipal 2017 – Barbalha**. Fortaleza: IPECE, 2018a.

IPECE. **Perfil Municipal 2017 – Caririaçu**. Fortaleza: IPECE, 2018b.

IPECE. **Perfil Municipal 2017 – Crato**. Fortaleza: IPECE, 2018c.

IPECE. **Perfil Municipal 2017 – Farias Brito**. Fortaleza: IPECE, 2018d.

IPECE. **Perfil Municipal 2017 – Jardim**. Fortaleza: IPECE, 2018e.

IPECE. **Perfil Municipal 2017 – Juazeiro do Norte**. Fortaleza: IPECE, 2018f.

IPECE. **Perfil Municipal 2017 – Missão Velha**. Fortaleza: IPECE, 2018g.

IPECE. **Perfil Municipal 2017 – Nova Olinda**. Fortaleza: IPECE, 2018h.

IPECE. **Perfil Municipal 2017 – Santana do Cariri**. Fortaleza: IPECE, 2018i.

IPECE. **Ceará em mapas**. Fortaleza: IPECE, 2019.

IPECE. **Perfil Municipal**. IPECEDATA. Sistema de Informações Geossocioeconômicas do Ceará. Fortaleza: IPECE, 2021.

MABESSONE, J. M. História Geológica da Província Borborema (NE Brasil). **Revista de Geologia – UFC**, v. 15, p. 119-129, 2002.

MORO, M. F.; MACEDO, M. B.; MOURA-FÉ, M. M.; CASTRO, A. S. F.; COSTA, R. C. Vegetação, unidades fitoecológicas e diversidade paisagística do estado do Ceará. **Rodriguésia**, v. 66, n. 3, p. 717-743, 2015.

MOURA-FÉ, M. M.; PINHEIRO, M. V. A.; SILVA, J. V. M.; NASCIMENTO, R. L. Geodiversidade, Patrimônio e Sustentabilidade na Região Metropolitana do Cariri (RMC), Ceará. In: CLAUDINO-SALES, V. (org.). **Geodiversidade do Semiárido**. Sobral, CE: Sertão Cult, 2020, p. 155-177.

MOURA-FÉ, M. M.; SILVA, M. J. A.; DIAS, V. P.; MONTEIRO, D. A.; SILVA, J. H. M.; RODRIGUES, R. M. Região Metropolitana do Cariri (RMC), Ceará: meio ambiente e sustentabilidade. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, v. 21, n. 2, p. 1198-1216, 2019.

NASCIMENTO, M. A. L.; SILVA, M. L. N.; MOURA-FÉ, M. M. Os Serviços Ecosistêmicos em Geossítios do Geopark Araripe (CE), Nordeste do Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 43, n. 4, p. 119-132, 2020.

NOGUEIRA NETO, J. A. et al. Avaliação dos dados geocronológicos do Complexo Granja (CE). **Revista de Geologia**, v. 3, p. 5-18, 1990.

NORONHA, C. **O que é um processo mineral? Jazida** (Blog). 2019. Disponível em: <https://blog.jazida.com/o-que-e-um-processo-minerario/> Acesso em: 12 ago. 2021.

PENHA, H. M. Processos endogenéticos na formação do relevo. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (org). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 5 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

PEREIRA, L. S.; FARIAS, T. S. Os valores e ameaças à geodiversidade: um olhar sobre João Pessoa-PB e litoral sul do estado. **Revista da ANPEGE**, v. 12, n. 17, p. 141-166, 2016.

PEULVAST, J. P.; BÉTARD, F. A history of basin inversion, scarp retreat and shallow denudation: the Araripe basin as a keystone for understanding long-term landscape evolution in NE Brazil. **Geomorphology**, v. 233, p. 20-40, 2015.

PEULVAST, J. P.; CLAUDINO SALES, V. **Carta morfoestrutural do Ceará e áreas adjacentes do Rio Grande do Norte e Paraíba**. Nota Explicativa. In: CPRM. Atlas Digital de Geologia e Recursos Minerais do Ceará. Mapas na escala 1:500.000. Serviço Geológico do Brasil, CD-Rom, 73 p., 2003.

PINÉO, T. R. G. et al. **Mapa geológico do estado do Ceará**. Fortaleza: CPRM, 2020.

SANTOS, T. J. S. et al. Neoproterozoic tectonic and magmatic episodes in the NW sector of Borborema Province, NE Brazil, during assembly of Western Gondwana. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 25, p. 271-284, 2008.

SIGMINE. **Sistema de Informações Geográficas da Mineração**. Processos minerários ativos - CE (atualizados em 09 de fevereiro de 2021). Poligonais dos processos minerários ativos mantidos pela Agência Nacional de Mineração. Formato: Shapefile, 2021.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. São Paulo: Edgard Blucher, 2003.

A mineração na região metropolitana do Cariri (RMCariri), Ceará: geologia, geomorfologia e geoconservação associadas. Marcelo Martins de Moura Fé, Frederico de Holanda Bastos, Marcos Antonio Leite do Nascimento.

SZATMARI, P.; FRANÇOLIN, J. B. L.; ZANOTTO, O.; WOLFF, S. Evolução tectônica da margem equatorial brasileira. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 17, n. 2, p. 180-188, 1987.

TOPODATA. **Banco de dados geomorfométricos do Brasil**. Variáveis geomorfométricas locais. São José dos Campos, 2008.

VAUCHEZ, A. et al. The Borborema shear zone system, NE Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 8, n. 3-4, p. 247-266, 1995.

ZALÁN, P. V. Bacias sedimentares da margem equatorial. In: HASUI, Y. et al. (Org). **Geologia do Brasil**. São Paulo: Beca, 2012.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio do Programa de Pós-graduação em Geografia (ProPGeo) da Universidade Estadual do Ceará (UECE), onde foi realizado o estágio pós-doutoral do autor principal e a pesquisa sobre os impactos da mineração da RMCariri. Agradecemos ao CNPq pela concessão da Bolsa de Produtividade em Pesquisa 2 aos co-autores Fred Holanda e Marcos Nascimento.